



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

«Κατασκευαστικά θέματα και αριθμητική προσομοίωση μηχανικής συμπεριφοράς της υπογειοποίησης σιδηροδρομικού διαδρόμου σε αστικό περιβάλλον»

Διπλωματική εργασία

Μπαχλαβά Δήμητρα

Επιβλέπων: Νομικός Παύλος, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2024



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

«Κατασκευαστικά θέματα και αριθμητική προσομοίωση μηχανικής συμπεριφοράς της υπογειοποίησης σιδηροδρομικού διαδρόμου σε αστικό περιβάλλον»

Διπλωματική εργασία

Μπαχλαβά Δήμητρα

Επιβλέπων: Νομικός Παύλος, Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή

Νομικός Παύλος, Καθηγητής ΕΜΠ

Μπενάρδος Ανδρέας, Καθηγητής ΕΜΠ

Ζευγώλης Ιωάννης, Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2024

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, σηματοδοτείται η ολοκλήρωση ενός κύκλου σπουδών γεμάτος γνώση και εμπειρίες. Θα ήθελα να ευχαριστήσω αρχικά τον επιβλέποντα καθηγητή, κ. Παύλο Νομικό για την καθοδήγηση, τις συμβουλές και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Οφείλω να ευχαριστήσω τον κ. Παναγιώτη Αναγνωστόπουλο, πολιτικό μηχανικό της εταιρείας INTPAKAT για την παραχώρηση της άδειας χρήσης των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γιώργο Αδαμόπουλο, μεταλλειολόγο μηχανικό της εταιρείας INTPAKAT, για την εξασφάλιση των απαραίτητων στοιχείων και πληροφοριών σχετικά με την κατασκευή, καθώς και για τον χρόνο που αφιέρωσε για τις ξεναγήσεις και την επεξήγηση κατασκευαστικών λεπτομερειών.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την πολύτιμη στήριξη, τόσο κατά την διάρκεια συγγραφής της εργασίας, όσο και κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάπτυξη των αστικών κέντρων οδήγησε σε ραγδαία επέκταση των υποδομών για την κάλυψη των αυξανόμενων αναγκών του πληθυσμού, χωρίς όμως να λαμβάνονται ιδιαίτερα υπόψη οι επιπτώσεις στον πληθυσμό. Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει την κατασκευή της υπογειοποίησης της σιδηροδρομικής γραμμής από τον Σιδηροδρομικό Σταθμό Αθηνών (ΣΣΑ) έως τις Τρεις Γέφυρες, ένα έργο το οποίο βρίσκεται σε εξέλιξη. Η κατασκευή του έργου κρίθηκε απαραίτητη για την αναβάθμιση του υπάρχοντος σιδηροδρομικού δικτύου και για την απομάκρυνση των σιδηροδρομικών γραμμών, οι οποίες δημιουργούν πληθώρα προβλημάτων διερχόμενες μέσα από την περιοχή των Σεπολίων του δήμου Αθηνών.

Η εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται πληροφορίες για την ανάπτυξη των υπόγειων κατασκευών, τα είδη και τις εφαρμογές τους, με παραδείγματα υπογειοποιήσεων. Στο δεύτερο κεφάλαιο, περιγράφεται η περιοχή κατασκευής του έργου, η υφιστάμενη κατάσταση και τα προβλήματα που αντιμετωπίζονται. Παρουσιάζεται επίσης, μια συνοπτική περιγραφή του έργου. Το τρίτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στα γεωλογικά και γεωτεχνικά στοιχεία του έργου, δίνοντας έμφαση στη στρωματογραφία της περιοχής και τις γεωτεχνικές παραμέτρους τους. Στο τέταρτο κεφάλαιο, αναλύονται τα κατασκευαστικά στοιχεία και οι φάσεις κατασκευής του έργου. Στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι προσομοιώσεις που έγιναν με το πρόγραμμα RS2 σε επιλεγμένη θέση του υπόγειου φορέα. Το έκτο και τελευταίο κεφάλαιο περιλαμβάνει τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την παρούσα εργασία.

ABSTRACT

The development of urban centers has led to a rapid expansion of infrastructure to meet the increasing needs of the population, without, however, considering the impact on the population. This thesis examines the construction of the undergrounding of the railway line from the Athens Railway Station to the Treis Gefyres (Three Bridges) area, a project that is currently under construction. The construction of this project was deemed necessary for the upgrade of the existing railway network and the removal of railway lines, which cause numerous problems as they pass through the Sepolia area of the municipality of Athens.

The thesis consists of six chapters. The first chapter presents information on the development of underground constructions, their types, and applications, with examples of undergrounding projects. The second chapter describes the project construction area, the current situation, and the problems being faced. A summary description of the project is also presented. The third chapter focuses on the geological and geotechnical aspects of the project, emphasizing the stratigraphy of the area and its geotechnical parameters. The fourth chapter analyzes the construction elements and the construction phases of the project. The fifth chapter presents the simulations conducted using the RS2 program at a selected location of the underground structure. The sixth and final chapter includes the conclusions drawn from this thesis.

Πίνακας περιεχομένων

Κεφάλαιο 1 Υπόγεια έργα και οι εφαρμογές τους	1
1.1. Αστική ανάπτυξη	1
1.2. Υπόγεια ανάπτυξη	1
1.3. Είδη υπόγειων κατασκευών	2
1.4. Είδη σηράγγων	3
1.5. Παραδείγματα υπογειοποιήσεων	4
Κεφάλαιο 2 Περιοχή κατασκευής του έργου	7
2.1. Η περιοχή των Σεπολίων	7
2.2. Συνθήκες στην οδό	9
2.3. Λόγοι που οδήγησαν στην κατασκευή του έργου	10
2.4. Οφέλη από την κατασκευή	11
2.5. Περιγραφή του έργου	12
Κεφάλαιο 3 Γεωλογικά και γεωτεχνικά στοιχεία	15
3.1. Γεωλογικά στοιχεία	15
3.2. Υδρογεωλογία	15
3.3. Σεισμικότητα	17
3.4. Γεωτρήσεις και δειγματοληψία	18
3.5. Επιτόπου δοκιμές	18
3.6. Εργαστηριακές δοκιμές	19
3.7. Στρωματογραφία – Συνθήκες υπεδάφους	20
3.7. Αποτελέσματα των δοκιμών	29
Κεφάλαιο 4 Κατασκευαστικά στοιχεία	31
4.1. Μέθοδος κατασκευής	31
4.2. Περιγραφή εργασιών	33
4.3. Δίκτυα Οργανισμών Κοινής Ωφέλειας (Ο.Κ.Ω.)	34
4.4. Κυκλοφοριακές ρυθμίσεις	37
4.5. Αντιστήριξη του έργου	38
4.6. Διαφραγματικοί τοίχοι	40
4.6.1. Κατασκευή οδηγών τοίχων	41
4.6.2. Προεκκαφή	42
4.6.3. Εκσκαφή των διαφραγματικών τοίχων	42
4.6.4. Καθαρισμός μπεντονιτικού αιωρήματος	45
4.6.5. Τοποθέτηση κλωβού σπλισμού	45
4.6.6. Σκυροδέτηση	47

4.7. Μπεντονιτικό αιώρημα	48
4.8. Χωματοургικές εργασίες	52
4.9. Πλάκα οροφής.....	52
4.10. Φάσεις κατασκευής του έργου	54
4.10.1. Κατασκευή του τεχνικού ως ανοιχτή διατομή	57
4.10.2. Κατασκευή τεχνικού κλειστής διατομής - χωρίς ενδιάμεση πλάκα	61
4.10.3. Κατασκευή τεχνικού κλειστής διατομής – με ενδιάμεση πλάκα.....	67
4.10.4. Κατασκευή τεχνικού γεφύρωσης στην περιοχή της ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ.....	74
4.11. Υδραυλικά έργα.....	90
4.12. Σιδηροδρομική επιδομή.....	92
4.13. Ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις και Ασφάλεια	96
4.14. Όργανα παρακολούθησης του έργου	101
4.15. Επιφανειακή διαμόρφωση.....	103
Κεφάλαιο 5 Αριθμητική προσομοίωση	108
5.1. Σχεδίαση της διατομής.....	108
5.2. Αποτελέσματα της προσομοίωσης	112
5.2.1. Μετατοπίσεις	112
5.2.2. Εντατικά μεγέθη	130
5.2.2. Διαρροή της γεωμάζας	150
Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα	156
Κεφάλαιο 7 Βιβλιογραφία	158

Λίστα σχημάτων

Σχήμα 1.1: Χάρτης Μετρό Αθήνας.....	6
Σχήμα 2.1: Ποσοστά πράσινης υποδομής στις ευρωπαϊκές πρωτεύουσες,	8
Σχήμα 2.2: Ποσοστά δενδροκάλυψης στις ευρωπαϊκές πρωτεύουσες,	8
Σχήμα 2.3: Ποσοστά αστικού πρασίνου στις ευρωπαϊκές πρωτεύουσες	9
Σχήμα 2.4: Τυπική διατομή Σιδηροδρομικής Γραμμής σε έρμα	12
Σχήμα 2.5: Τυπική διατομή Σιδηροδρομικής Γραμμής στο τεχνικό υπογειοποίησης.....	13
Σχήμα 2.6: Θέση κατασκευής του έργου	14
Σχήμα 3.1: Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας.....	17
Σχήμα 3.2: Γεωτεχνική μηκοτομή	30
Σχήμα 4.1: Στάδια κατασκευής μεθόδου Cover & Cut	33
Σχήμα 4.2: Δίκτυα ΟΚΩ.....	35
Σχήμα 4.3: Στάδια κατασκευής διαφραγματικών τοίχων (πρωτεύοντα πάνελ).....	41
Σχήμα 4.4: Στάδια κατασκευής διαφραγματικών τοίχων (δευτερεύοντα πάνελ).....	41
Σχήμα 4.5: Δοκοί HEB300 στον πρωτεύοντα κλωβό.....	46
Σχήμα 4.6: Διάγραμμα κυκλοφορίας μπεντονιτικού διαλύματος	49
Σχήμα 4.7: Διάταξη συγκροτήματος μπεντονίτη	51
Σχήμα 4.8: Κύκλος διαχείρισης μπεντονιτικού διαλύματος	52
Σχήμα 4.9: Μηκοτομή.....	56
Σχήμα 4.10: Τεχνικό Ανοικτής διατομής – 1 ^η Φάση κατασκευής	57
Σχήμα 4.11: Τεχνικό Ανοικτής διατομής – 2 ^η Φάση κατασκευής	58
Σχήμα 4.12: Τεχνικό Ανοικτής διατομής – 3 ^η Φάση κατασκευής	58
Σχήμα 4.13: Τεχνικό Ανοικτής διατομής – 4 ^η Φάση κατασκευής	59
Σχήμα 4.14: Τεχνικό Ανοικτής διατομής – 5 ^η Φάση κατασκευής	59
Σχήμα 4.15: Τεχνικό Ανοικτής διατομής – 6 ^η φάση κατασκευής.....	60
Σχήμα 4.16: Τεχνικό Ανοικτής διατομής – 7 ^η φάση κατασκευής.....	60
Σχήμα 4.17: Τεχνικό Ανοικτής διατομής – 8 ^η φάση κατασκευής.....	61
Σχήμα 4.18: Τεχνικό κλειστής διατομής, χωρίς ενδιάμεση πλάκα – 1 ^η φάση κατασκευής.....	62
Σχήμα 4.19: Τεχνικό κλειστής διατομής, χωρίς ενδιάμεση πλάκα – 2 ^η φάση κατασκευής.....	62
Σχήμα 4.20: Τεχνικό κλειστής διατομής, χωρίς ενδιάμεση πλάκα – 3 ^η φάση κατασκευής.....	63
Σχήμα 4.21: Τεχνικό κλειστής διατομής, χωρίς ενδιάμεση πλάκα – 4 ^η φάση κατασκευής.....	63
Σχήμα 4.22: Τεχνικό κλειστής διατομής, χωρίς ενδιάμεση πλάκα –5 ^η φάση κατασκευής	64
Σχήμα 4.23: Τεχνικό κλειστής διατομής, χωρίς ενδιάμεση πλάκα –6 ^η φάση κατασκευής	64
Σχήμα 4.24: Τεχνικό κλειστής διατομής, χωρίς ενδιάμεση πλάκα – 7 ^η φάση κατασκευής.....	65
Σχήμα 4.25: Τεχνικό κλειστής διατομής, χωρίς ενδιάμεση πλάκα – 8 ^η φάση κατασκευής.....	65
Σχήμα 4.26: Τεχνικό κλειστής διατομής, χωρίς ενδιάμεση πλάκα – 9 ^η φάση κατασκευής.....	66
Σχήμα 4.27: Τεχνικό κλειστής διατομής, χωρίς ενδιάμεση πλάκα – 10 ^η φάση κατασκευής.....	66
Σχήμα 4.28: Τεχνικό κλειστής διατομής, χωρίς ενδιάμεση πλάκα – 11 ^η φάση κατασκευής.....	67
Σχήμα 4.29: Τεχνικό κλειστής διατομής, με ενδιάμεση πλάκα – 1 ^η φάση κατασκευής.....	68
Σχήμα 4.30: Τεχνικό κλειστής διατομής, με ενδιάμεση πλάκα – 2 ^η φάση κατασκευής.....	68
Σχήμα 4.31: Τεχνικό κλειστής διατομής, με ενδιάμεση πλάκα – 3 ^η φάση κατασκευής.....	69
Σχήμα 4.32: Τεχνικό κλειστής διατομής, με ενδιάμεση πλάκα – 4 ^η φάση κατασκευής.....	69
Σχήμα 4.33: Τεχνικό κλειστής διατομής, με ενδιάμεση πλάκα – 5 ^η φάση κατασκευής.....	70
Σχήμα 4.34: Τεχνικό κλειστής διατομής, με ενδιάμεση πλάκα – 6 ^η φάση κατασκευής.....	70
Σχήμα 4.35: Τεχνικό κλειστής διατομής, με ενδιάμεση πλάκα – 7 ^η φάση κατασκευής.....	71
Σχήμα 4.36: Τεχνικό κλειστής διατομής, με ενδιάμεση πλάκα – 8 ^η φάση κατασκευής.....	72
Σχήμα 4.37: Τεχνικό κλειστής διατομής, με ενδιάμεση πλάκα – 9 ^η φάση κατασκευής.....	72
Σχήμα 4.38: Τεχνικό κλειστής διατομής, με ενδιάμεση πλάκα – 10 ^η φάση κατασκευής.....	73
Σχήμα 4.39: Τεχνικό κλειστής διατομής, με ενδιάμεση πλάκα – 11 ^η φάση κατασκευής.....	73
Σχήμα 4.40: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 1 ^η φάση κατασκευής.....	74
Σχήμα 4.41: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 2 ^η και 3 ^η φάση κατασκευής (κάτοψη).....	75

Σχήμα 4.42: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 2 ^η και 3 ^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή) .	75
Σχήμα 4.43: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 4 ^η και 5 ^η φάση κατασκευής (κάτοψη)	76
Σχήμα 4.44: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 4 ^η και 5 ^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή) .	76
Σχήμα 4.45: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 6 ^η και 7 ^η φάση κατασκευής (κάτοψη)	77
Σχήμα 4.46: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 6 ^η και 7 ^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή) .	77
Σχήμα 4.47: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 8 ^η και 9 ^η φάση κατασκευής (κάτοψη)	78
Σχήμα 4.48: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 8 ^η και 9 ^η φάση κατασκευής (κατά μήκος τομή)...	78
Σχήμα 4.49: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 8 ^η και 9 ^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή) .	79
Σχήμα 4.50: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 10 ^η και 11 ^η φάση κατασκευής (κάτοψη)	80
Σχήμα 4.51: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 10 ^η και 11 ^η φάση κατασκευής (κατά μήκος τομή)	80
Σχήμα 4.52: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 10 ^η και 11 ^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή)	80
Σχήμα 4.53: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 12 ^η φάση κατασκευής (κάτοψη).....	81
Σχήμα 4.54: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 12 ^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή)\.....	81
Σχήμα 4.55: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 13 ^η φάση κατασκευής (κάτοψη).....	82
Σχήμα 4.56: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 13 ^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή)	82
Σχήμα 4.57: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 14 ^η φάση κατασκευής (κάτοψη).....	83
Σχήμα 4.58: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 14 ^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή)	83
Σχήμα 4.59: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 15 ^η φάση κατασκευής (κάτοψη).....	84
Σχήμα 4.60: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 15 ^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή)	84
Σχήμα 4.61: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 16 ^η φάση κατασκευής (κάτοψη).....	85
Σχήμα 4.62: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 16 ^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή)	85
Σχήμα 4.63: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 17 ^η και 18 ^η φάση κατασκευής (κάτοψη)	86
Σχήμα 4.64: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 17 ^η και 18 ^η φάση κατασκευής (κατά μήκος τομή)	86
Σχήμα 4.65: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 17 ^η και 18 ^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή)	86
Σχήμα 4.66: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 19 ^η και 20 ^η φάση κατασκευής (κάτοψη)	87
Σχήμα 4.67: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 19 ^η και 20 ^η φάση κατασκευής (κατά μήκος τομή)	87
Σχήμα 4.68: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 19 ^η και 20 ^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή)	88
Σχήμα 4.69: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 21 ^η φάση κατασκευής (κάτοψη).....	88
Σχήμα 4.70: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 21 ^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή)	89
Σχήμα 4.71: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 22 ^η φάση κατασκευής (κάτοψη).....	89
Σχήμα 4.72: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 22 ^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή)	90
Σχήμα 4.73: Επιδομή σκυρογραμμής	93
Σχήμα 4.74: Τυπική διατομή Σ.Ε. σε ανοικτή γραμμή	94
Σχήμα 4.75: Τυπική διατομή Σ.Ε τύπου Rheda σε κλειστή διατομή.....	95
Σχήμα 4.76: Διάταξη μέτρησης NO/CO	98
Σχήμα 4.77: Διάταξη συστήματος μέτρησης με υπερήχους.....	99
Σχήμα 4.78: Αισθητήρες συστήματος διέλευσης συρμών	99
Σχήμα 4.79: Καμπύλη θερμοκρασίας – χρόνου (EUREKA)	100
Σχήμα 4.80: Επιφανειακή διαμόρφωση της οδού Κωνσταντινουπόλεως.....	104
Σχήμα 5.1: Στάδια 1 και 2: Σχεδίαση των διαφραγματικών τοίχων και της πλάκας οροφής του δυτικού διαδρόμου	109
Σχήμα 5.2: Στάδια 3 και 4: Σχεδίαση της 1 ^{ης} αντηρίδας και της στάθμης εκσκαφής της του δυτικού διαδρόμου	109
Σχήμα 5.3: Στάδια 5 και 6: Σχεδίαση της 2 ^{ης} αντηρίδας και της στάθμης εκσκαφής της του δυτικού διαδρόμου	110
Σχήμα 5.4: Στάδια 7 και 8: Σχεδίαση της εκσκαφής στην κατώτερη στάθμη και της πλάκας δαπέδου του δυτικού διαδρόμου (ολοκλήρωση του δυτικού διαδρόμου).....	110

Σχήμα 5.5: Στάδια 9 και 10: Σχεδίαση του διαφραγματικού τοίχου και της πλάκας οροφής του ανατολικού διαδρόμου	110
Σχήμα 5.6: Στάδια 11 και 12: Σχεδίαση της 1 ^{ης} αντηρίδας και της στάθμης εκσκαφής της του ανατολικού διαδρόμου	111
Σχήμα 5.7: Στάδια 13 και 14: Σχεδίαση της 2 ^{ης} αντηρίδας και της στάθμης εκσκαφής της του ανατολικού διαδρόμου	111
Σχήμα 5.8: Στάδια 15 και 16: Σχεδίαση της εκσκαφής στην κατώτερη στάθμη και της πλάκας δαπέδου του ανατολικού διαδρόμου (ολοκλήρωση της κατασκευής)	111
Σχήμα 5.9: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 1 ^ο στάδιο	112
Σχήμα 5.10: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 2 ^ο στάδιο	112
Σχήμα 5.11: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 3 ^ο στάδιο	113
Σχήμα 5.12: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 4 ^ο στάδιο	113
Σχήμα 5.13: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 5 ^ο στάδιο	113
Σχήμα 5.14: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 6 ^ο στάδιο	114
Σχήμα 5.15: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 7 ^ο στάδιο	114
Σχήμα 5.16: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 8 ^ο στάδιο	114
Σχήμα 5.17: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 9 ^ο στάδιο	115
Σχήμα 5.18: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 10 ^ο στάδιο	115
Σχήμα 5.19: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 11 ^ο στάδιο	115
Σχήμα 5.20: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 12 ^ο στάδιο	116
Σχήμα 5.21: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 13 ^ο στάδιο	116
Σχήμα 5.22: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 14 ^ο στάδιο	116
Σχήμα 5.23: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 15 ^ο στάδιο	117
Σχήμα 5.24: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 16 ^ο στάδιο	117
Σχήμα 5.25: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 1 ^ο στάδιο	118
Σχήμα 5.26: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 2 ^ο στάδιο	118
Σχήμα 5.27: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 3 ^ο στάδιο	119
Σχήμα 5.28: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 4 ^ο στάδιο	119
Σχήμα 5.29: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 5 ^ο στάδιο	119
Σχήμα 5.30: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 6 ^ο στάδιο	120
Σχήμα 5.31: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 7 ^ο στάδιο	120
Σχήμα 5.32: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 8 ^ο στάδιο	120
Σχήμα 5.33: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 9 ^ο στάδιο	121
Σχήμα 5.34: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 10 ^ο στάδιο	121
Σχήμα 5.35: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 11 ^ο στάδιο	121
Σχήμα 5.36: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 12 ^ο στάδιο	122
Σχήμα 5.37: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 13 ^ο στάδιο	122
Σχήμα 5.38: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 14 ^ο στάδιο	122
Σχήμα 5.39: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 15 ^ο στάδιο	123
Σχήμα 5.40: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 16 ^ο στάδιο	123
Σχήμα 5.41: Ολικές μετατοπίσεις στο 1 ^ο στάδιο	124
Σχήμα 5.42: Ολικές μετατοπίσεις στο 2 ^ο στάδιο	124
Σχήμα 5.43: Ολικές μετατοπίσεις στο 3 ^ο στάδιο	125
Σχήμα 5.44: Ολικές μετατοπίσεις στο 4 ^ο στάδιο	125
Σχήμα 5.45: Ολικές μετατοπίσεις στο 5 ^ο στάδιο	125
Σχήμα 5.46: Ολικές μετατοπίσεις στο 6 ^ο στάδιο	126
Σχήμα 5.47: Ολικές μετατοπίσεις στο 7 ^ο στάδιο	126
Σχήμα 5.48: Ολικές μετατοπίσεις στο 8 ^ο στάδιο	126
Σχήμα 5.49: Ολικές μετατοπίσεις στο 9 ^ο στάδιο	127
Σχήμα 5.50: Ολικές μετατοπίσεις στο 10 ^ο στάδιο	127
Σχήμα 5.51: Ολικές μετατοπίσεις στο 11 ^ο στάδιο	127
Σχήμα 5.52: Ολικές μετατοπίσεις στο 12 ^ο στάδιο	128
Σχήμα 5.53: Ολικές μετατοπίσεις στο 13 ^ο στάδιο	128

Σχήμα 5.107: Διαρροή γεωμάζας στο 3 ^ο στάδιο.....	151
Σχήμα 5.108: Διαρροή γεωμάζας στο 4 ^ο στάδιο.....	151
Σχήμα 5.109: Διαρροή γεωμάζας στο 5 ^ο στάδιο.....	151
Σχήμα 5.110: Διαρροή γεωμάζας στο 6 ^ο στάδιο.....	152
Σχήμα 5.111: Διαρροή γεωμάζας στο 7 ^ο στάδιο.....	152
Σχήμα 5.112: Διαρροή γεωμάζας στο 8 ^ο στάδιο.....	152
Σχήμα 5.113: Διαρροή γεωμάζας στο 9 ^ο στάδιο.....	153
Σχήμα 5.114: Διαρροή γεωμάζας στο 10 ^ο στάδιο.....	153
Σχήμα 5.115: Διαρροή γεωμάζας στο 11 ^ο στάδιο.....	153
Σχήμα 5.116: Διαρροή γεωμάζας στο 12 ^ο στάδιο.....	154
Σχήμα 5.117: Διαρροή γεωμάζας στο 13 ^ο στάδιο.....	154
Σχήμα 5.118: Διαρροή γεωμάζας στο 14 ^ο στάδιο.....	154
Σχήμα 5.119: Διαρροή γεωμάζας στο 15 ^ο στάδιο.....	155
Σχήμα 5.120: Διαρροή γεωμάζας στο 16 ^ο στάδιο.....	155

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1.1: Υπογειοποίηση στον δήμο Ν. Φιλαδέλφειας	5
Εικόνα 4.1: Καλώδια (ΟΚΩ) πάνω από τους οδηγούς τοίχους.....	36
Εικόνα 4.2: Διαμόρφωση ανοίγματος στους διαφραγματικούς τοίχους για σύνδεση με δίκτυα ΟΚΩ..	36
Εικόνα 4.3: Σύνδεση δικτύων ΟΚΩ στις προβλεπόμενες θέσεις των διαφραγματικών τοίχων.....	37
Εικόνα 4.4: Αντηρίδες.....	39
Εικόνα 4.5: Κοπτικά άκρα της υδροφρέζας	44
Εικόνα 4.6: Κοπτικά άκρα της υδροφρέζας.....	44
Εικόνα 4.7: Κλωβός οπλισμού μετά την ολοκλήρωση της σκυροδέτηση	46
Εικόνα 4.8: Ίνες πυροπροστασίας και σταθεροποιητές σκυροδέματος.....	47
Εικόνα 4.9: Πάνελ διαφράγματος αμέσως μετά την σκυροδέτηση	48
Εικόνα 4.10: Σιλό αποθήκευσης μπεντονιτικού διαλύματος	50
Εικόνα 4.11: Αντλία booster	50
Εικόνα 4.12: Οπλισμός της πλάκας οροφής	53
Εικόνα 4.13: Πλάκα οροφής	53
Εικόνα 4.14: Θέσεις couplers στους διαφραγματικούς τοίχους.....	54

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Βασικές γεωτεχνικές παράμετροι	29
Πίνακας 2: Πάχη των στρώσεων	108

Κεφάλαιο 1 Υπόγεια έργα και οι εφαρμογές τους

1.1. Αστική ανάπτυξη

Τους τελευταίους δύο αιώνες, τα αστικά κέντρα των μεγάλων πόλεων έχουν αναπτυχθεί ραγδαία, με ταυτόχρονη αύξηση του πληθυσμού τους. Αυτή η ανάπτυξη έχει προκαλέσει σειρά προβλημάτων που δυσχεραίνουν σημαντικά τις συνθήκες διαβίωσης των κατοίκων. Ανάμεσα σε αυτά τα προβλήματα περιλαμβάνονται ο περιορισμός και η έλλειψη χώρων πρασίνου που συνδέονται άμεσα με την ποιότητα ζωής των πολιτών. Επιπροσθέτως, άλλα σημαντικά προβλήματα που προκύπτουν από την αστικοποίηση είναι η άναρχη δόμηση εντός των πόλεων, η οποία οφείλεται στην αυξανόμενη ανάγκη για παροχή κατοικιών και κτιρίων υποδομής, κάτι που αυξάνεται αναλογικά με τον πληθυσμό. Απόρροια της άναρχης δόμησης είναι η ανεπάρκεια και η αδυναμία κάλυψης των αναγκών των πόλεων σε υποδομές και δίκτυα κοινής ωφέλειας.

Αυτά τα προβλήματα αποτελούν τις βασικές αιτίες για την διερεύνηση επιλογών που θα μπορούσαν να παρέχουν υπόγεια ανάπτυξη στις πόλεις, με σκοπό την απελευθέρωση δημόσιων χώρων και την καλύτερη αξιοποίηση τους προς όφελος των κατοίκων. Μεταξύ των βασικότερων στόχων είναι η δημιουργία ζωτικών χώρων, η μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και η βελτίωση της ποιότητας του αέρα.

1.2. Υπόγεια ανάπτυξη

Η επιθυμία για απόδοση ελεύθερου επιφανειακού χώρου οδήγησε σε αναζήτηση λύσεων, πέρα από τις συνηθισμένες. Αυτές οι λύσεις περιλαμβάνουν την εξερεύνηση των πιθανοτήτων για τη μεταφορά ορισμένων δραστηριοτήτων κάτω από τη γη, ελευθερώνοντας χώρο στην επιφάνεια. Δημιουργούνται λοιπόν, υπόγειες εγκαταστάσεις και υποδομές όπου οι δραστηριότητες διεξάγονται με την ίδια αποδοτικότητα, χωρίς την παρέμβαση εξωτερικών παραγόντων.

Οι συνθήκες που οδήγησαν στην αναζήτηση λύσεων κατασκευής «προς τα κάτω» οφείλονται κυρίως στις επικρατούσες επιφανειακές συνθήκες. Παράγοντες όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση, η ατμοσφαιρική ρύπανση και ο θόρυβος επηρεάζουν

άμεσα τον άνθρωπο και την ποιότητα ζωής του. Μια άμεση λύση στα παραπάνω προβλήματα είναι η μείωση των οχημάτων που κυκλοφορούν στους μεγάλους αυτοκινητοδρόμους με την ταυτόχρονη κατασκευή υπόγειων σιδηροδρομικών σηράγγων. Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνονται σημαντικά οφέλη για τους κατοίκους των μεγαλουπόλεων και για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Επιπροσθέτως, υποδομές που βρίσκονται επιφανειακά, καταλαμβάνοντας ζωτικό χώρο, μπορούν να μεταφερθούν υπόγεια αφού πρώτα κατασκευαστούν οι απαραίτητες εγκαταστάσεις. Έτσι, εξασφαλίζεται η κανονική και απρόσκοπτη λειτουργία τους, χωρίς εξωτερικές παρεμβάσεις, δολιοφθορές ή και καταστροφές από τα φυσικά φαινόμενα. Με τη μεταφορά δικτύων και υποδομών υπόγεια, εξασφαλίζεται επίσης η διατήρηση της θερμοκρασίας σε σταθερά επίπεδα, χωρίς ιδιαίτερες διακυμάνσεις.

Κατά κύριο λόγο η κατασκευή υπόγειων έργων προτιμάται σε περιπτώσεις όπου:

- Ο διαθέσιμος χώρος είναι περιορισμένος,
- Υπάρχει ζήτημα με την προστασία του περιβάλλοντος.
- Είναι απαραίτητη η εξοικονόμηση δαπανών σε αποθηκευτικούς χώρους.
- Χρειάζονται για στρατιωτικούς ή ανθρωπιστικούς λόγους

1.3. Είδη υπόγειων κατασκευών

Τα υπόγεια έργα διακρίνονται ανάλογα με τη χρήση τους σε επιμέρους κατηγορίες, διευκολύνοντας έτσι τον διαχωρισμό τους. Οι κυριότερες κατηγορίες υπόγειων τεχνικών έργων είναι κατασκευές που αφορούν τα ακόλουθα:

- Συγκοινωνία
- Μεταφορά
- Στάθμευση
- Αποθήκευση υλικών
- Διαμονή (Σοφιανός, 2018)

Οι υπόγειες κατασκευές διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες, σύμφωνα με τη μορφή και το σχήμα τους.

- Σήραγγες
- Θάλαμοι
- Φρέατα

Οι παραπάνω κατασκευές έχουν μια πληθώρα εφαρμογών. Οι κυριότερες εφαρμογές για τις σήραγγες είναι στις συγκοινωνιακές υποδομές, την εκμετάλλευση κοιτασμάτων και υπόγειων υδάτων, τη μεταφορά, την αποθήκευση, τους στρατηγικούς λόγους και τις υπηρεσίες κοινής ωφέλειας. Οι θάλαμοι είναι ανοίγματα μεγάλων διαστάσεων που χρησιμοποιούνται κυρίως για αποθήκευση, στρατιωτικές ανάγκες και για λογούς αναψυχής. Επίσης, έχουν εφαρμογές σε συγκοινωνιακές υποδομές και μεταλλευτικά έργα. Τέλος, τα φρέατα είναι κατακόρυφα ανοίγματα με κυριότερες εφαρμογές στις συγκοινωνιακές υποδομές, την εκμετάλλευση κοιτασμάτων και υπόγειων υδάτων, και για τη μεταφορά και αποθήκευση. (Καλιαμπάκος & Μπενάρδος, 2010, Lane, 2024)

Συνήθως, τις περισσότερες φορές η κατασκευή δεν περιλαμβάνει ένα μεμονωμένο έργο, αλλά ένα σύμπλεγμα σηράγγων και φρεάτων συνδεδεμένα με θαλάμους μεγάλων διαστάσεων για την καλύτερη αξιοποίηση των υπόγειων χώρων.

1.4. Είδη σηράγγων

Οι σήραγγες είναι οριζόντιες ή παρά- οριζόντιες κατασκευές με μήκος που κυμαίνεται από λίγα μέτρα έως πολλά χιλιόμετρα. Η βασική διάκριση των σηράγγων γίνεται ανάλογα με τη χρήση τους. Διακρίνονται σε: οδικές, σιδηροδρομικές και υδραυλικές. (Σοφιανός, 2018)

Οι σιδηροδρομικές και οι οδικές σήραγγες κατασκευάζονται με σκοπό την βελτίωση και αναβάθμιση των υπαρχόντων οδικών και σιδηροδρομικών δικτύων, παρέχοντας περισσότερη ασφάλεια στις μετακινήσεις. Η κατασκευή ενός τέτοιου έργου, αναλογικά με τις επικρατούσες συνθήκες και δυσκολίες που μπορεί να αντιμετωπιστούν, δύναται να είναι μεγάλου κόστους και διάρκειας.

Η κατασκευή σιδηροδρομικών σηράγγων εντός του αστικού ιστού έγινε ευρέως γνωστή μέσα από την κατασκευή του δικτύου μετρό σε πολλά από τα μεγάλα αστικά κέντρα της Ευρώπης. Πλέον η χρήση του μετρό είναι καθημερινή συνήθεια πολλών κατοίκων, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση των εκπομπών ρύπων και την προώθηση ενός πιο βιώσιμου τρόπου μετακίνησης.

1.5. Παραδείγματα υπογειοποιήσεων

Σύγχρονα παραδείγματα σηράγγων που είτε κατασκευάστηκαν είτε είναι υπό κατασκευή εντός αστικού ιστού, και συγκεκριμένα στην Αθήνα, είναι ο τετραπλός σιδηροδρομικός διάδρομος στο τμήμα Τρεις Γέφυρες – ΣΚΑ, η υπογειοποίηση της λεωφόρου Ποσειδώνος, η υπογειοποίηση στον δήμο Ν. Φιλαδέλφειας και η κατασκευή της γραμμής 4 του Μετρό Αθήνας.

Σιδηροδρομικός διάδρομος «Τρεις Γέφυρες – ΣΚΑ»

Το έργο κατασκευής τετραπλού σιδηροδρόμου στο τμήμα Τρεις Γέφυρες – ΣΚΑ, μήκους αποτελεί ένα έργο μεταφορών, το οποίο έχει αναβαθμίσει τη συνολική κυκλοφορία και τη συνδεσιμότητα της περιοχής μέσω της κατασκευής του Προαστιακού Αττικής. Συγκεκριμένα, το έργο αφορά την κατασκευή τετραπλού σιδηροδρομικού διαδρόμου για ένα τμήμα περίπου 5 χιλιομέτρων, εκ των οποίων τα 1,87 χιλιόμετρα είναι υπογειοποιημένα. Το υπογειοποιημένο τμήμα κατασκευάστηκε με τη μέθοδο Cut & Cover. Στο έργο επίσης κατασκευάστηκαν 8 σιδηροδρομικές γέφυρες, 5 ανισόπεδες διαβάσεις πεζών 3 σταθμοί (Αγ. Ανάργυροι, Πύργος Βασιλίσσης και Κάτω Αχαρνές) και 2 στάσεις. Το συνολικό κόστος του έργου ανήλθε στα 453 εκ. ευρώ και ολοκληρώθηκε το 2015. (<https://www.ergose.gr/>)

Υπογειοποίηση της λεωφόρου Ποσειδώνος

Η υπογειοποίηση της λεωφόρου Ποσειδώνος, αποτελεί ένα σημαντικό έργο υποδομής που βρίσκεται σε εξέλιξη. Το έργο εντάσσεται στο πλαίσιο κατασκευής του μητροπολιτικού πάρκου στο Ελληνικό. Η κατασκευή γίνεται με τη μέθοδο Cut &

Cover και αφορά 1,5 χλμ. εκ των οποίων τα 1,3 χιλιόμετρα θα είναι υπόγεια. Η κατασκευή λαμβάνει χώρα από την περιοχή του Αλίμου έως την Μαρίνα του Αγίου Κοσμά. Πρόκειται για ένα έργο που θα περιλαμβάνει 3 λωρίδες κυκλοφορίας για κάθε κατεύθυνση και μέγιστη ταχύτητα κυκλοφορίας τα 70 χλμ. ανά ώρα. Με το έργο αυτό αναμένεται να γίνει αποσυμφόρηση της κυκλοφορίας στην περιοχή. (Newsroom, 2024)

Υπογειοποίηση στο δήμο Ν. Φιλαδέλφειας

Ένα παράδειγμα έργου υπογειοποίησης είναι αυτό στο δήμο Ν. Φιλαδέλφειας το υλοποιήθηκε για την εξυπηρέτηση του πρόσφατα κατασκευασμένου συγκροτήματος αθλητικών εγκαταστάσεων. Κύριος λόγος κατασκευής του έργου είναι η βελτίωση της τοπικής κυκλοφορίας και η παροχή της απαραίτητης υποδομής στην περιοχή. Το συνολικό μήκος του έργου είναι 616 μέτρα, εκ των οποίων τα 275 είναι καλυμμένα σύμφωνα με την τεχνική Cut & Cover. Η προβλεπόμενη ταχύτητα κυκλοφορίας των οχημάτων είναι τα 50 km/h με μια λωρίδα ανά κατεύθυνση. Το έργο περιλαμβάνει την τοπική ταπείνωση και κάλυψη τμημάτων των οδών Φωκών και Πατριάρχου Κωνσταντίνου. Επιπλέον, προβλέπεται η επιφανειακή διαμόρφωση πάνω από το τεχνικό κάλυψη, εξασφαλίζοντας έτσι την εύκολη προσέγγιση οχημάτων έκτακτης ανάγκης. Το συνολικό κόστος του έργου ανήλθε στα 17,7 εκατομμύρια ευρώ και παραδόθηκε σε κυκλοφορία τον Σεπτέμβριο του 2022. (Μπράτσος, 2022)



Εικόνα 1.1: Υπογειοποίηση στον δήμο Ν. Φιλαδέλφειας

(Μπράτσος, 2022)

Γραμμή 4 του Μετρό Αθήνας

Η κατασκευή της γραμμής 4 του μετρό Αθήνας αναμένεται να βελτιώσει σημαντικά και να αναβαθμίσει τις συνθήκες στις συγκοινωνίες. Η κατασκευή αφορά το τμήμα «Άλσος Βεΐκου – Γουδή» μήκους 12,8 χιλιομέτρων. Πρόκειται να κατασκευαστούν 15 σταθμοί, εκ των οποίων ορισμένοι διέρχονται από το κέντρο της πόλης, διευκολύνοντας τις μετακινήσεις των πολιτών ενώ παράλληλα αναμένεται η αποσυμφόρηση κεντρικών οδών, καθώς επίσης αναμένεται να μειωθεί η κίνηση των οχημάτων. Επιπροσθέτως, η γραμμή αναμένεται να ανοίξει νέες δυνατότητες, παρέχοντας την δυνατότητα μετακίνησης οι οποίες δεν εξυπηρετούνταν από κάποιο μέσο μαζικής μεταφοράς σταθερής τροχιάς, παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα εύκολης και γρήγορης μετακίνησης. (<https://www.emetro.gr/>)



Σχήμα 1.1: Χάρτης Μετρό Αθήνας

Πηγή: <https://www.emetro.gr/>

Κεφάλαιο 2 Περιοχή κατασκευής του έργου

2.1. Η περιοχή των Σεπολίων

Το έργο κατασκευής νέου σιδηροδρομικού διαδρόμου στο τμήμα Σ.Σ. Αθήνα έως τις Τρείς Γέφυρες, κατασκευάζεται με υπογειοποίηση στην περιοχή των Σεπολίων του δήμου Αθηνών. Η Αθήνα αποτελεί την μεγαλύτερη πόλη και πρωτεύουσα της Ελλάδας, με τον συνολικό πληθυσμό να ανέρχεται στα 3,6 εκατομμύρια. Πιο συγκεκριμένα, ο δήμος Αθηναίων αποτελεί τον μεγαλύτερο δήμο της πόλης, ο οποίος διακρίνεται σε 7 επιμέρους δημοτικές κοινότητες. Η περιοχή των Σεπολίων, στην οποία κατασκευάζεται το έργο ανήκει στην Δημοτική Κοινότητα του 4^{ου} Διαμερίσματος του Δήμου Αθηνών, της οποίας ο πληθυσμός ανέρχεται στις 89.069 σύμφωνα με την απογραφή του 2021. (ΕΛΣΤΑΤ, 2023).

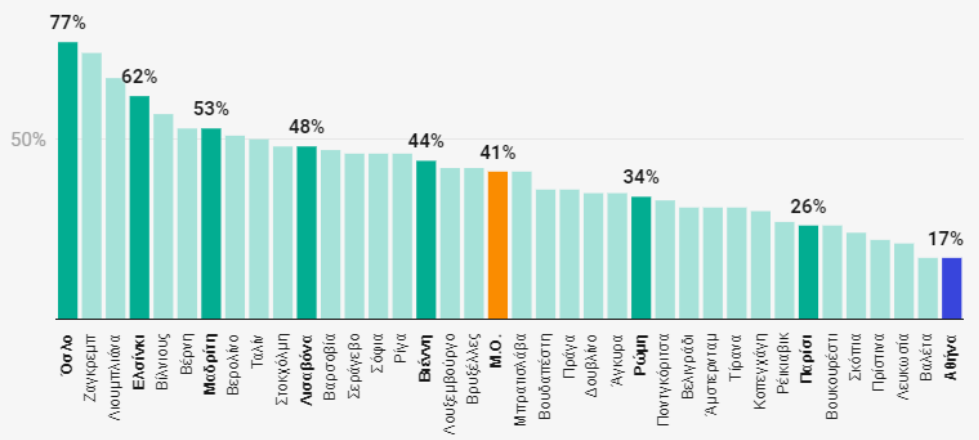
Η περιοχή των Σεπολίων έχει συνολική έκταση 1.542 km² και πληθυσμό 27.149 κατοίκους για τη χρονιά 2015, το οποίο αντιστοιχεί σε πυκνότητα πληθυσμού 17.603/km². Πρόκειται λοιπόν για μια αστική περιοχή κατά μήκος της οποίας και παράλληλα με το έργο εντοπίζονται στο μεγαλύτερο ποσοστό κυρίως οικιστικά κτήρια πολυκατοικιών. (<https://www.city-facts.com>)

Οι πλησιέστεροι χώροι πρασίνου στην περιοχή κατασκευής του έργου είναι οι δύο λόφοι της περιοχής, ο λόφος Κολωνού και ο λόφος Σκουζέ έκτασης 15 και 10 στρεμμάτων αντίστοιχα. Συνεπώς, ο χώρος πρασίνου στην περιοχή είναι περιορισμένος, με αποτέλεσμα να υπάρχει ανάγκη για δημιουργία επιπλέον χώρων. (<https://www.cityofathens.gr>)

Οι χώροι πρασίνου και η παρουσία δένδρων στις αστικές περιοχές συμβάλλουν στη μείωση της θερμοκρασίας, βελτιώνουν την ποιότητα αέρα, μειώνουν τον κίνδυνο πλημμυρών και αποτελούν χώρους αναψυχής και κοινωνικής συναναστροφής. Η Αθήνα βρίσκεται στην τελευταία θέση ευρωπαϊκά όσον αφορά τις πράσινες υποδομές της, συγκεκριμένα οι συνολικές πράσινες υποδομές της πόλης καλύπτουν μόλις το 17% της συνολικής έκτασης της, με τον ευρωπαϊκό μέσο όρο να ανέρχεται στο 41%. (*Πράσινες Πόλεις | Greece in Figures*)

Ποσοστό συνολικής πράσινης υποδομής στις ευρωπαϊκές πρωτεύουσες

Δεδομένα για το έτος 2018.



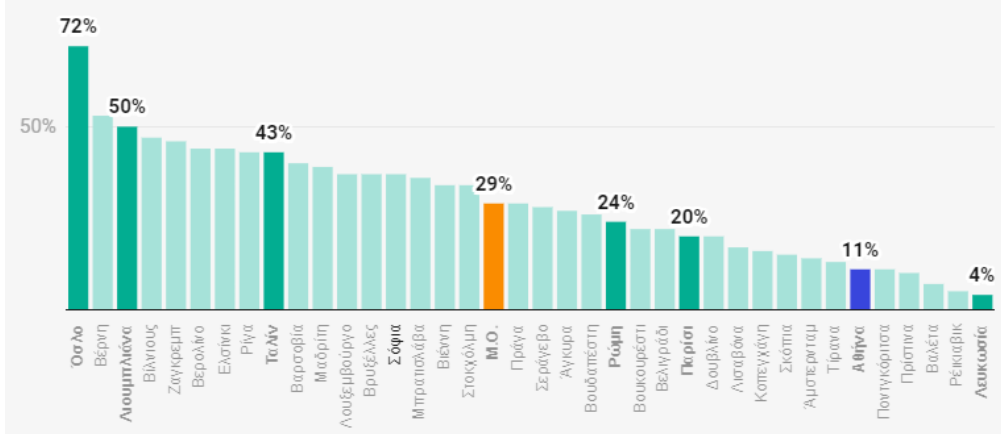
Σχήμα 2.1: Ποσοστά πράσινης υποδομής στις ευρωπαϊκές πρωτεύουσες,

Πηγή: <https://greeceinfigures.com/prasines-poleis>

Επιπροσθέτως, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος, το ποσοστό δενδροκάλυψης στην Αθήνα είναι στο 11%. Με το αντίστοιχο μέσο όρο κάλυψης αστικής επιφάνειας από δέντρα στην Ευρώπη να ανέρχεται στο 29%. (Πράσινες Πόλεις | Greece in Figures)

Ποσοστό δενδροκάλυψης στις ευρωπαϊκές πρωτεύουσες

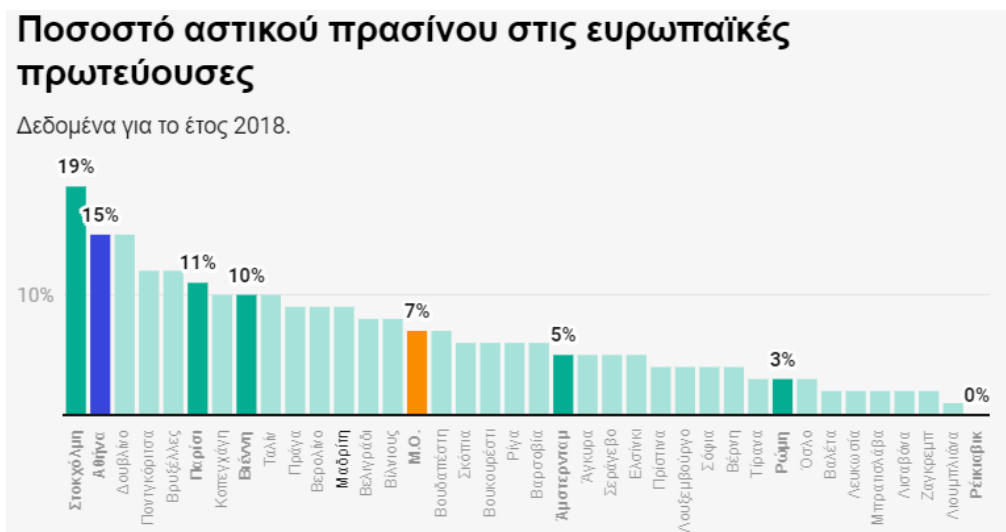
Δεδομένα για το έτος 2018.



Σχήμα 2.2: Ποσοστά δενδροκάλυψης στις ευρωπαϊκές πρωτεύουσες,

Πηγή: <https://greeceinfigures.com/prasines-poleis>

Παρά τις τελευταίες θέσεις που έχει καταλάβει η Αθήνα όσον αφορά την δενδροκάλυψη, η Αθήνα έχει ένα υψηλό ποσοστό αστικού πρασίνου συγκριτικά με την υπόλοιπη Ευρώπη. Ο ευρωπαϊκός μέσος όρος ανέρχεται στο 7%, ενώ η Αθήνα βρίσκεται στο 15%, καθιστώντας στη δεύτερη θέση. (Πράσινες Πόλεις | Greece in Figures)



Σχήμα 2.3: Ποσοστά αστικού πρασίνου στις ευρωπαϊκές πρωτεύουσες

Πηγή: <https://greeceinfigures.com/prasines-poleis>

2.2. Συνθήκες στην οδό

Η ύπαρξη της σιδηροδρομικής γραμμής κατά μήκος της οδού Κωνσταντινουπόλεως έχει σημαντική επίδραση στην κυκλοφορία και στην γενική εικόνα της περιοχής. Η διακοπή 9 καθέτων οδών λόγω της χάραξης της σιδηροδρομικής γραμμής έχει δημιουργήσει μια διχοτόμηση κατά μήκος της περιοχής, επηρεάζοντας τη δομή του οδικού δικτύου. Άμεση συνέπεια της παραπάνω συνθήκης, είναι το διακύβευμα που έχει να κάνει με την ασφάλεια της κυκλοφορίας πεζών και οχημάτων.

Συγκεκριμένα, οι 9 κάθετες οδοί που διακόπτονται από τη διέλευση της σιδηροδρομικής γραμμής είναι οι οδοί Σεπολίων, Σωζοπόλεως, Στενημάχου, Αμβρακίας, Ρόδου, Μανιακίου, Αναστασίου Δαμβέργη και Σιώκου. Η κυκλοφορία των οχημάτων διεξάγεται στις οδούς Σεπολίων, Αγίου Μελετίου και Σιώκου μέσω ισόπεδων διαβάσεων. Παράλληλα στις τρεις αυτές διαβάσεις, μόνο οι δύο είναι φυλασσόμενες, αυτές στις οδούς Σεπολίων και Αγίου Μελετίου. Επιπροσθέτως, κατά

μήκος της οδού Κωνσταντινουπόλεως, υπάρχουν τέσσερις αφύλακτες ισόπεδες διαβάσεις πεζών, στις οδούς Ξανθίππης, Ρόδου, Αν. Δαμβέργη και Αυλώνας.

Στις παραπάνω διαβάσεις έχει παρατηρηθεί έλλειψη σε φωτεινούς σηματοδότες και ηχητικές ενδείξεις, καθώς επίσης η σηματοδότηση είναι ελλιπής. Το πρόβλημα είναι εντονότερο στις ισόπεδες διαβάσεις πεζών, καθώς σε αυτές διαχρονικά, λαμβάνουν χώρα τα περισσότερα δυστυχήματα. Ωστόσο, η έλλειψη υπέργειων και υπόγειων διαβάσεων έχει οδηγήσει σε ακόμα περισσότερα προβλήματα. Η πλησιέστερη άνω διάβαση της περιοχής των Σεπολίων είναι αυτή στην οδό Ραιδεστού, πλησίον του Σ.Σ. Αθηνών με την επόμενη πλησιέστερη να είναι αυτή στην περιοχή των Αγίων Αναργύρων, απόσταση δηλαδή τα περί 3,5 χιλιόμετρα. Ενώ, η μοναδική υπόγεια διάβαση σε όλο το μήκος της σιδηροδρομικής γραμμής βρίσκεται επί της οδού Κωνσταντινουπόλεως στο ύψος του Σ.Σ. Αθηνών.

Η χρήση των ισόπεδων διαβάσεων από τους κατοίκους της περιοχής είναι ουσιαστικά αναπόφευκτη, καθώς άνω και κάτω της ζώνης κυκλοφορίας των συρμών εντοπίζονται σημαντικοί χώροι υποδομής, όπως σχολεία και άλλοι δημόσιοι οργανισμοί. Επιπροσθέτως, σε απόσταση 250 μέτρων από την διάβαση της οδού Σεπολίων βρίσκεται η οδός Λιοσίων και πιο συγκεκριμένα ο σταθμός ΑΤΤΙΚΗ της Γραμμής 1 και 2 του Μετρό, καθώς επίσης στάσεις αστικής συγκοινωνίας, καθιστώντας τη συγκεκριμένη περιοχή κεντρικό σημείο συνάντησης και διέλευσης χιλιάδων επισκεπτών καθημερινά. Ειδικότερα, γραμμές αστικής συγκοινωνίας διέρχονται καθημερινά και από τις ισόπεδες διαβάσεις. Έτσι, η περιοχή των Σεπολίων αποτελεί βασικό σημείο κυκλοφορίας τόσο για τα οχήματα όσο και για τους πεζούς, επιβεβαιώνοντας έτσι την ανάγκη για δημιουργία υποδομών που θα εξασφαλίζουν την ομαλή και ασφαλή κυκλοφορία.

2.3. Λόγοι που οδήγησαν στην κατασκευή του έργου

Η κατασκευή του έργου θα έχει σημαντικές επιπτώσεις στην περιοχή, υλοποιώντας αλλαγές που έχουν κριθεί αναγκαίες. Το αίτημα της υπογειοποίησης της σιδηροδρομικής γραμμής αποτέλεσε ζήτημα καίριας σημασίας και εκφράστηκε επανειλημμένα από τους κατοίκους της περιοχής προς τους αρμόδιους φορείς. Κύριο

αίτημα είναι η διασφάλιση της σωματικής ακεραιότητας των κατοίκων και των διερχόμενων από τις ισόπεδες διαβάσεις της περιοχής.

Κατά το χρονικό διάστημα από το 2017 έως το 2022, σημειωθήκαν πέντε θανατηφόρα δυστυχήματα στις διαβάσεις της περιοχής, όπου πεζοί παρασύρθηκαν από διερχόμενα τραίνα. Αναδεικνύοντας έτσι την έλλειψη αποτελεσματικών μέτρων ασφαλείας για πεζούς και οχήματα. Η έλλειψη φωτεινής και ηχητικής σήμανσης, σε συνδυασμό με τον ανεπαρκή φωτισμό και η κακή διατήρηση του περιβάλλοντος χώρου στις διαβάσεις, τις καθιστούν επικίνδυνες για διέλευση. Επιπροσθέτως, η προσβασιμότητα προς όλους δεν είναι εφικτή διότι δεν υπάρχει μέριμνα για την εγκατάσταση ραμπών, με αποτέλεσμα τη δυσκολία πρόσβασης των ατόμων με κινητικές δυσκολίες και όσων τις χρειάζονται. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μετακίνηση και χρήση των κοντότερων ισόπεδων διαβάσεων οχημάτων, θέτοντας τους σε κίνδυνο για τη δημιουργία ατυχήματος. (Ζιαμπάκας, 2023, Λιλιοπούλου, 2021)

Η υψηλή ταχύτητα των διερχόμενων τραίνων σε συνδυασμό με τις δεδομένες συνθήκες της περιοχής γύρω από τη σιδηροδρομική γραμμή και της έλλειψης μέτρων ασφαλείας, αυξάνουν τον κίνδυνο εκδήλωσης ατυχημάτων για τους διερχόμενους. Τέλος, η περιοχή έφερε μεγάλο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, έχοντας βεβαρυμμένη ατμόσφαιρα λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από την κίνηση των συρμών, οι οποίοι έφεραν πετρελαιοκινητήρες, κάτι που εν μέρει βελτιώθηκε με την μετέπειτα ηλεκτροκίνηση των συρμών.

2.4. Οφέλη από την κατασκευή

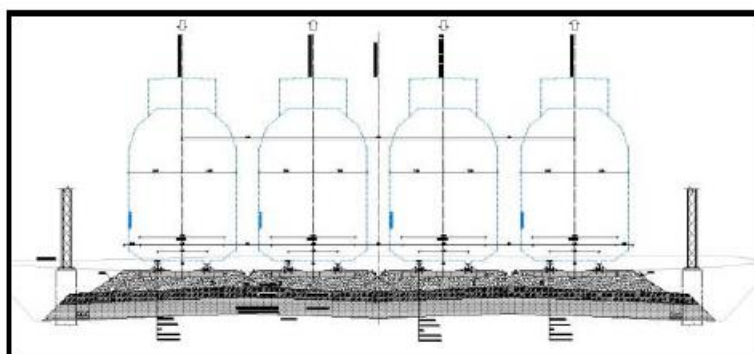
Με την υλοποίηση του έργου της υπογειοποίησης της σιδηροδρομικής γραμμής στα Σεπόλια θα υπάρξουν σημαντικά οφέλη για την περιοχή και τους κατοίκους της. Η υπογειοποίηση αναμένεται να αυξήσει την ασφάλεια πεζών και οχημάτων στην περιοχή, καθώς θα σταματήσει οριστικά η διέλευση τρένων στο επίπεδο του οδοστρώματος. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του κινδύνου παράσυρσης πεζών και συγκρούσεως με οχήματα. Επιπροσθέτως, θα λυθεί σε μεγάλο βαθμό το πρόβλημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης που δημιουργείται στις διαβάσεις οχημάτων.

Με την αποκατάσταση του περιβάλλοντος χώρου και της δημιουργίας δύο άνω διαβάσεων πεζών με ανελκυστήρες, η προσβασιμότητα για τα άτομα με κινητικές δυσκολίες θα βελτιωθεί σημαντικά, δημιουργώντας καλύτερες συνθήκες πρόσβασης και συμπερίληψης.

Επιπροσθέτως, με την δημιουργία υπόγειου σιδηροδρομικού διαδρόμου, θα μειωθεί σημαντικά η ρύπανση και ο θόρυβος που συνδέονται με τη λειτουργία του σιδηροδρόμου επίπεδο της οδού. Αναμένεται επίσης η συνολική ανάπτυξη της περιοχής, καθώς οι κίνδυνοι για ατυχήματα μειώνονται και ο περιβάλλον χώρος αναβαθμίζεται, με την αύξηση του πρασίνου και τη δημιουργία χώρων αναψυχής,

2.5. Περιγραφή του έργου

Το έργο που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία έχει τον τίτλο «Κατασκευή τετραπλού σιδηροδρομικού διαδρόμου στο τμήμα Έξοδος Σ.Σ. Αθηνών (Σ.Σ.Α) – Τρεις Γέφυρες, με υπογειοποίηση στην περιοχή Σεπολίων». Το έργο αφορά την βελτίωση του υφιστάμενου σιδηροδρομικού δικτύου με την κατασκευή νέου τετραπλού διαδρόμου. Ο νέος σιδηροδρομικός διάδρομος είναι διπλής διατομής και περιλαμβάνει την εγκατάσταση τηλεπικοινωνιών και ηλεκτροκίνησης. Ο ανατολικός διάδρομος αναμένεται να εξυπηρετεί την κίνηση των προαστιακών συρμών, ενώ ο δυτικός την κίνηση των υπεραστικών συρμών.

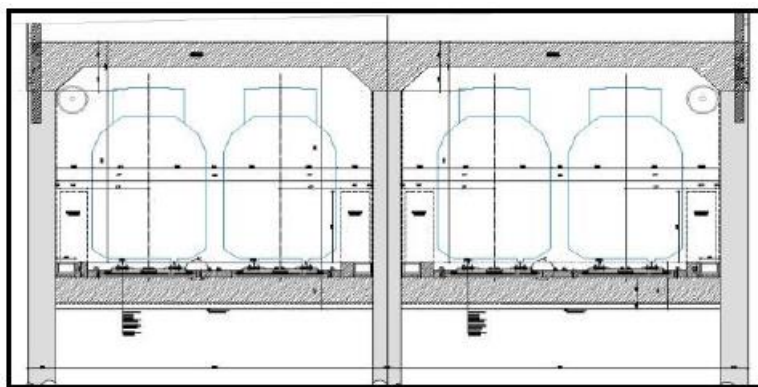


Σχήμα 2.4: Τυπική διατομή Σιδηροδρομικής Γραμμής σε έρμα

Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ, 2017

Κατασκευαστικά, το έργο του σιδηροδρομικού διαδρόμου είναι μήκους 2,36 χλμ., εκ των οποίων τα 1,91 χλμ. είναι υπογειοποιημένα. Αρχή του έργου, από όπου ξεκινάει η χάραξη, είναι η έξοδος του Σ.Σ Αθηνών προς Θεσσαλονίκη (Χ.Θ. 10+821) και καταλήγει στις Τρεις Γέφυρες (Χ.Θ. 13+181), όπου συναντά τον ήδη κατασκευασμένο και σε λειτουργία τετραπλό σιδηροδρομικό διάδρομο «Τρεις Γέφυρες – Άγιοι Ανάργυροι». (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Στο αντικείμενο που αφορά το έργο, περιλαμβάνεται η κατασκευή διπλής σιδηροδρομικής γραμμής στην ήδη υφιστάμενη ζώνη κυκλοφορίας σε δύο στάδια. Πρώτα κατασκευάζεται ο δυτικός διάδρομος και στη συνέχεια ο ανατολικός διάδρομος, με το τεχνικό της υπογειοποίησης να αποτελείται από 47 επιμέρους τεχνικά, τα οποία κατασκευάζονται με τη μέθοδο Cover & Cut (Top – Down). (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

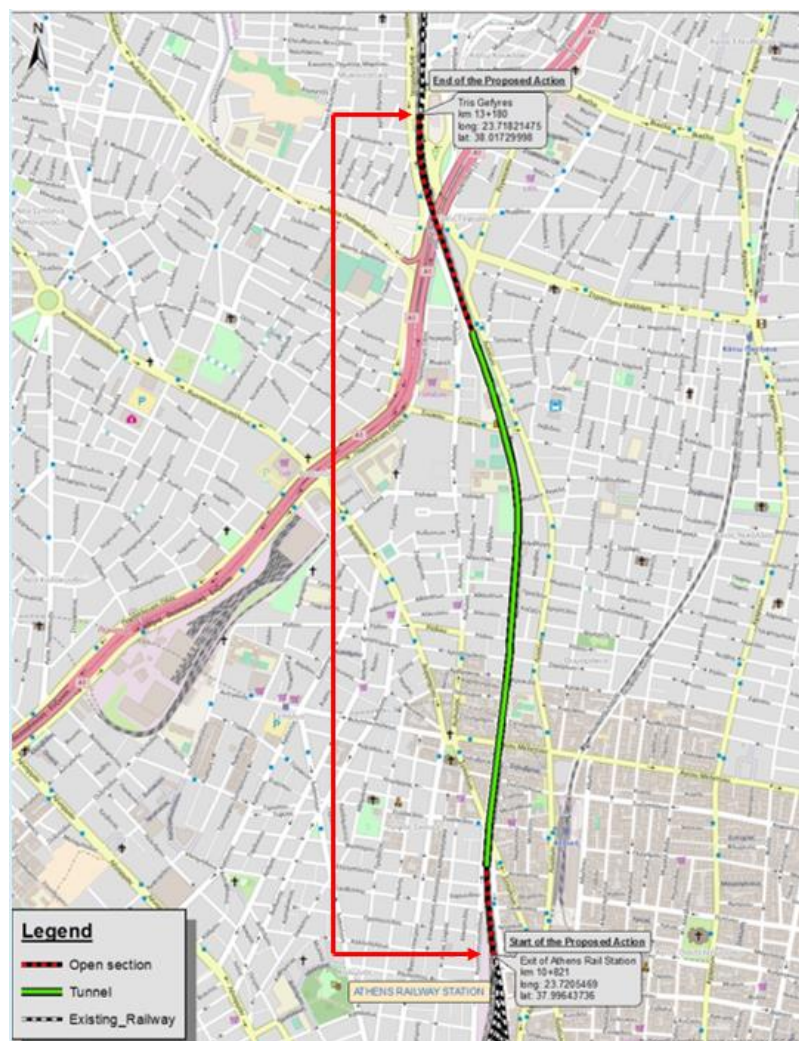


Σχήμα 2.5: Τυπική διατομή Σιδηροδρομικής Γραμμής στο τεχνικό υπογειοποίησης

Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ, 2017

Στο έργο προβλέπεται η κατασκευή των προσωρινών και των μονίμων υδραυλικών έργων. Στα έργα αυτά περιλαμβάνονται έργα αποχέτευσης – αποστράγγισης της σήραγγας, υπερχειλιστές παντοροϊκού δικτύου και τα δίκτυα ομβρίων και ακαθάρτων. Επίσης, περιλαμβάνεται η κατασκευή ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων του υπόγειου τεχνικού, των αντλιοστασίων ακαθάρτων για την αποχέτευση – αποστράγγιση των ομβρίων της σήραγγας, καθώς και κτηρίων εξυπηρέτησης των ηλεκτρομηχανικών (Η/Μ) εγκαταστάσεων.

Με την ολοκλήρωση των εργασιών κατασκευής του υπογειοποιημένου τεχνικού, καθώς και των απαραίτητων Η/Μ εγκαταστάσεων, πραγματοποιείται η κατασκευή της σιδηροδρομικής επιδομής. Επιπροσθέτως, πραγματοποιούνται έργα που αφορούν την αξιοποίηση και την αποκατάσταση του περιβάλλοντος χώρου του έργου, συμπεριλαμβανομένης της κατασκευής δύο νέων άνω διαβάσεων πεζών και της αποκατάστασης του παραπλεύρου και κάθετου οδικού δικτύου. Τέλος, πραγματοποιούνται έργα πρασίνου και αποκατάστασης του τοπίου. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)



Σχήμα 2.6: Θέση κατασκευής του έργου

Πηγή: <https://www.ergose.gr/>

Κεφάλαιο 3 Γεωλογικά και γεωτεχνικά στοιχεία

3.1. Γεωλογικά στοιχεία

Στην περιοχή κατασκευής του έργου συναντώνται σχηματισμοί του Πλειστόκαινου και του Μαιστριχτίου. Οι Αθηναϊκοί σχιστόλιθοι είναι ο κυριότερος σχηματισμός που συναντάται σχεδόν επιφανειακά στο νότιο τμήμα της Σιδηροδρομικής Γραμμής. Συναντώνται επίσης φλυσχοειδή ιζήματα του Μαιστριχτίου αποτελούμενα από αργιλικούς και ψαμμιτικούς σχιστολίθους, ασβεστιτικούς ψαμμίτες και γραουβάκες. Στους παραπάνω σχηματισμούς εμφανίζονται ενστρώσεις ασβεστολίθων και σχιστωδών μαργών με μικρά σώματα εκρηξιγενών πετρωμάτων. (ΕΡΓΟΣΕ, 2014)

Στο υπόλοιπο τμήμα της σιδηροδρομικής γραμμής, συναντώνται Πλειστοκαινικά κορήματα αποτελούμενα από λατυποκροκάλες ισχυρά συνδεδεμένες με ψαμμιτομαργαϊκό υλικό και λατυποκροκαλοπαγή σε μικρό ποσοστό. Συγκεκριμένα, παρατηρούνται ριπίδια χειμάρρων, κώνοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα και προσχωσιγενή υλικά κοιλάδων. Κατά περιοχές εγκλείνονται ενστρώσεις αμμούχου ασβεστολίθου. Στην περιοχή κατασκευής συναντάται ήπιο ανάγλυφο με μικρές τοπογραφικές κλίσεις. (ΕΡΓΟΣΕ, 2014)

3.2. Υδρογεωλογία

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί στην περιοχή κατασκευής διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τους διαπερατούς και τους ημιδιαπερατούς, ανάλογα με τις υδρογεωλογικές συνθήκες.

Οι διαπερατοί σχηματισμοί περιλαμβάνουν τις αδρόκοκκες φάσεις των Πλειστοκαινικών κορημάτων, εντός των οποίων αναμένεται η ανάπτυξη υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. (ΕΡΓΟΣΕ, 2014)

Οι ημιδιαπερατοί σχηματισμοί περιλαμβάνουν τους Αθηναϊκούς σχιστόλιθους. Εντός αυτών, είναι δυνατή η δημιουργία υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα μικρής δυναμικότητας, ο οποίος εξαρτάται από το ποσοστό συμμετοχής αδρομερών συστατικών, το πάχος και την τροφοδοσία απόθεσης αυτών. (ΕΡΓΟΣΕ, 2014)

Το νερό συναντάται κάτω από τον μανδύα αποσάθρωσης και στο ανώτερο μέρος του υγιούς σχιστολίθου, όπου το πέτρωμα είναι περισσότερο κερματισμένο. Η υπόλοιπη μάζα του σχιστολίθου είναι κορεσμένη κάτω από την υπόγεια στάθμη υδροστατικής ηρεμίας. Οι υπερκείμενες αποθέσεις παρουσιάζουν τριχοειδή ανύψωση, που φτάνουν κατά θέσεις τα 3 μέτρα. (ΕΡΓΟΣΕ, 2014)

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες των σχηματισμών που εμφανίζονται στην περιοχή κατασκευής του έργου, ευνοούν την ανάπτυξη υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, τόσο επιφανειακά, όσο και βαθύτερα.

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα. Η στάθμη υπογείων υδάτων υπάρχει σε όλες τις γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, ωστόσο παρατηρήθηκαν διαφορές στις τελικές στάθμες των υδροφόρων οριζόντων, ακόμα και σε γειτονικές γεωτρήσεις. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό, οφείλεται στο γεγονός ότι οι μετρήσεις στάθμης πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικές χρονικές και γεωλογικές περιόδους, πράγμα που επηρέασε το τελικό αποτέλεσμα.

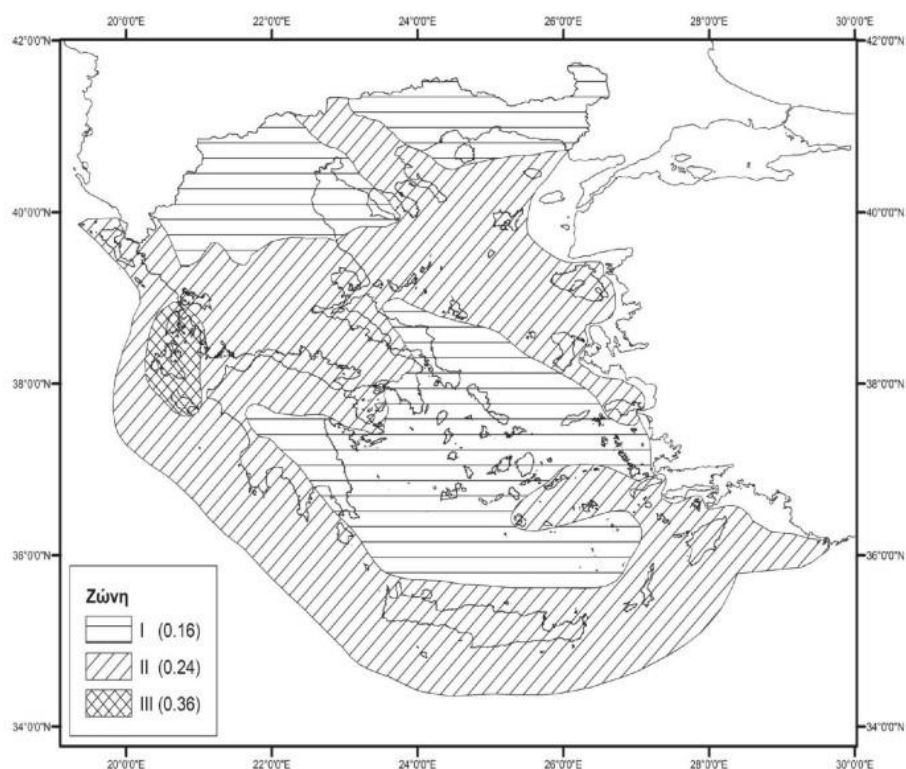
Ο φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας σχηματίζεται εντός των σχηματισμών που έχουν σημαντικό πάχος και είναι υπερκείμενοι του Αθηναϊκού σχιστόλιθου. Συγκεκριμένα, στη Χ.Θ. από 11+500 έως 11+800 της χάραξης, ο σχιστόλιθος εμφανίζει ένα ύβωμα και έχει μικρή εδαφική κάλυψη, όπου ο φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας συναντάται εντός αυτού. Έτσι, από τα παραπάνω δεδομένα μπορεί να εξαχθεί ως συμπέρασμα ότι υπάρχει συνέχεια του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, ανεξαρτήτως των λιθολογικών συνθηκών που εμφανίζονται κατά μήκος της χάραξης του έργου. (ΕΡΓΟΣΕ, 2014)

Από τις εργαστηριακές δοκιμές υδροπερατότητας που έγιναν στους Αθηναϊκούς σχιστόλιθους, προέκυψαν αποτελέσματα από 1×10^{-3} έως 1×10^{-5} cm/sec. Σύμφωνα με αυτά τα αποτελέσματα, οι Αθηναϊκοί σχιστόλιθοι κατατάσσονται στην κατηγορία των ημιπερατών σχηματισμών. Οι υγιείς κερματισμένοι δολερίτες εμφανίζουν μεγάλη περατότητα ως σχηματισμοί (μεγαλύτερη από τους Αθηναϊκούς σχιστόλιθους) κατατάσσοντας τους ως περατούς σχηματισμούς. Οι υπόλοιποι εδαφικοί σχηματισμοί που συναντήθηκαν σε συνάρτηση με την κοκκομετρική τους

διαβάθμιση, μπορούν να χαρακτηριστούν ως ημιπερατοί σχηματισμοί. Οι ανωτέρω γεωλογικοί σχηματισμοί έχουν από μικρή έως μέτρια υδροπερατότητα, γεγονός που καθιστά εφικτή την ανάπτυξη υδροφόρων οριζόντων μικρού δυναμικού. Επιπροσθέτως, κάτω από την υπόγεια στάθμη υδροστατικής ηρεμίας, ο Αθηναϊκός σχιστόλιθος θεωρείται κορεσμένος, ενώ οι υπερκείμενες αποθέσεις παρουσιάζουν τριχοειδή ανύψωση. (ΕΡΓΟΣΕ, 2014)

3.3. Σεισμικότητα

Η περιοχή κατασκευής του έργου υπογειοποίησης, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 – Αντισεισμικός σχεδιασμός και το Εθνικό Προσάρτημα αντιστοιχεί στη ζώνη Z1 σεισμικής επικινδυνότητας με σεισμική επιτάχυνση εδάφους $\alpha_{gR} = 0,16g$. Το υπέδαφος ανήκει στην κατηγορία Β.



Σχήμα 3.1: Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας

3.4. Γεωτρήσεις και δειγματοληψία

Τα αποτελέσματα της γεωλογικής και γεωτεχνικής έρευνας εξήχθησαν μέσα από εργαστηριακές δοκιμές και εργασίες υπαίθρου.

Πραγματοποιήθηκαν εννέα γεωτρήσεις B1, B3, B4, B5, B6, B8, B9, B10, B11 με περιστροφικό γεωτρύπανο τύπου BOYLES BBS 17. Με το χρονικό διάστημα πραγματοποίησης τους να είναι από τις 8/7/2014 έως τις 4/8/2014. Τα βάθη των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 15,10 έως 32,40 μέτρα. Επίσης, για την ορθότερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και εξαγωγή συμπερασμάτων, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα προηγούμενων γεωτρήσεων που είχαν πραγματοποιηθεί στην περιοχή ενδιαφέροντος κατασκευής του έργου υπογειοποίησης. Το πλήθος των γεωτρήσεων είναι 19 και τα βάθη τους κυμαίνονται από 15,00 έως 35,00 μέτρα. (ΕΡΓΟΣΕ, 2014)

Κατά την εκτέλεση των γεωτρήσεων έγινε δειγματοληψία το ποσοστό της οποίας ήταν υψηλό και κυμάνθηκε στο 95% - 100%. Τα δείγματα που ελήφθησαν κατατάχθηκαν σε τρεις βασικές κατηγορίες.

- Ημιδιαταραγμένα δείγματα με «φραγμό» (διακοπή της ροής νερού για τη διάτρηση της γεώτρησης).
- Δείγματα καροταρίας με δειγματολήπτη απλού ή διπλού τοιχώματος ή τύπου T6S βραδείας διάτρησης με αδαμαντοκορώνα.
- Ημιδιαταραγμένα δείγματα με τον δειγματολήπτη της δοκιμής πρότυπης διείδυσης. (ΕΡΓΟΣΕ, 2014)

3.5. Επιτόπου δοκιμές

Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των γεωτρήσεων, πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες δοκιμές και μετρήσεις:

- Δοκιμές τυποποιημένης διείδυσης (SPT) ανά 2,00 μέτρα
- Δοκιμές υδροπερατότητας σύμφωνα με τη μέθοδο LUGEON και MAAG.
- Μετρήσεις στάθμης υπόγειου νερού με τη χρήση ηλεκτρικού σταθμήμετρου.

- Δοκιμές πρεσσιόμετρου PMT με πρεσσιόμετρο τύπου Menard.

Κατόπιν, σε όλες τις γεωτρήσεις τοποθετήθηκαν πιεζομετρικοί φιλτροσωλήνες, ώστε να γίνεται λήψη δεδομένων που αφορά τη στάθμη του υπόγειου νερού μετά την ολοκλήρωση των γεωτρήσεων, χωρίς το αποτέλεσμα της μέτρησης να επηρεάζεται από το νερό που χρησιμοποιήθηκε κατά την διάνοιξη των γεωτρήσεων. (ΕΡΓΟΣΕ, 2014)

3.6. Εργαστηριακές δοκιμές

Για τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των εδαφικών στρώσεων, πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές δοκιμές στα δείγματα που είχαν ληφθεί κατά τις γεωτρήσεις.

Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Earth Manual του βιβλίου του T.W. Lambe (Soil testing for engineers), του ΥΠΕΧΩΔΕ (Ε105 – 86), του AASHTO και του ASTM.

Πραγματοποιήθηκαν εννέα εργαστηριακές δοκιμές.

- Κοκκομετρική διαβάθμιση με κόσκινα
- Προσδιορισμός ειδικού βάρους
- Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας
- Προσδιορισμός ορίων Atterberg
- Δοκιμή άμεσης βραδείας διάτμησης με προστερεοποίηση (CD)
- Δοκιμή στερεοποίησης
- Δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης σε εδαφικά και βραχώδη δοκίμια με μέτρηση του μέτρου ελαστικότητας και συντελεστή Poisson
- Δοκιμή σημειακής φόρτισης
- Προσδιορισμός πορώδους και πυκνότητας σε βραχώδη δοκίμια. (ΕΡΓΟΣΕ, 2014)

3.7. Στρωματογραφία – Συνθήκες υπεδάφους

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων κατά μήκος της χάραξης της υπογειοποίησης το υπέδαφος έχει διαχωριστεί σε εννέα στρώσεις.

Τεχνητές επιχωματώσεις (Τ.Ε)

Συναντώνται επιφανειακά με πάχος που κυμαίνεται από 0,40 έως 3,50 μέτρα. Αποτελούνται κυρίως υλικά προερχόμενα από ανθρώπινη παρέμβαση, υλικά οδοποιίας ή υλικά διαμόρφωσης της σιδηροδρομικής γραμμής. Αποτελούνται κυρίως από αργιλώδη αμμοχάλικα (GC) μέσης έως πυκνής εναπόθεσης, καστανού – καστανοκίτρινου – καστανέρυθρου χρώματος.

Η στρώση Τ.Ε. αποτελείται κατά μέσο όρο από 28% χάλικες, 31% άμμο και 41% αργυλοϊλύ.

Το όριο υδαρότητας $LL = 26\%$, το όριο πλαστικότητας $PL = 16\%$ και ο δείκτης πλαστικότητας $PI = 10\%$.

Η φυσική υγρασία της στρώσης ισούται με $w = 6,9\%$. Το ξηρό μοναδιαίο βάρος της στρώσης $\gamma_d = 19,6 \text{ kN/m}^3$, το υγρό μοναδιαίο βάρος $\gamma_u = 21 \text{ kN/m}^3$ και το κορεσμένο μοναδιαίο βάρος $\gamma_{sat} = 22,9 \text{ kN/m}^3$.

Για την αντοχή με στράγγιση, η γωνία εσωτερικής τριβής της στρώσης είναι $\phi' = 30^\circ$ και η συνοχή $c' = 0$. Το μέτρο συμπίεσης της στρώσης Τ.Ε. ισούται με $E_s = 15 \text{ MPa}$.

Τέλος, πραγματοποιήθηκαν τρεις δοκιμές SPT στη στρώση Τ.Ε με μέσο όρο $NSPT = 15$, και οι αντίστοιχες τιμές των διορθώσεων είναι $N1(70) = 18$, $N1(60) = 21$ και $N^*60 = 11$.

Στρώση I

Η στρώση I αποτελείται από άμμο αργιλώδη (SC) μεσόπυκνης εναπόθεσης έως άργιλο αμμώδη (CL), στιφρή έως πολύ στιφρή, χαμηλής πλαστικότητας με χαλίκια και κατά θέσεις έως αργιλώδη αμμοχάλικα (GC) καστανού έως καστανέρυθρου χρώματος. Το πάχος της στρώσης I κυμαίνεται από 0,40 έως 4 μέτρα. Με εξαίρεση μια γεώτρηση (Γ18-2) όπου το πάχος της στρώσης εντοπίστηκε στα 6,30 μέτρα. Η

στρώση I αποτελεί μέρος των πλειστοκαινικών αποθέσεων και συναντάται ακριβώς από κάτω από τη ζώνη TE. Η στρώση I βρίσκεται άνωθεν του μανδύα αποσάθρωσης του Αθηναϊκού σχιστόλιθου. Στη στρώση I, επικρατούν κατά θέσεις είτε η αργιλική φάση είτε η αργιλοαμμώδης, χωρίς σαφή διαχωρισμό μεταξύ τους.

Η κοκκομετρική διαβάθμιση της στρώσης I είναι: 21% χαλίκια, 31% άμμο, και 48% αργιλοϊλύ.

Τα όρια συνεκτικότητας της στρώσης I είναι: όριο υδαρότητας LL = 25%, το όριο πλαστικότητας PL = 15% και ο δείκτης πλαστικότητας PI = 10%.

Για τον προσδιορισμό των φυσικών χαρακτηριστικών της στρώσης I, Η φυσική υγρασία $w = 15,2$. Ο λόγος κενών $e = 0,48$.

Ο δείκτης συμπίεσης της στρώσης I, είναι ίσος με $C_c = 0,09$.

Στη στρώση I έγιναν δοκιμές βραδείας διάτμησης με προστεροποίηση (CD), δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης, τριαξονική δοκιμή χωρίς στερεοποίηση, χωρίς αποστράγγιση (UU).

Αντοχή $q_u = 122$ kPa και επί τοις εκατό παραμόρφωση $\epsilon = 3\%$.

Οι προτεινόμενες τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων της στρώσης I ακολουθούν μια συντηρητική προσέγγιση και έχουν τις ακόλουθες τιμές. Το υγρό μοναδιαίο βάρος $\gamma_u = 21$ kN/m³, το ξηρό μοναδιαίο βάρος της στρώσης I $\gamma_d = 17,8$ kN/m³ και το κορεσμένο μοναδιαίο βάρος $\gamma_{sat} = 21,1$ kN/m³. Για την αντοχή με στράγγιση η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ' ισούται με 30° και η συνοχή $c' = 2$ kPa. Τέλος, το μέτρο συμπίεσης της στρώσης I είναι $E_s = 15$ MPa.

Στη στρώση I διενεργήθηκαν συνολικά 14 δοκιμές SPT, από αυτές οι 9 έδωσαν τα ακόλουθα αποτελέσματα, $N_{SPT} = 40$, $N_{1(70)} = 35$, $N_{1(60)} = 41$ και $N^*_{60} = 38$, ενώ υπόλοιπες 36 δοκιμές έδωσαν $N_{SPT} > 50$.

Στρώση II

Η στρώση II αποτελείται από άργιλο με άμμο και κατά θέσεις εντοπίζονται χαλίκια. Είναι χαμηλής πλαστικότητας και υψηλής σκληρότητας, καστανέρυθρου χρώματος.

Η συγκεκριμένη στρώση συναντήθηκε σε μία μόνο εκ των γεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκαν (Γ18-2), πάχους 5,70 μέτρων.

Συγκεκριμένα, η στρώση II συνίσταται από άργιλο με χάλικες κατά θέσεις, σκληρή και χαμηλής πλαστικότητας.

Από τις εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν, προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα.

Η κοκκομετρία της στρώσης II αποτελείται από: 3% χάλικες, 19% άμμο και 78% αργιλοϊλύ.

Οι δείκτες συνεκτικότητας της στρώσης II είναι οι εξής: το όριο υδαρότητας $LL = 29\%$, το όριο πλαστικότητας $PL = 15\%$, δείκτης πλαστικότητας $PI = 15\%$ και ο δείκτης συνεκτικότητας είναι $I_c = 1,09$.

Όσον αφορά τα φυσικά χαρακτηριστικά της στρώσης, η φυσική υγρασία ισούται με $w = 12,6\%$, ο λόγος κενών $e = 0,39$.

Όσον αφορά τη στερεοποίηση, ο δείκτης συμπίεσης της στρώσης II ισούται με $C_c = 0,07$ και το μέτρο συμπίεσης είναι $E_s = 12 \text{ MPa}$ στην γεωστατική τάση.

Στη στρώση II πραγματοποιήθηκαν συνολικά πέντε δοκιμές, οι 3 δοκιμές έδωσαν τα ακόλουθα αποτελέσματα, $N_{SPT} = 41$, $N_{1(70)} = 28$, $N_{1(60)} = 33$ και $N^*_{60} = 41$, ενώ οι άλλες δύο δοκιμές έδωσαν $N_{SPT} > 50$.

Η αντοχή σε διάτμηση της στρώσης II μετρήθηκε μέσω μίας τριαξονικής δοκιμής με στερεοποίηση, με μέτρηση πίεσης πόρων (CUPP). Από την δοκιμή προέκυψε γωνία εσωτερικής τριβής $\phi' = 32^\circ$ και τιμή συνοχής $c' = 0$.

Ακολουθώντας συντηρητική προσέγγιση, οι χαρακτηριστικές τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων της στρώσης II είναι οι ακόλουθες. Το υγρό μοναδιαίο βάρος $\gamma_u = 22,1 \text{ kN/m}^3$, το ξηρό μοναδιαίο βάρος $\gamma_d = 19,3 \text{ kN/m}^3$ και το κορεσμένο μοναδιαίο βάρος $\gamma_{sat} = 22,1 \text{ kN/m}^3$. Η γωνία εσωτερικής τριβής $\phi' = 28^\circ$, η συνοχή $c' = 0$ και η αστράγγιστη συνοχή $c_u = 100 \text{ kPa}$. Το μέτρο συμπίεσης είναι $E_s = 12 \text{ MPa}$.

Στρώση sch0

Τη συγκεκριμένη στρώση αποτελεί τον μανδύα αποσάθρωσης του υποκείμενου Αθηναϊκού σχιστόλιθου. Η στρώση sch0 συνίσταται από αργιλοϊλυώδη χαλίκια με άμμο έως αργιλοϊλυώδη άμμο με χαλίκια, πολύ πυκνής εναπόθεσης ανοικτότεφρου χρώματος. Συναντάται επιφανειακά σχεδόν σε όλο το μήκος της χάραξης έως τη θέση που τελειώνει το υπόγειο τμήμα.

Η στρώση sch0 αποτελείται από 26% χαλίκια, 29% άμμο, και 45% αργιλοϊλύ.

Οι δείκτες συνεκτικότητας της στρώσης sch0 είναι οι ακόλουθοι: το όριο υδαρότητας $LL = 27\%$, το όριο πλαστικότητας $PL = 16\%$ και ο δείκτης πλαστικότητας $PI = 11\%$.

Η φυσική υγρασία της στρώσης sch0 είναι $w = 11,5\%$ και ο λόγος κενών $e = 0,45$.

Ο δείκτης συμπίεσης C_c που αφορά τη στερεοποίηση της στρώσης sch0, είναι $C_c = 0,11$.

Στη στρώση δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης έδωσε αποτελέσματα για την αντοχή $q_u = 211$ kPa και την παραμόρφωση $\epsilon = 5\%$.

Έπειτα από δοκιμές βραδείας διάτμησης με προστερεοποίηση και τριαξονική δοκιμή χωρίς στερεοποίηση, χωρίς αποστράγγιση (UU) προέκυψαν τα αποτελέσματα που ακολουθούν.

Οι χαρακτηριστικές τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων υπολογίστηκαν ακολουθώντας μια συντηρητική προσέγγιση. Το υγρό μοναδιαίο βάρος $\gamma_u = 21,6$ kPa, το ξηρό μοναδιαίο βάρος $\gamma_d = 19,1$ kPa και το κορεσμένο μοναδιαίο βάρος $\gamma_{sat} = 22,3$ kPa. Η γωνία εσωτερικής τριβής $\phi' = 30^\circ$ και η συνοχή $c' = 5$ kPa. Το μέτρο συμπίεσης $E_s = 40$ MPa.

Στη στρώση sch0 πραγματοποιήθηκαν συνολικά 26 δοκιμές SPT, από τις 12 προέκυψαν κατά μέσο όρο τα ακόλουθα αποτελέσματα, $N_{SPT} = 34$, $N_{1(70)} = 35$, $N_{1(60)} = 41$ και $N^*_{60} = 27$, ενώ υπόλοιπες 14 δοκιμές έδωσαν $N_{SPT} > 50$.

Τέλος, ο δείκτης υδροπερατότητας k ισούται με $k = 8,95 \times 10^{-5}$ cm/sec.

Στρώση brc1

Η στρώση brc1 συνίσταται από κροκαλολατυποπαγές με αργιλική συνδετική μάζα, αποτελούμενο από λατύπες ασβεστολιθικής σύστασης. Το υλικό της στρώσης είναι μέτρια έως πολύ αποσαθρωμένο, μικρής αντοχής, μέτρια διακλασμένο καστανού χρώματος. Σύμφωνα με το διάγραμμα ταξινόμησης βραχώμαζας GSI κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 45 – 55. Κατά τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, συναντήθηκαν κατά θέσεις αργιλώδη χαλίκια με άμμο. Το πάχος της στρώσης κυμαίνεται μεταξύ 0,75 έως 3,80 μέτρα.

Η κοκκομετρία της στρώσης brc1 είναι: 58% χαλίκια, 19% άμμο και 23% αργιλιού. Αντίστοιχα, τα όρια συνεκτικότητας της στρώσης br1 είναι: όριο υδαρότητας είναι $LL = 44\%$, το όριο πλαστικότητας $PL = 15\%$ και ο δείκτης πλαστικότητας $PI = 29\%$.

Για τα φυσικά χαρακτηριστικά της στρώσης brc1, το πορώδες $n = 7,24\%$. Το ξηρό μοναδιαίο βάρος $\gamma_d = 24,41 \text{ kN/m}^3$ και το κορεσμένο μοναδιαίο βάρος $\gamma_{sat} = 24,8 \text{ kN/m}^3$.

Στη στρώση brc1 πραγματοποιήθηκε δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης βραχώδους δοκιμίου, από την οποία προσδιορίστηκε η θλιπτική αντοχή σ_c και το μέτρο ελαστικότητας E . Για την θλιπτική αντοχή, έγιναν 8 δοκιμές με αποτελέσματα που κυμαίνονται από 2,5 MPa έως 23 MPa, τυπική απόκλιση 8 MPa και διάστημα εμπιστοσύνης από 7,3 MPa έως 17,5 MPa. Κατά μέσο όρο, η τιμή της θλιπτικής αντοχής $\sigma_c = 12 \text{ MPa}$. Το μέτρο ελαστικότητας, κατά μέσο όρο έπειτα από 3 δοκιμές, ισούται με $E = 4624 \text{ MPa}$.

Επίσης, στη στρώση brc1 πραγματοποιήθηκε δοκιμή σημειακής φόρτισης βραχώδους δοκιμίου σε 3 επαναλήψεις, από όπου βρέθηκε ότι κατά μέσο όρο ο δείκτης φορτίου αιχμής $I_{s(50)} = 1,3 \text{ MPa}$.

Οι χαρακτηριστικές τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων για αντοχή με στράγγιση είναι η γωνία εσωτερικής τριβής $\phi' = 50^\circ$ και η συνοχή $c' = 100 \text{ kPa}$. Το μέτρο παραμόρφωσης $E' = 1040 \text{ MPa}$.

Τέλος, ο δείκτης υδροπερατότητας k μετρήθηκε σε δύο δοκιμές, οι τιμές είναι $1,54 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ $5,89 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$.

Στρώση brc2

Αντίστοιχα, όπως και η στρώση brc1, η στρώση brc2 αποτελείται από κροκαλολατυποπαγές, με αργλική συνδετική μάζα, ασβεστολιθικής σύστασης λατύπες. Το υλικό που αποτελεί τη στρώση είναι πολύ έως τελείως αποσαθρωμένο, πολύ μικρής αντοχής, μέτρια διακλασμένο καστανού χρώματος. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε αργιλώδη χαλίκια με άμμο, με μικρούς πυρήνες βράχου. Σύμφωνα με το διάγραμμα ταξινόμησης βραχώμαζας GSI, η τιμή του κυμαίνεται στις τιμές 15 – 22. Η συγκεκριμένη στρώση εντοπίστηκε μόνο σε μία γεώτρηση (B11), το πάχος της οποίας είναι 8,40 μέτρα.

Οι εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν έδωσαν τα ακόλουθα αποτελέσματα.

Τα φυσικά χαρακτηριστικά της στρώσης brc2 έχουν τις ακόλουθες τιμές, φυσική υγρασία $w = 13,1\%$, λόγος κενών $e = 0,40$. Το πορώδες ισούται με $n = 15,10\%$, το ξηρό μοναδιαίο βάρος $\gamma_d = 22,40 \text{ kN/m}^3$ και το κορεσμένο μοναδιαίο βάρος $\gamma_{sat} = 24 \text{ kN/m}^3$.

Σχετικά με τη στερεοποίηση της στρώσης brc2, ο δείκτης συμπίεσης είναι $C_c = 0,09$.

Από τη δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης βραχώδους δοκιμίου, προέκυψε η θλιπτική αντοχή, της στρώσης brc2 με μέσο όρο $\sigma_c = 0,8 \text{ MPa}$.

Οι τιμές των παραμέτρων αντοχής σε στράγγιση είναι, η γωνία τριβής $\phi' = 35^\circ$ και συνοχή $c' = 30 \text{ kPa}$.

Το μέτρο παραμόρφωσης της στρώσης brc2 είναι $E' = 40 \text{ MPa}$.

Έγινε μία δοκιμή SPT, όπου έδωσε $NSPT > 50$.

Τέλος, ο συντελεστής υδροπερατότητας μετρήθηκε με μία δοκιμή και έδωσε αποτέλεσμα $k = 8,65 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$.

Στρώση sch4-6

Η στρώση sch4-6 συνίσταται από αργλικό σχιστόλιθο, έντονα τεκτονισμένο και πολύ αποσαθρωμένο έως παραμένον έδαφος. Ο αργλικός σχιστόλιθος κατά θέσεις,

έχει δομή λατυποπαγούς, με διεισδύσεις υπερβασικών πετρωμάτων τεφροπράσινου χρώματος. Στα βαθύτερα σημεία της στρώσης, συνήθως πραγματοποιείται μετάβαση, κατά θέσεις, σε τεφρομέλανα ιλυολιθικό σχιστόλιθο εντελώς αποσαθρωμένο. Η δειγματοληψία έγινε σε αργιλώδη χαλίκια με άμμο, αργιλώδη άμμο με χαλίκια και αμμώδη ελαστική ιλύ με πυρήνες βράχου μικρής αντοχής (Αθηναϊκός σχιστόλιθος). Σύμφωνα με το διάγραμμα ταξινόμησης βραχώμαζας GSI, οι τιμές για τη στρώση sch4-6 κυμαίνονται μεταξύ 15 έως 23. Το πάχος της στρώσης κυμαίνεται μεταξύ 3,1 έως 20,1 μέτρα. Σε μία γεώτρηση (B3) συναντάται η στρώση sch4-6 με πάχος 1,3 μέτρα.

Η στρώση sch4-6 αποτελείται από 31% χαλίκια, 34% άμμο και 35% αργιλοίλυ.

Τα όρια συνεκτικότητας της στρώσης sch4-6 είναι: όριο υδαρότητας είναι $LL = 29\%$, το όριο πλαστικότητας $PL = 17\%$ και ο δείκτης πλαστικότητας $PI = 12\%$.

Για τα φυσικά χαρακτηριστικά της στρώσης sch4-6, έγιναν διαφορετικά πλήθη δοκιμών, ανάλογα με τη φυσική ιδιότητα που ήταν να προσδιοριστεί. Τα αποτελέσματα των δοκιμών παρατίθενται ακολούθως.

Η φυσική υγρασία της στρώσης sch4-6 ισούται κατά μέσο όρο με $w = 10,9\%$. Ο λόγος κενών κατά μέσο όρο ισούται με $e = 0,38\%$. Το πορώδες της στρώσης sch4-6 είναι $n = 7,24\%$.

Το ξηρό μοναδιαίο βάρος υπολογίστηκε έπειτα από 16 δοκιμές και κατά μέσο όρο ισούται με $\gamma_d = 20,20 \text{ kN/m}^3$ (προτεινόμενη τιμή 23 kN/m^3), το υγρό μοναδιαίο βάρος $\gamma_u = 22,93 \text{ kN/m}^3$ και το κορεσμένο μοναδιαίο βάρος $\gamma_{sat} = 24,8 \text{ kN/m}^3$.

Ο δείκτης συμπίεσης της στρώσης sch4-6 ισούται με $C_c = 0,11\%$.

Στη στρώση sch4-6, εφαρμόστηκε δοκιμή βραδείας διάτμησης με προστερεοποίηση (CD) όπου προέκυψε γωνία τριβής $\phi' = 33^\circ$ και συνοχή $c = 17 \text{ kPa}$.

Εκτελώντας δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης προσδιορίστηκε η αντοχή $q_u = 70 \text{ kPa}$.

Επίσης, στη στρώση sch4-6, πραγματοποιήθηκε μία τριαξονική δοκιμή χωρίς στερεοποίηση, χωρίς αποστράγγιση (UU), όπου προέκυψε τιμή συνοχής $c = 221 \text{ kPa}$.

Στη στρώση sch4-6 πραγματοποιήθηκε δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης βραχώδους δοκιμίου, από την οποία προσδιορίστηκε η θλιπτική αντοχή $\sigma_c = 5 \text{ MPa}$.

Πραγματοποιήθηκε επίσης, δοκιμή σημειακής φόρτισης βραχώδους δοκιμίου, από όπου βρέθηκε, κατά μέσο όρο ο δείκτης φορτίου αιχμής $I_{s(50)} = 0,6 \text{ MPa}$.

Οι χαρακτηριστικές τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων για αντοχή με στράγγιση είναι η γωνία εσωτερικής τριβής $\phi' = 30^\circ$ και η συνοχή $c' = 15 \text{ kPa}$. Το μέτρο παραμόρφωσης $E' = 65 \text{ MPa}$.

Στη στρώση sch4-6 πραγματοποιήθηκαν συνολικά 41 δοκιμές SPT, εκ των οποίων από τις 5 προέκυψαν κατά μέσο όρο τα ακόλουθα αποτελέσματα, $N_{SPT} = 40$, $N_{1(70)} = 35$, $N_{1(60)} = 41$ και $N^*_{60} = 38$, ενώ υπόλοιπες 36 δοκιμές έδωσαν $N_{SPT} > 50$.

Τέλος, ο δείκτης υδροπερατότητας k μετρήθηκε σε 13 δοκιμές, οι τιμές κυμάνθηκαν από $1,05 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ έως $9,78 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$, με μέση τιμή $k = 5,5 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$.

Στρώση sch2-4

Η στρώση sch2-4 συνίσταται από υπερβασικά πετρώματα (δολερίτης, σερπεντινωμένος περιδοτίτης), τεκτονισμένα και ελαφρά έως μέτρια αποσαθρωμένα και κατά θέσεις πολύ έως τελείως αποσαθρωμένα. Με δομή λατυποπαγούς, κατά θέσεις συνήθως μέτρια διακλασμένα, μικρής αντοχής, τεφροπράσινου χρώματος (Αθηναϊκός σχιστόλιθος). Σύμφωνα με το διάγραμμα ταξινόμησης βραχώμαζας έχει τιμή GSI που κυμαίνεται μεταξύ 30 – 40. Το πάχος της στρώσης κυμαίνεται από 1,70 έως 26,70 μέτρα.

Για τον προσδιορισμό των φυσικών χαρακτηριστικών της στρώσης sch2-4, έγιναν 29 δοκιμές για τον προσδιορισμό του πορώδους, όπου προέκυψε $n = 4,74\%$.

Στη στρώση sch2-4 έγιναν δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης βραχώδους δοκιμίου, όπου για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής $\sigma_c = 17,19 \text{ MPa}$. Το μέτρο ελαστικότητας E υπολογίστηκε κατά μέσο όρο $E = 9770 \text{ MPa}$. Τέλος, ο συντελεστής ν Poisson, κατά μέσο όρο υπολογίστηκε $\nu = 0,2768$.

Επίσης, στη στρώση sch2-4 πραγματοποιήθηκε δοκιμή σημειακής φόρτισης βραχώδους δοκιμίου, από την οποία προέκυψε ο δείκτης φορτίου αιχμής, όπου προέκυψε $I_s(50) = 1,54 \text{ MPa}$.

Οι προτεινόμενες τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων συνοψίζονται ως εξής, ξηρό μοναδιαίο βάρος $\gamma_d = 26 \text{ kN/m}^3$ και κορεσμένο μοναδιαίο βάρος $\gamma_{sat} = 26,5 \text{ kN/m}^3$.

Για την αντοχή σε στράγγιση της στρώσης sch2-4, η γωνία εσωτερικής τριβής $\phi' = 44^\circ$ και συνοχή $c' = 100 \text{ kPa}$. Το μέτρο παραμόρφωσης $E' = 440 \text{ MPa}$.

Στη στρώση εκτελέστηκαν 3 δοκιμές SPT, όπου και οι τρεις έδωσαν $N_{SPT} > 50$.

Τέλος, ο συντελεστή υδροπερατότητας k μετρήθηκε σε 11 δοκιμές, οι τιμές κυμάνθηκαν από $1,03 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ έως $8,54 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$, με μέση τιμή $k = 6,9 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$.

Στρώση k

Η στρώση k συνίσταται από ασβεστόλιθο με μορφή φακοειδούς εγκλείσματος εντός του Αθηναϊκού σχιστόλιθου. Είναι ελαφρά αποσαθρωμένος, μικρής αντοχής με τιμή GSI, σύμφωνα με την ταξινόμηση βραχώμαζας κυμαινόμενη από 40 έως 50. Το πάχος της στρώσης κυμαίνεται από 3,30 έως 9,50 μέτρα.

Ακολουθούν οι τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων που προσδιορίστηκαν με βάση τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών. Το ξηρό μοναδιαίο βάρος ισούται με $\gamma_d = 25 \text{ kN/m}^3$ και το κορεσμένο μοναδιαίο βάρος $\gamma_{sat} = 25,5 \text{ kN/m}^3$. Για τις χαρακτηριστικές τιμές αντοχής με στράγγιση, η γωνία εσωτερικής τριβής $\phi' = 50^\circ$ και η συνοχή $c' = 30 \text{ kPa}$. Τέλος, το μέτρο παραμόρφωσης E' ισούται με $E' = 1280 \text{ MPa}$.

3.7. Αποτελέσματα των δοκιμών

Ακολουθεί ένας συγκεντρωτικός πίνακας στον οποίο συγκεντρώνονται οι βασικές γεωτεχνικές παράμετροι όλων των παραπάνω στρώσεων .

Πίνακας 1: Βασικές γεωτεχνικές παράμετροι

(ΕΡΓΟΣΕ, 2014)

	Στρώσεις								
	T.E	I	II	sch0	brc1	brc2	sch4-6	sch2-4	k
γ_u (kN/m ³)	21	21	22.1	21.6	-	-	-	-	-
γ_d (kN/m ³)	19,6	17,8	19,3	19,1	24	22	23	26	25
γ_{sat} (kN/m ³)	22,9	21,1	22,1	22,3	24,8	24	24,8	26,5	25
ϕ' (°)	30	30	28	30	50	35	30	44	50
c' (kPa)	0	2	0	5	100	30	15	100	30
c_u (kPa)	-	-	100	-	-	-	-	-	-
E_s (Mpa)	15	15	12	40	-	-	-	-	-
E' (MPa)	-	-	-	-	1040	40	65	440	1280

Κεφάλαιο 4 Κατασκευαστικά στοιχεία

4.1. Μέθοδος κατασκευής

Κατά τα αρχικά στάδια των μελετών κατασκευής ενός έργου, από τις βασικές αποφάσεις που πρέπει να παρθούν είναι σχετικά με τη μέθοδο κατασκευής που πρόκειται να ακολουθηθεί για την κατασκευή.

Η επιλογή της μεθόδου κατασκευής εξαρτάται από τις γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή κατασκευής του έργου, το βάθος της εκσκαφής, από τις συνθήκες του περιβάλλοντος χώρου και τη διαθεσιμότητα αυτού.

Οι δύο βασικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή υπόγειων χώρων σε αστικές περιοχές είναι οι Cut & Cover (Bottom – up) και Cover & Cut (Top – down). Η μέθοδος Cut & Cover αφορά την εκσκαφή του ορύγματος παρέχοντας την απαραίτητη αντιστήριξη στα κατακόρυφα πρηνή και στη συνέχεια την κατασκευή του δομήματος της σήραγγας. Σε αντίθεση η μέθοδος Cover & Cut αφορά την κατασκευή του μόνιμου υπόγειου έργου σε διαδοχικά επίπεδα με τη γρήγορη κατασκευή της οροφής του υπόγειου ανοίγματος με σκοπό την απόδοση του ελευθέρου επίγειου χώρου. (Σοφιανός, 2018)

Λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή κατασκευής του έργου, επιλέχθηκε η μέθοδος Cover and Cut (Top – down). Αποτελεί την πλέον γνωστή μέθοδο που εφαρμόζεται σε αστικές περιοχές με έντονη κυκλοφορία, για εκσκαφές μικρού βάθους όπου το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι η μικρότερη δυνατή όχληση και διατάραξη του περιβάλλοντος.

Η μέθοδος Cover & Cut προτιμάται έναντι άλλων τεχνικών διάνοιξης όταν:

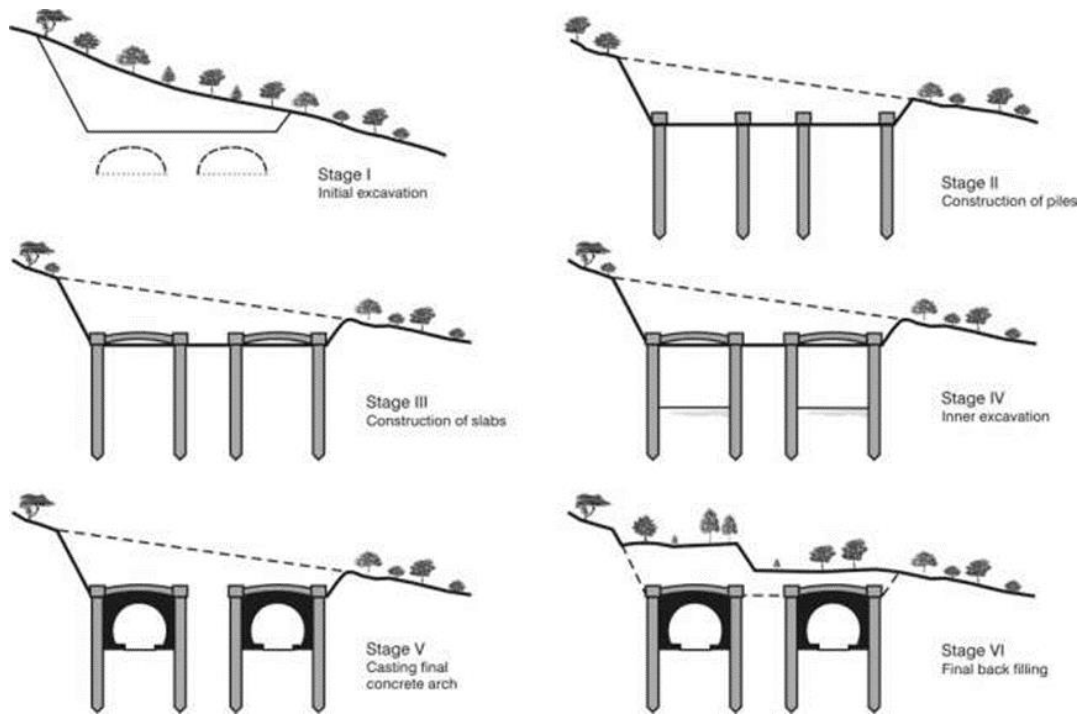
- Υπάρχει σημαντικός κίνδυνος κατολισθήσεων ή καταπτώσεων σε κατεύθυνση παράλληλη προς τη χάραξη
- Υπάρχει κίνδυνος ύπαρξης πλακών στην εγκάρσια κατεύθυνση
- Υπάρχει κίνδυνος βαθέων μετατοπίσεων οι οποίες οφείλονται σε εκτεταμένες εκσκαφές στην εγκάρσια κατεύθυνση της χάραξης
- Η ανοικτή εκσκαφή πρέπει να αποφεύγεται για περιβαλλοντικούς και οικολογικούς λόγους. (Μουρατίδης, 2008)

Το έργο της υπογειοποίησης του σιδηροδρόμου πραγματοποιείται εντός του αστικού ιστού της πόλης των Αθηνών, στην περιοχή των Σεπολίων που αποτελεί μια αρκετά πυκνοκατοικημένη περιοχή. Επιπροσθέτως, κρίθηκε ως απαραίτητη προϋπόθεση για την κατασκευή του έργου η ταυτόχρονη κυκλοφορία, χωρίς καμία διακοπή, των προαστιακών και των υπεραστικών δρομολογίων του ΟΣΕ που διέρχονται από τον Σιδηροδρομικό Σταθμό Αθηνών.

Επιλέχθηκε λοιπόν τεχνική εκσκαφής Cover & Cut έναντι κάποιας άλλης μεθόδου ανοικτής εκσκαφής προκειμένου να αποφευχθεί, όσο είναι δυνατόν, η όχληση και διατάραξη του περιβάλλοντος, λαμβάνοντας υπόψη ότι η κατασκευή πραγματοποιείται εντός κατοικημένης περιοχής. Η επιλογή έγινε με γνώμονα τη διατήρηση της κυκλοφορίας συρμών καθ' όλη τη διάρκεια κατασκευής του έργου.

Στάδια κατασκευής μεθόδου Cover & Cut

- Κατασκευή διαφραγματικών τοίχων ή πασσαλότοιχων από την επιφάνεια, περιμετρικά της εκσκαφής που θα ακολουθήσει.
- Εκσκαφή μέχρι τη στάθμη σκυροδέτησης της πλάκας οροφής. Αναλόγως του βάθους της εκσκαφής αυτής, μπορεί να χρειασθεί μια μικρή αντιστήριξη των παρειών, το οποίο μπορεί να γίνει με αντηρίδες.
- Σκυροδέτηση της πλάκας οροφής στον πυθμένα της εκσκαφής με τα κατάλληλα ανοίγματα. Στη συνέχεια συνδέεται με την περιφερειακή αντιστήριξη και στηρίζεται σε αυτή.
- Στη συνέχεια γίνεται η υπόλοιπη εκσκαφή και η κατασκευή των στοιχείων του μόνιμου φορέα στο εσωτερικό της σήραγγας.
- Τέλος, ακολουθεί η επανεπίκωση και αποκατάσταση της κυκλοφορίας πάνω από την πλάκα οροφής. (Κάζος & Σωτηρόπουλος, 2011)



Σχήμα 4.1: Στάδια κατασκευής μεθόδου Cover & Cut

(Μουρατίδης, 2008)

4.2. Περιγραφή εργασιών

Για την υλοποίηση κατασκευής του έργου υπογειοποίησης του σιδηροδρόμου απαιτείται η εκτέλεση των ακόλουθων εργασιών:

- Μετατόπιση δικτύων ΟΚΩ
- Κυκλοφοριακές ρυθμίσεις συρμών και οχημάτων
- Κατασκευή έργων αντιστήριξης - Διαφραγματικών τοίχων
- Χωματουργικές εργασίες (εκσκαφές)
- Κατασκευή πλακών επικάλυψης
- Επένδυση τοιχωμάτων Διαφραγματικών τοίχων
- Κατασκευή συστήματος αποστράγγισης στο υπόγειο τμήμα
- Κατασκευή σιδηροδρομικής επιδομής ή σιδηροδρομικού διαδρόμου
- Κατασκευή πεζοδρομίων, στηθαίων και νησίδων
- Επίχωση υπογειοποιημένου τμήματος και επιφανειακές διαμορφώσεις (αστική ανάπλαση)

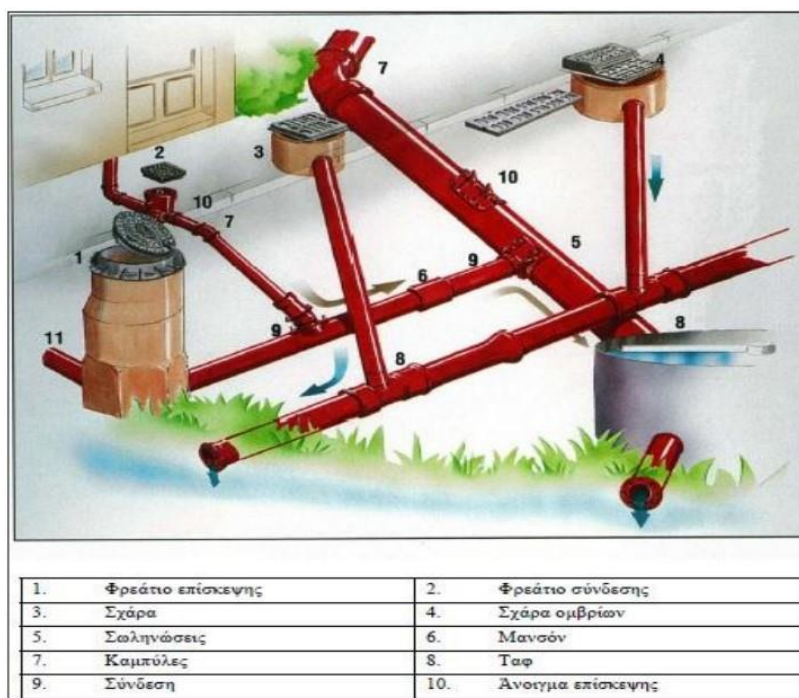
- Τοποθέτηση σήμανσης (κατακόρυφης και οριζόντιας) και συστημάτων ασφαλείας
- Κατασκευή των απαραίτητων ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων (φωτισμός, αερισμός, πυρανίχνευση) (Κάζος & Σωτηρόπουλος, 2011)

4.3. Δίκτυα Οργανισμών Κοινής Ωφέλειας (Ο.Κ.Ω.)

Η μετακίνηση των δικτύων οργανισμών κοινής ωφέλειας αποτελεί προτεραιότητα και προηγείται της κατασκευής ενός έργου εντός του αστικού περιβάλλοντος. Στην πόλη των Αθηνών τέτοια δίκτυα είναι τα:

- Δίκτυα ύδρευσης, αρμοδιότητας ΕΥΔΑΠ
- Δίκτυα αποχέτευσης ακαθάρτων, αρμοδιότητας ΕΥΔΑΠ
- Δίκτυα αποχέτευσης όμβριων, αρμοδιότητας Περιφέρειας Αττικής
- Δίκτυα μεταφοράς και διανομής ενέργειας, αρμοδιότητας ΔΕΗ
- Δίκτυα τηλεφωνίας και οπτικών ινών, αρμοδιότητας του εκάστοτε παρόχου
- Δίκτυα φυσικού αερίου, αρμοδιότητας ΔΕΠΑ

Τα δίκτυα κοινής ωφέλειας είναι τοποθετημένα κάτω από δρόμους και πεζοδρόμια και διαρθρώνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξυπηρετούν κτήρια, κατοικίες και υπηρεσίες της περιοχής. Κατά κύριο λόγο, τα δίκτυα αποχέτευσης ακαθάρτων και ομβρίων καθώς του φυσικού αερίου εντοπίζονται κάτω από το κατάστρωμα του δρόμου, ενώ τα υπόλοιπα δίκτυα τοποθετούνται κυρίως κάτω από τα πεζοδρόμια. Επίσης, κάτω από δρόμους τοποθετούνται αγωγοί οι οποίοι φέρουν μεγάλη διάμετρο όπως για παράδειγμα ένας κεντρικός αγωγός ύδρευσης. (Πουλίδη, 2017)



Σχήμα 4.2: Δίκτυα ΟΚΩ

(NAMA A.E.)

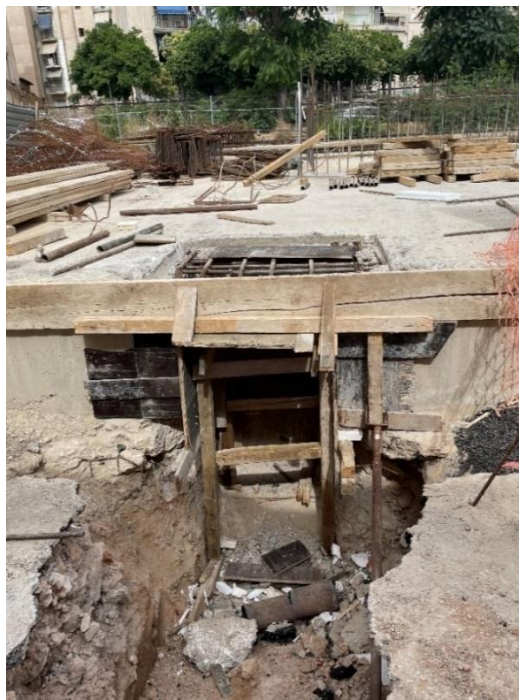
Η μετακίνηση των δικτύων ΟΚΩ είναι απαραίτητη και προηγείται της οποιασδήποτε εκσκαφής σε αστικό περιβάλλον. Η μετακίνηση των δικτύων πρέπει να γίνεται σε μικρό χρονικό διάστημα χωρίς να υπάρχουν απρόοπτα, βλάβες και διακοπές σε παροχές των δικτύων, οι οποίες επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την πρόοδο των εργασιών στο έργο δημιουργώντας καθυστερήσεις, όπως επίσης προκαλούν δυσμενείς συνέπειες στην καθημερινότητα και τις ημερήσιες δραστηριότητες των κατοίκων της περιοχής.

Για τη μεταφορά των δικτύων ΟΚΩ γίνεται μια προεργασία με μελέτη των υπάρχοντων σχεδίων που παρέχονται από τους Οργανισμούς για την καλύτερη προετοιμασία. Παρόλα αυτά, είναι συχνό φαινόμενο η ύπαρξη μη χαρτογραφημένων δικτύων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πολλά από τα δίκτυα είναι κατασκευασμένα για περισσότερες από πενήντα δεκαετίες, όταν δηλαδή δεν υπήρχε επαρκής καταγραφή και χαρτογράφηση των δικτύων ή σε περιπτώσεις που γινόταν δεν ήταν παρά μόνο ενδεικτική.

Στο μελετώμενο έργο καίριας σημασίας είναι οι αγωγοί ομβρίων και ακαθάρτων του δικτύου της ΕΥΔΑΠ στις οδούς Αγ. Μελετίου και Σιώκου.



Εικόνα 4.1: Καλώδια (ΟΚΩ) πάνω από τους οδηγούς τοίχους



Εικόνα 4.2: Διαμόρφωση ανοίγματος στους διαφραγματικούς τοίχους για σύνδεση με δίκτυα ΟΚΩ



Εικόνα 4.3: Σύνδεση δικτύων ΟΚΩ στις προβλεπόμενες θέσεις των διαφραγματικών τοίχων

4.4. Κυκλοφοριακές ρυθμίσεις

Η σημαντικότερη κυκλοφοριακή ρύθμιση είναι εκείνη που αφορά την κίνηση των συρμών. Οι αμαξοστοιχίες κινούνται στον διπλό σιδηροδρομικό διάδρομο και πριν την έναρξη των εργασιών, καταργείται η δυτική γραμμή, διατηρώντας την κίνηση αποκλειστικά στην ανατολική γραμμή καθ' όλη τη διάρκεια κατασκευής του έργου. Έπειτα η κυκλοφορία αποκαθίσταται στον ολοκληρωμένο υπογειοποιημένο δυτικό διάδρομο και καταργείται η επιφανειακή σιδηροδρομική γραμμή για την κατασκευή του ανατολικού διαδρόμου. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Κυκλοφοριακές ρυθμίσεις που αφορούν την κίνηση των οχημάτων, γίνονται σταδιακά. Με την πρόοδο των εργασιών γίνεται η σταδιακή κατάληψη της δυτικής πλευράς της οδού Κωνσταντινουπόλεως από το ύψος της οδού Σιώκου έως την οδό Χαρώνδου. Η διακοπή κυκλοφορίας των οχημάτων γίνεται όπου κρίνεται απαραίτητη και στο ίδιο χρονικό πλαίσιο με την κατάληψη των οδών κυκλοφορίας τους. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Για την διευκόλυνση της διέλευσης πεζών και κατοίκων των οικημάτων, διατηρείται η κυκλοφορία στα πεζοδρόμια της οδού. Προς αποφυγή της οπτικής

ρύπανσης, γίνεται η κάλυψη περιμετρικά του χώρου του εργοταξίου. Η κυκλοφορία των οχημάτων διατηρείται στις ισόπεδες διαβάσεις των οδών Σιώκου, Αγ. Μελετίου και Σεπολίων έως ότου κριθεί απαραίτητο να διακοπεί για την πρόοδο των εργασιών. Η κυκλοφορία των οχημάτων προβλέπεται να γίνεται μέσω παρακαμπτήριων οδών προς την όσο το δυνατόν καλύτερη διευκόλυνση των οδηγών και της μικρότερης δυνατής κυκλοφοριακής συμφόρησης. Με την ολοκλήρωση των εργασιών στον δυτικό διάδρομο αποκαθίσταται η κυκλοφορία στην οδό και στη συνέχεια ακολουθεί η περιβαλλοντική αποκατάσταση του χώρου.

Κατά την κατασκευή του ανατολικού διαδρόμου πρόκειται να ακολουθηθεί η αντίστοιχη διαδικασία με την κατάληψη της οδού Κωνσταντινουπόλεως από την οδό Σιώκου έως την οδό Χαρώνδου, με την κυκλοφορία των οχημάτων να γίνεται μέσω παρακαμπτηρίων οδών και την μετέπειτα αποκατάσταση της κυκλοφορίας της οδού και του περιβάλλοντος χώρου.

4.5. Αντιστήριξη του έργου

Για την κατασκευή ενός υπόγειου έργου, είναι απαραίτητη η αντιστήριξη των εδαφικών σχηματισμών. Έτσι, κρίνεται απαραίτητη η σωστή επιλογή της μεθόδου αντιστήριξης, η οποία θα ανταποκρίνεται στις εδαφικές συνθήκες που θα αντιμετωπιστούν κατά την εκσκαφή του υπόγειου έργου.

Συγκεκριμένα, σε εκσκαφές οι οποίες είναι κάθετες ή σχεδόν κάθετες με τους εδαφικούς σχηματισμούς, αναπτύσσονται πλευρικές ωθήσεις οι οποίες οφείλονται τόσο από το έδαφος όσο και από την παρουσία νερού.

Για την αντιμετώπιση των ωθήσεων κατασκευάζονται έργα αντιστήριξης, τα οποία αναλαμβάνουν τις ασκούμενες ωθήσεις προσφέροντας ευστάθεια στο υπό κατασκευή έργο.

Τέτοια έργα αντιστήριξης είναι:

- Τοίχοι βαρύτητας
- Δομικοί τοίχοι

- Εύκαμπτοι τοίχοι (π.χ. διαφραγματικοί τοίχοι, τοίχοι Βερολίνου, πασσαλοσανίδες)
- Πασσαλοδιαφράγματα (πάσσαλοι σε απόσταση, σε επαφή ή αλληλοτεμνόμενοι) (Ρόζος, 2007)

Κατόπιν, μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής των πλευρικών τοιχωμάτων του έργου τοποθετούνται αντηρίδες για την προσωρινή υποστήριξη του έργου και την ανάληψη των ωθήσεων γαιών από τα κατακόρυφα πρανή. Οι αντηρίδες διατηρούνται καθ' όλη τη διάρκεια κατασκευής του έργου και αφαιρούνται σταδιακά μέχρι να κατασκευαστούν οι μόνιμες πλάκες οροφής, δαπέδου και ενδιάμεση πλάκα που θα αναλάβουν τα φορτία. Οι αντηρίδες που χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευή είναι διαμέτρου $\Phi 609,6/12,5$ και στην κατασκευή ανάλογα με το βάθος της εκσκαφής τοποθετούνται από μία έως δύο αντηρίδες, σε κατακόρυφη απόσταση περί τα 3,30 μέτρα η μία από την άλλη.



Εικόνα 4.4: Αντηρίδες

4.6. Διαφραγματικοί τοίχοι

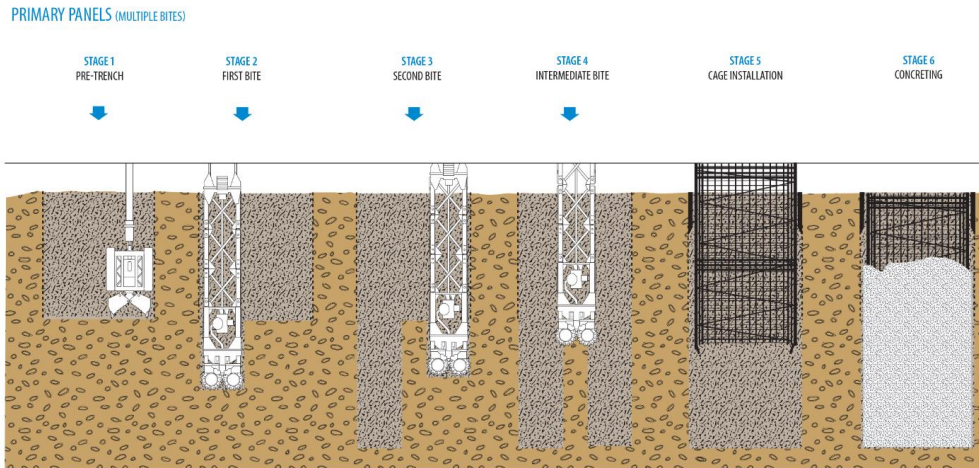
Η κατασκευή της σήραγγας Cover and Cut του τεχνικού υπογειοποίησης γίνεται με την κατασκευή Διαφραγματικών τοίχων, οι οποίοι κατασκευάζονται ως έγχυτα διαφράγματα.

Η επιλογή της κατασκευής της σήραγγας με διαφραγματικούς τοίχους αντί για πασσαλοδιαφράγματα έγινε λαμβάνοντας υπόψη της γεωλογικές, γεωτεχνικές και υδρογεωλογικές συνθήκες στην περιοχή κατασκευής του έργου. Επίσης το έργο κατασκευάζεται εντός κατοικημένης περιοχής το οποίο συνεπάγεται με την επιλογή της κατασκευαστικής λύσης με τη λιγότερη όχληση και ηχητική ρύπανση.

Για τον σχεδιασμό και την κατασκευή των διαφραγματικών τοίχων, είναι απαραίτητη η ρύθμιση της κυκλοφορίας οχημάτων και συρμών, καθώς και η μετατόπιση των δικτύων κοινής ωφέλειας.

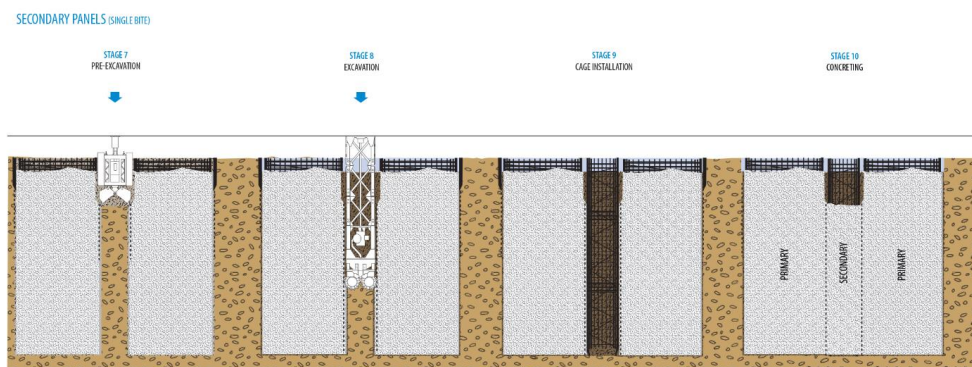
Η κατασκευή των διαφραγματικών τοίχων πραγματοποιείται, ακολουθώντας την αλληλουχία συγκεκριμένων εργασιών, οι οποίες παρατίθενται επιγραμματικά και στη συνέχεια θα αναλυθούν στη συνέχεια.

- Κατασκευή οδηγών τοίχων
- Προεκκαφή των διαφραγματικών τοίχων
- Εκσκαφή των διαφραγματικών τοίχων
- Καθαρισμός μπεντονιτικού αιωρήματος
- Τοποθέτηση οπλισμού
- Σκυροδέτηση (INTRAKAT & Σιδηροδρομικά Έργα, 2020)



Σχήμα 4.3: Στάδια κατασκευής διαφραγματικών τοίχων (πρωτεύοντα πάνελ)

Πηγή: www.trevispa.com/en



Σχήμα 4.4: Στάδια κατασκευής διαφραγματικών τοίχων (δευτερεύοντα πάνελ)

Πηγή: www.trevispa.com/en

4.6.1. Κατασκευή οδηγών τοίχων

Οι οδηγοί τοίχοι προηγούνται της κατασκευής των διαφραγματικών τοίχων σε ένα υπόγειο έργο. Κατασκευάζονται από ελαφρά οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C16/20 και έχουν πάχος 0,25 m με το βάθος τους κυμαίνεται περί τα 3 m. Η διατομή τους είναι τύπου L, ώστε να παρέχουν την απαραίτητη στήριξη έναντι υποσκαφής. Η επαρκής επίχωση τους είναι απαραίτητη για την αποφυγή σύγκλησης τους. (INTRAKAT & Σιδηροδρομικά Έργα, 2020)

Οι οδηγίοί τοίχοι κατασκευάζονται πρωτίστως για την ορθή καθοδήγηση του εκσκαπτικού μηχανήματος, της υδροφρέζας που χρησιμοποιείται για την εκσκαφή των διαφραγματικών τοίχων.

Συγκεκριμένα, οι οδηγίοί τοίχοι παρέχουν την απαραίτητη στήριξη στα χαλαρά επιφανειακά και ανώτερα στρώματα του υπεδάφους κατά τη διάρκεια των εργασιών εκσκαφής. Παράλληλα εξασφαλίζεται στήριξη και ασφάλεια έναντι ανατροπής των βαρέων μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευή, είτε αυτά είναι η υδροφρέζα είτε μηχανήματα ανύψωσης για την ανάρτηση και τοποθέτηση του οπλισμού των διαφραγμάτων. (INTRAKAT & Σιδηροδρομικά Έργα, 2020)

4.6.2. Προεκσκαφή

Οι συνθήκες κατασκευής θέτουν ως προϋπόθεση την πραγματοποίηση μιας προεκσκαφής πλάτους 0,80 m, με σκοπό βύθιση της αντλίας αναρρόφησης της υδροφρέζας. Σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρία BAUER, η φυγοκεντρική αντλία της υδροφρέζας βρίσκεται 3,50 μέτρα πάνω από την κάτω στάθμη εκσκαφής των κοπτικών τροχών. Επομένως η προεκσκαφή είναι σε αντίστοιχο βάθος με αυτό της αντλίας, ώστε να παραμείνει βυθισμένη εντός του μπεντονιτικού αιωρήματος ώστε να είναι αποτελεσματική απομάκρυνση των υλικών της εκσκαφής. (INTRAKAT & Σιδηροδρομικά Έργα, 2020)

4.6.3. Εκσκαφή των διαφραγματικών τοίχων

Οι τυπικές διαστάσεις που ακολουθούνται κατά την εκσκαφή των διαφραγματικών τοίχων έχουν πλάτος 2,80 m, πάχος 0,80 m και μέγιστο βάθος 19 μέτρα. Στα τεχνικά 5, 42 και 43 το πάχος του ανατολικού και δυτικού διαφράγματος είναι πάχους 1,00 μ. λόγω μεγάλου ύψους (8,00μ.). (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Η κατασκευή των διαφραγματικών τοίχων πραγματοποιείται σύμφωνα με τη μεθοδολογία κατασκευής πρωτεύον – δευτερεύον πάνελ. Γίνεται δηλαδή πρώτα η εκσκαφή των δύο κύριων (πρωτευόντων) πετασμάτων και έπειτα ακολουθεί η

εκσκαφή του δευτερεύοντος με υπερκοπή της τάξης των 15 – 20 εκ. και τη χρήση πλαισίων στα κύρια. (INTRAKAT & Σιδηροδρομικά Έργα, 2020)

Προτού ξεκινήσει η εκσκαφή, είναι απαραίτητο να έχουν προηγηθεί ορισμένες εργασίες προετοιμασίας του χώρου και του κοπτικού μηχανήματος. Σε αυτές περιλαμβάνεται η καλή κατάσταση και επιπεδοποίηση του δαπέδου πάνω στο οποίο πρόκειται να γίνει η έδραση του κοπτικού μηχανήματος. Επίσης, πριν την έναρξη της εκσκαφής στο πάνελ, τοποθετείται ένας ειδικός πλαισιωτός φορέας για την καθοδήγηση του κοπτικού. Μετά το πέρας της εκσκαφής, το πλαίσιο αφαιρείται. Τέλος, κατά την εκσκαφή, πραγματοποιείται η τροφοδοσία φρέσκου μπεντοντικού αιωρήματος με την παράλληλη άντληση των προϊόντων εκσκαφής μαζί με το μπεντοντικό αιώρημα. Τα υλικά που αντλούνται, προωθούνται μέσω του συγκροτήματος για ανακύκλωση και καθαρισμό. (INTRAKAT & Σιδηροδρομικά Έργα, 2020)

Η εκσκαφή των πετασμάτων των διαφραγματικών τοίχων, γίνεται χρήση υδραυλικής υδροφρέζας, όπως επίσης χρησιμοποιείται μπεντοντικό αιώρημα για την συγκράτηση των τοιχωμάτων.

Στην εκσκαφή χρησιμοποιείται υδραυλική υδροφρέζα έναντι μηχανικής αρπάγης (μπένα), εφόσον οι γεωλογικές συνθήκες και η θέση του έργου εντός οικιστικής περιοχής, δεν επιτρέπουν τη χρήση της. Χρησιμοποιείται λοιπόν υδραυλική υδροφρέζα της εταιρίας Bauer τύπου BC-32 αναρτημένη σε βασικό μηχάνημα Bauer BG40. Τα κοπτικά άκρα της υδροφρέζας κατασκευάζονται καρβίδια, με το είδος των κοπτικών να ποικίλουν, ανάλογα με τη συνθήκη του εδάφους που πρόκειται να εκσκάψουν. (INTRAKAT & Σιδηροδρομικά Έργα, 2020)



Εικόνα 4.5: Κοπτικά άκρα της υδροφρέζας



Εικόνα 4.6: Κοπτικά άκρα της υδροφρέζας

Κατά την έμπληξη του κοπτικού τα «τρίμματα» του εδάφους αναμειγνύονται με το μπεντονικό αιώρημα και απορροφώνται από τον κώνο αναρρόφησης και οδηγούνται μέσω της κεντρικής φυγοκεντρικής αντλίας στο συγκρότημα καθαρισμού του μπεντονικού αιωρήματος. Η κατακορυφότητα του κοπτικού ελέγχεται από δύο ανεξάρτητους αισθητήρες κλίσης κατά τους άξονες «Χ» και «Ψ». Τα δεδομένα μεταφέρονται στην οθόνη του χειριστή ο οποίος και κάνει τις απαραίτητες διορθώσεις με την χρήση πτυσσόμενων πλακών καθοδήγησης (flappers). (INTRAKAT & Σιδηροδρομικά Έργα, 2020)

4.6.4. Καθαρισμός μπεντονικού αιωρήματος

Για όσο διαρκεί η διαδικασία της εκσκαφής των διαφραγμάτων, παράλληλα διενεργείται και ο κύκλος καθαρισμού του μπεντονικού αιωρήματος. Ο βαρύς μπεντονίτης απομακρύνεται και τοποθετείται σε μια δεξαμενή προσωρινής φύλαξης και έπειτα προωθείται στα σιλό του συγκροτήματος καθαρισμού για τον χημικό – μηχανικό διαχωρισμό.

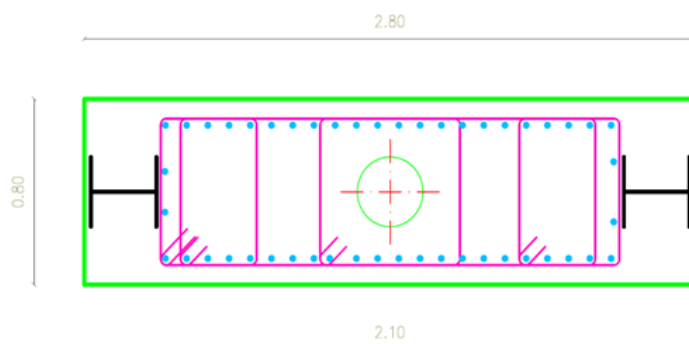
Παράλληλα με την απομάκρυνση του βαριού μπεντονικού αιωρήματος, στο πάνελ εκσκαφής γίνεται τροφοδοσία φρέσκου ελαφριού διαλύματος μπεντονίτη. Όταν διαπιστωθεί ότι όλο το βαρύ διάλυμα έχει αντικατασταθεί με το ελαφρύ, τότε πραγματοποιείται η τοποθέτηση του κλωβού οπλισμού.

4.6.5. Τοποθέτηση κλωβού οπλισμού

Μετά την ολοκλήρωση της εκσκαφής και τον καθαρισμό του πανέλου, τοποθετείται ο κλωβός οπλισμού από βοηθητικό γερανό σε ένα ή περισσότερα τμήματα ανάλογα με το βάθος εκσκαφής. Ο κλωβός οπλισμού αναρτάται από ειδικές θέσεις που έχουν προβλεφθεί κατά την κατασκευή (τιράντες). (INTRAKAT & Σιδηροδρομικά Έργα, 2020)

Όταν η τοποθέτηση γίνεται σε πρωτεύον πάνελ, το πλάτος του κλωβού πρέπει να είναι τέτοιο ώστε κατά την εκσκαφή του δευτερεύοντος πανέλου να μην κοπούν σίδερα κατά την εκσκαφή του γειτονικού πανέλου. Για τον λόγο αυτό, μετά την

εισαγωγή του κλωβού στο πρωτεύον πάνελο, τοποθετούνται εκατέρωθεν του πάνελου δοκοί HEB300. Οι δοκοί δρουν σαν αποστάτες και αφαιρούνται 3 – 4 μ. πριν το τέλος της σκυροδέτησης. (INTRAKAT & Σιδηροδρομικά Έργα, 2020)



Σχήμα 4.5: Δοκοί HEB300 στον πρωτεύοντα κλωβό

(INTRAKAT & Σιδηροδρομικά Έργα, 2020)

Ο κλωβός αναρτάται από τον οδηγό του διαφραγματικού τοίχου με ακρίβεια, στη στάθμη που προβλέπεται ώστε να εξασφαλισθεί η ορθότητα της στάθμης των συνδετήριων μηχανικών συνδέσμων (couplers). Τέλος στις παρειές του κλωβού τοποθετούνται πλαστικοί αποστάτες που εξασφαλίζουν την προβλεπόμενη επικάλυψη σκυροδέματος. Μετά την ολοκλήρωση της σκυροδέτησης, ο κλωβός σταθεροποιείται για την αποφυγή μετακινήσεων. (INTRAKAT & Σιδηροδρομικά Έργα, 2020)



Εικόνα 4.7: Κλωβός σπλισμού μετά την ολοκλήρωση της σκυροδέτησης

4.6.6. Σκυροδέτηση

Η σκυροδέτηση εκτελείται με την χρήση αντλίας σκυροδέματος και σωλήνων σκυροδέτησης (tremie pipes) εσωτερικής διαμέτρου 250mm αναρτημένοι από βοηθητικό γερανό. Το σκυρόδεμα που χρησιμοποιείται είναι κατηγορίας C30/37 και σε αυτό προστίθενται σταθεροποιητές και ίνες πυροπροστασίας.



Εικόνα 4.8: Ίνες πυροπροστασίας και σταθεροποιητές σκυροδέματος

Η σκυροδέτηση γίνεται από κάτω προς τα πάνω με ημίρευστο σκυρόδεμα προς αποφυγή ανάμειξης με το μπετονιτικό διάλυμα. Το μπετονιτικό αιώρημα εκτοπίζεται προς τα άνω και αντλείται για να οδηγηθεί στο συγκρότημα για επεξεργασία.

Όσον αφορά τα πρωτεύοντα πάνελα, μετά την αφαίρεση των δοκών ΗΕΒ300, τοποθετούνται σε αυτό το ανώτερο τμήμα (όπου βρίσκονταν οι δοκοί) εκατέρωθεν 2 μεταλλότυποι ώστε να εμποδισθεί η διαφυγή σκυροδέματος στο γειτονικό πάνελο στο τμήμα της προεκκαφής, οι οποίοι αφαιρούνται λίγες ώρες μετά το πέρας της σκυροδέτησης. (INTRAKAT & Σιδηροδρομικά Έργα, 2020)



Εικόνα 4.9: Πάνελ διαφράγματος αμέσως μετά την σκυροδέτηση

4.7. Μπεντονιτικό αιώρημα

Ο μπεντονίτης είναι αργλικό πέτρωμα, το οποίο αποτελείται σε ποσοστό μεγαλύτερο του 80% από το αργλικό ορυκτό μοντμοριλλονίτη και σχηματίζεται από την εξαλλοίωση των όξινων ηφαιστειακών πετρωμάτων. (Μπεντονίτης / *orykta.gr*)

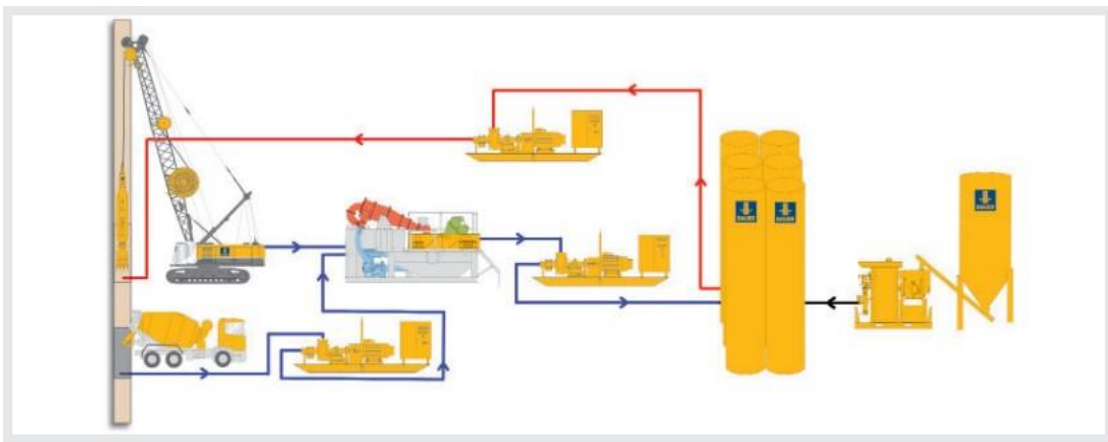
Λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε μοντμοριλλονίτη, ο μπεντονίτης φέρει τις αντίστοιχες χαρακτηριστικές ιδιότητες. Συγκεκριμένα, ο μπεντονίτης έχει μεγάλη προσροφητική ικανότητα και υψηλή πλαστικότητα. Φέρει επίσης, τη δυνατότητα ιοντοανταλλαγής, τη θιξοτροπία σε ιζώδη αιωρήματα και τέλος μπορεί να δράσει ως συνδετικό υλικό. Τέλος, η παρουσία μοντμοριλλονίτη αποδίδει στον μπεντονίτη τη χαρακτηριστική μεγάλη απορροφητική του ικανότητα. (Μπεντονίτης / *orykta.gr*)

Το μπεντονιτικό αιώρημα που χρησιμοποιείται κατά την κατασκευή των διαφραγματικών τοίχων, βασίζεται στις θιξοτροπικές ιδιότητες του μπεντονίτη. Η χρήση του γίνεται για την αντιστήριξη των πρανών του εκσκαπόμενου πάνελ διαφραγματικού τοίχου και για την διευκόλυνση της ταυτόχρονης απομάκρυνσης των προϊόντων της εκσκαφής από την υδροφρέζα. (Ρόζος, 2007)

Τα μπεντονιτικά διαλύματα που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των διαφραγματικών τοίχων είναι δύο ειδών, ένα «βαρύ» και ένα «ελαφρύ». Το βαρύ διάλυμα είναι ειδικού βάρους $1,50 \text{ kN/m}^3$ και χρησιμοποιείται κατά την εκσκαφή των

πάνελ των διαφραγματικών τοίχων. Ενώ κατά τη φάση της σκυροδέτησης γίνεται χρήση του ελαφριού διαλύματος ειδικού βάρους $0,5 \text{ kN/m}^3$.

Τα μπεντονικά αιωρήματα μετά τη χρήση τους στα πάνελ των πετασμάτων των διαφραγματικών τοίχων, αντλούνται και στη συνέχεια προωθούνται μέσω συστήματος σωληνώσεων στο κέντρο επεξεργασίας για καθαρισμό. Εντός του χώρου του εργοταξίου, έχει διαμορφωθεί ειδικό συγκρότημα επεξεργασίας και αποθήκευσης του μπεντονίτη και των αιωρημάτων του. Το συγκρότημα αυτό σε πρώτη φάση είναι εγκατεστημένο στην κατεύθυνση προς Τρείς Γέφυρες.



Σχήμα 4.6: Διάγραμμα κυκλοφορίας μπεντονικού διαλύματος

Πηγή: <https://geotechnical-solutions.bauer.de/en>

Η παρασκευή και η αποθήκευση του μπεντονικού διαλύματος γίνεται στο ίδιο συγκρότημα, όπου αναμειγνύεται ξηρός μπεντονίτης με νερό προς παραγωγή φρέσκου αιωρήματος, το οποίο φυλάσσεται σε σιλό. Έπειτα μέσω του συστήματος σωληνώσεων προωθείται από τα σιλό προς την δεξαμενή και έπειτα με αντλίες προς την εκσκαφή.



Εικόνα 4.10: Σιλό αποθήκευσης μπεντονιτικού διαλύματος

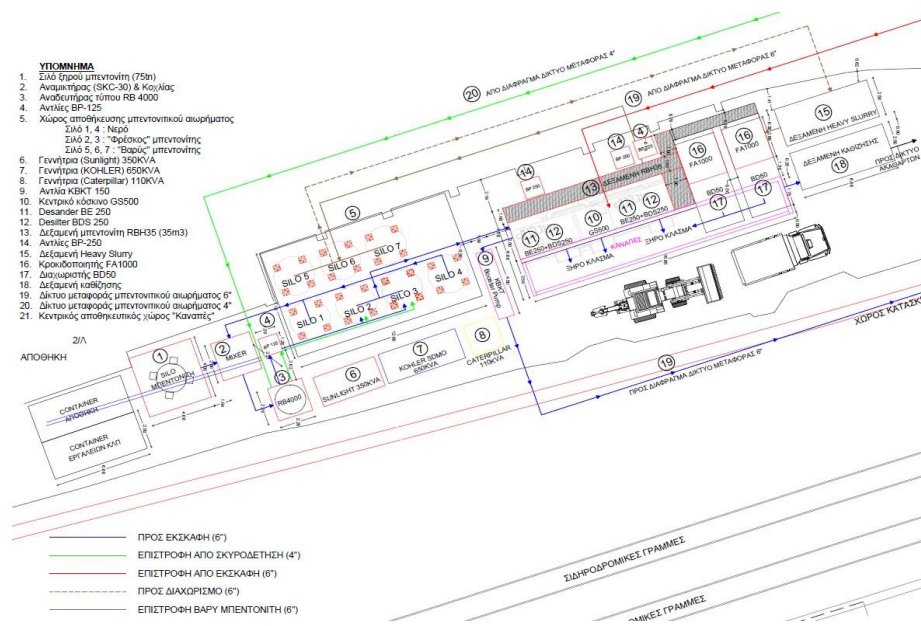
Οι αντλίες του συγκροτήματος έχουν μια συγκεκριμένη δυναμική που μπορεί να προωθήσει το υλικό για 500 με 700 μέτρα, για αυτό τον λόγο, για να καλυφθούν οι απαιτήσεις του έργου, κατά μήκος του οποίου κατασκευάζονται διαφραγματικοί τοίχοι και κατά συνέπεια γίνεται χρήση του μπεντονιτικού αιωρήματος, χρησιμοποιούνται επιπλέον δύο αντλίες booster, με τις οποίες εξασφαλίζονται περί τα 250 με 280 μέτρα ώθησης υλικού για κάθε αντλία. Όταν η κατασκευή των διαφραγμάτων ξεπεράσει το μισό του συνολικού μήκους κατασκευής, η εγκατάσταση του συγκροτήματος μεταφέρεται στο άλλο άκρο του έργου προς τη μεριά του Σ.Σ Αθηνών.



Εικόνα 4.11: Αντλία booster

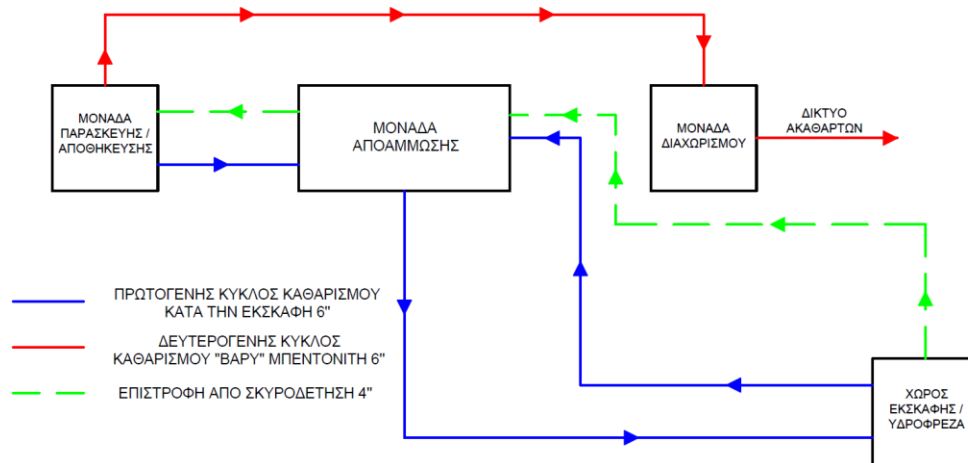
Η επεξεργασία του διαλύματος μπεντονίτη γίνεται εντός του χώρου του εργοταξίου, όπου υπάρχει μονάδα που φέρει διάταξη με κόσκινα για τον καθαρισμό από τα υλικά με τα οποία έρχεται σε επαφή κατά τη φάση της εκσκαφής των διαφραγματικών τοίχων (διαδικασία αποάμωσης). Η αποάμωση και ο διαχωρισμός του μπεντονίτη γίνεται με τη χρήση χημικού κροκιδωτικού μέσου. (INTRAKAT & Σιδηροδρομικά Έργα, 2020)

Κατόπιν, στο ελαφρύ αιώρημα μπεντονίτη προστίθενται ρυθμιστές pH προκειμένου να επιτευχθεί η διατήρηση του ειδικού βάρους σε μια σταθερή τιμή κατά τη διαδικασία της σκυροδέτησης. Χωρίς την προσθήκη των ρυθμιστών, υπάρχει κίνδυνος αλλοίωσης των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος εξαιτίας της ανάμειξης του με το ελαφρύ διάλυμα μπεντονίτη.



Σχήμα 4.7: Διάταξη συγκροτήματος μπεντονίτη

(INTRAKAT & Σιδηροδρομικά Έργα, 2020)



Σχήμα 4.8: Κύκλος διαχείρισης μπεντονιτικού διαλύματος
(INTRAKAT & Σιδηροδρομικά Έργα, 2020)

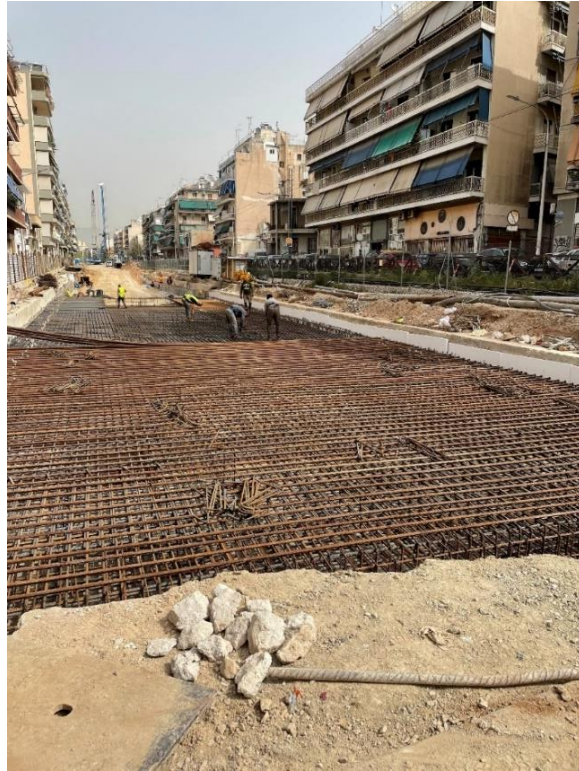
4.8. Χωματοουργικές εργασίες

Για την κατασκευή του υπόγειου τμήματος του έργου (τεχνικό Cover & Cut) εκτελούνται εργασίες εκσκαφής για την κατασκευή της άνω πλάκας του τεχνικού καθώς και στο υπόγειο μέρος.

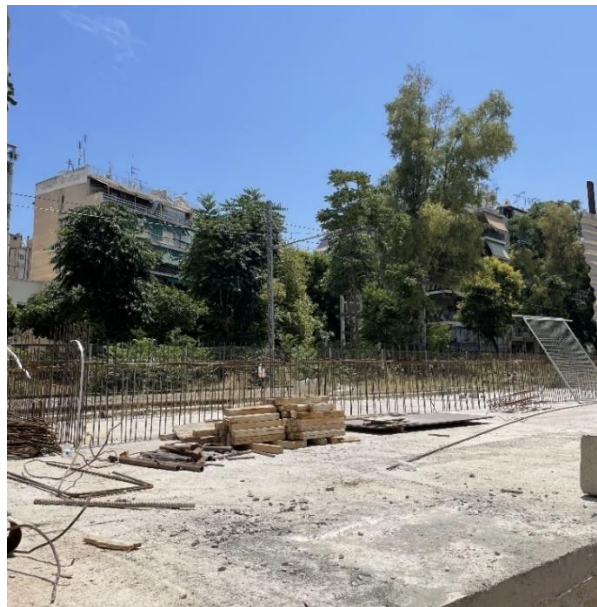
Για την κατασκευή της σιδηροδρομικής γραμμής στο ανοικτό τμήμα του έργου δεν απαιτούνται πρόσθετες χωματοουργικές εργασίες. Αντίστοιχα, και για την αποκατάσταση της οδού Κωνσταντινουπόλεως δεν απαιτείται η χρήση χωματοουργικών εργασιών.

4.9. Πλάκα οροφής

Η πλάκα οροφής έχει πάχος 0,80 m. Το σκυρόδεμα που χρησιμοποιείται είναι ποιότητας C30/37. Ο δομικός χάλυβας είναι κατηγορίας S235 και ο χάλυβας οπλισμού B500C. Η πλάκα οροφής είναι άκαμπτη και συνδέεται με τους διαφραγματικούς τοίχους με σκυρόδεμα τραπεζοειδούς διατομής μέσω των αναμονών (couplers) που έχουν προβλεφθεί στον οπλισμό των διαφραγματικών τοίχων. Τέλος, στην πλάκα οροφής εφαρμόζεται μια στρώση 10 cm από μπετόν καθαριότητας. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)



Εικόνα 4.12: Οπλισμός της πλάκας οροφής



Εικόνα 4.13: Πλάκα οροφής

Στις θέσεις όπου το βάθος της σήραγγας μεγαλώνει, κατασκευάζεται ενδιάμεση πλάκα, η οποία ενώνεται με τα τοιχώματα των διαφραγματικών τοίχων μέσω των

αναμονών (couplers) που έχουν προβλεφθεί να τοποθετηθούν στον οπλισμό τους. Αντίστοιχα, και η πλάκα θεμελίωσης της σήραγγας κατασκευάζεται με την χρήση couplers που υπάρχουν στους διαφραγματικούς τοίχους, για την ένωση τους με τον οπλισμό της πλάκας θεμελίωσης.



Εικόνα 4.14: Θέσεις couplers στους διαφραγματικούς τοίχους

4.10. Φάσεις κατασκευής του έργου

Το έργο της υπογειοποίησης πρόκειται να κατασκευαστεί χρησιμοποιώντας ως τεχνική κατασκευής την Cover & Cut (Top – down). Η υπογειοποίηση θα πραγματοποιηθεί ακολουθώντας τη διατομή ενός δικύψελου κιβωτίου, το οποίο θα κατασκευαστεί σε δύο φάσεις. Πρώτα θα κατασκευαστεί ο ανατολικός και στη συνέχεια ο δυτικός διάδρομος της σιδηροδρομικής γραμμής. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

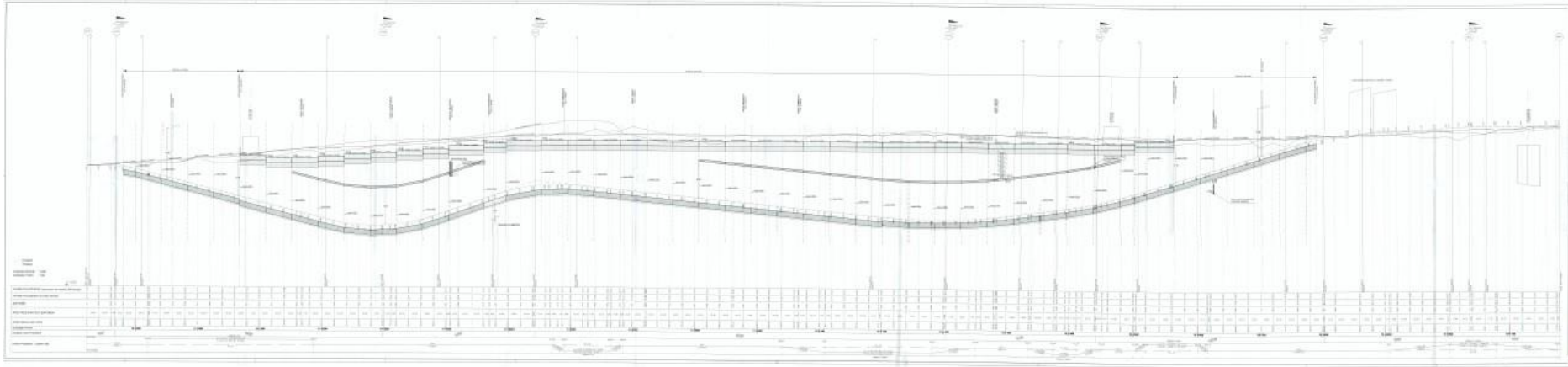
Το έργο υπογειοποίησης, πρόκειται να κατασκευαστεί ενόσω βρίσκεται σε λειτουργία η σιδηροδρομική γραμμή που εξυπηρετεί δρομολόγια προαστιακού και υπεραστικού. Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του δυτικού διαδρόμου, η κυκλοφορία των συρμών μεταφέρεται στο υπόγειο διάδρομο και ακολουθεί η αντίστοιχη αλληλουχία εργασιών για την κατασκευή του ανατολικού διαδρόμου.

Η κατασκευή του έργου χωρίζεται σε 47 υπό φάσεις κατασκευής (τεχνικά), τα όποια έχουν μήκος 42 μέτρα έκαστο με την απόσταση να ορίζεται από αρμό σε αρμό.

Σε κάθε τεχνικό κατασκευάζονται τα διαφράγματα, τα όποια αποτελούνται από σπονδύλους μήκους 2,80 μέτρων, πλάκα οροφής, πλάκα έδρασης και όπου κρίνεται απαραίτητο για την κατασκευή η ενδιάμεση πλάκα. Μετά την ολοκλήρωση των παραπάνω απαραίτητων στοιχείων για την κατασκευή, ολοκληρώνονται τα επιφανειακά έργα προκειμένου να δοθεί σε χρήση το υπέργειο έργο, ενόσω συνεχίζονται οι εργασίες για την ολοκλήρωση της σιδηροδρομικής γραμμής στο υπόγειο τμήμα.

Η κατασκευή των τεχνικών τμημάτων του έργου, διακρίνεται σε τέσσερις κύριες φάσεις:

- Τεχνικό ως ανοιχτή διατομή
- Τεχνικό ως κλειστή διατομή χωρίς ενδιάμεση πλάκα
- Τεχνικό ως κλειστή διατομή με ενδιάμεση πλάκα
- Τεχνικό Γεφύρωσης στην περιοχή της ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)



Σχήμα 4.9: Μηκοτομή

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

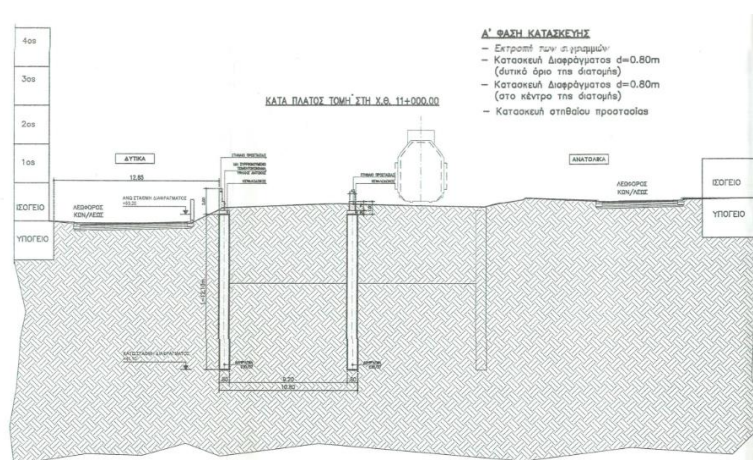
4.10.1. Κατασκευή του τεχνικού ως ανοιχτή διατομή

Η κατασκευή του τεχνικού ως ανοιχτή διατομή αφορά 11 τεχνικά. Σύμφωνα με την μηκοτομή του έργου αυτά είναι τα τεχνικά 1 – 5 και 42 – 47. Λαμβάνοντας υπόψη την οριζοντιογραφία και τη μηκοτομή του έργου, τα τεχνικά 1 έως 5 και 42 έως 47, τοποθετούνται στη θέση έναρξης και λήξης του υπόγειου φορέα, στις θέσεις εισόδου και εξόδου των συρμών από την σήραγγα cover and cut.

Κατά την κατασκευή των τεχνικών τα οποία φέρουν ανοιχτή διατομή διακρίνονται 7 επιμέρους φάσεις κατασκευής.

1^η φάση

- Κατάργηση και αποξήλωση των υφιστάμενων σιδηροδρομικών γραμμών στο δυτικό διάδρομο.
- Κατασκευή διαφραγμάτων πάχους 0,80 μέτρων στο δυτικό όριο και στο κέντρο της διατομής.
- Κατασκευή στηθαίου προστασίας.



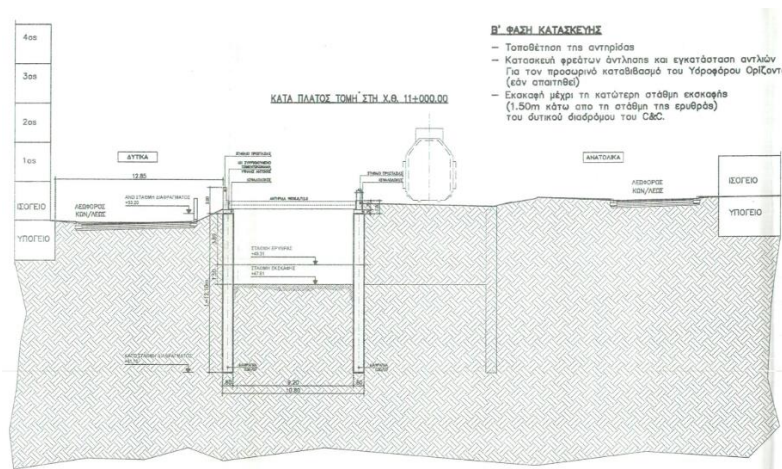
Σχήμα 4.10: Τεχνικό Ανοικτής διατομής – 1^η Φάση κατασκευής

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

2^η φάση

- Τοποθέτηση αντηρίδας.
- Εκσκαφή μέχρι την κατώτερη στάθμη εκσκαφής του δυτικού διαδρόμου, η οποία ορίζεται στα 1,50 m κάτω από τη στάθμη της ερυθράς.

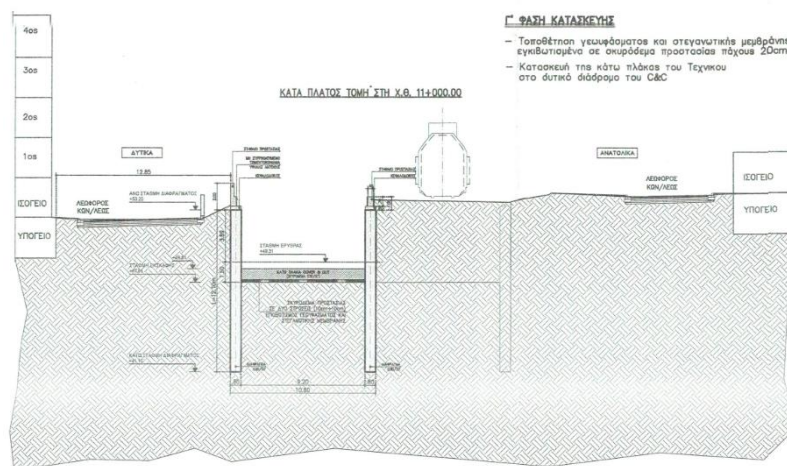
- Κατασκευή φρέατος άντλησης και εγκατάσταση αντλιών για τον καταβιβασμό της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα (εάν απαιτηθεί από τις συνθήκες).



Σχήμα 4.11: Τεχνικό Ανοικτής διατομής – 2^η Φάση κατασκευής
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

3^η φάση

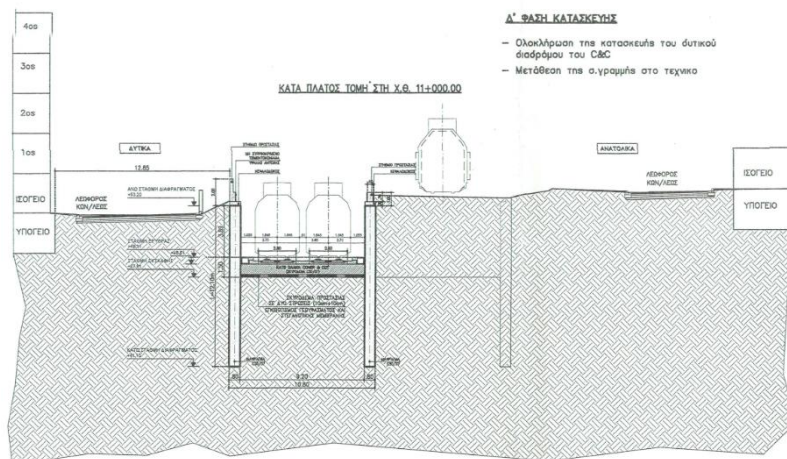
- Τοποθέτηση γεωφάσματος και στεγανωτικής μεμβράνης, εγκιβωτισμένα σε σκυρόδεμα προστασίας πάχους 20 cm.
- Κατασκευή της κάτω πλάκας του τεχνικού στον δυτικό διάδρομο.



Σχήμα 4.12: Τεχνικό Ανοικτής διατομής – 3^η Φάση κατασκευής
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

4^η φάση

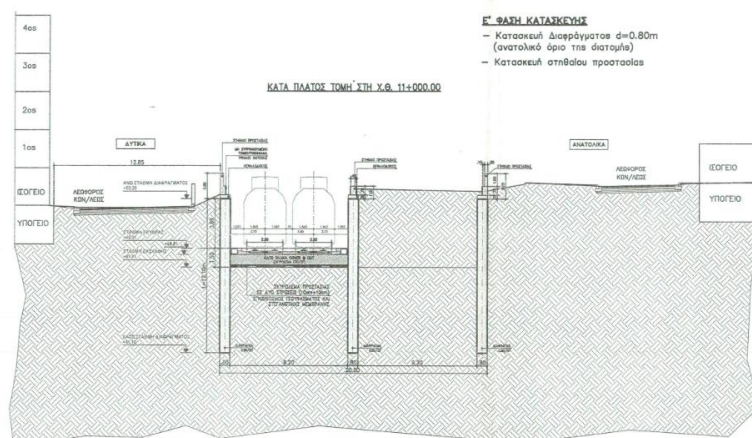
- Ολοκλήρωση της κατασκευής του δυτικού διαδρόμου.
- Μετάθεση της σιδηροδρομικής γραμμής στο ήδη κατασκευασμένο τεχνικό.



Σχήμα 4.13: Τεχνικό Ανοικτής διατομής – 4^η Φάση κατασκευής
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

5^η φάση

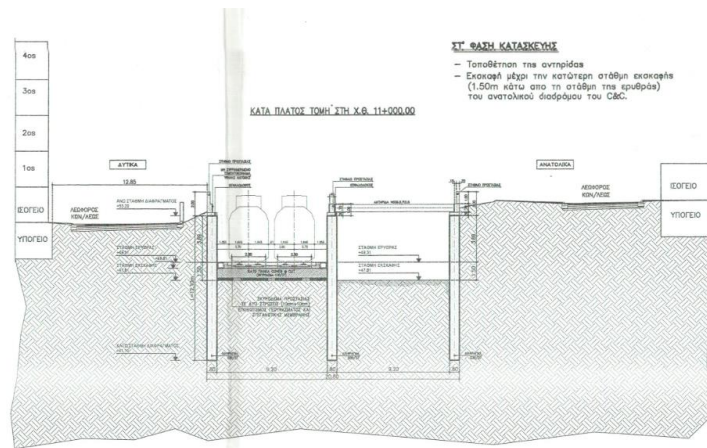
- Κατασκευή διαφράγματος πάχους 0,80 m στο ανατολικό όριο της διατομής.
- Κατασκευή στηθαίου προστασίας.



Σχήμα 4.14: Τεχνικό Ανοικτής διατομής – 5^η Φάση κατασκευής
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

6^η φάση

- Τοποθέτηση αντηρίδας για την υποστήριξη του υπό κατασκευή τμήματος.
- Εκσκαφή μέχρι την κατώτερη στάθμη του ανατολικού διαδρόμου.

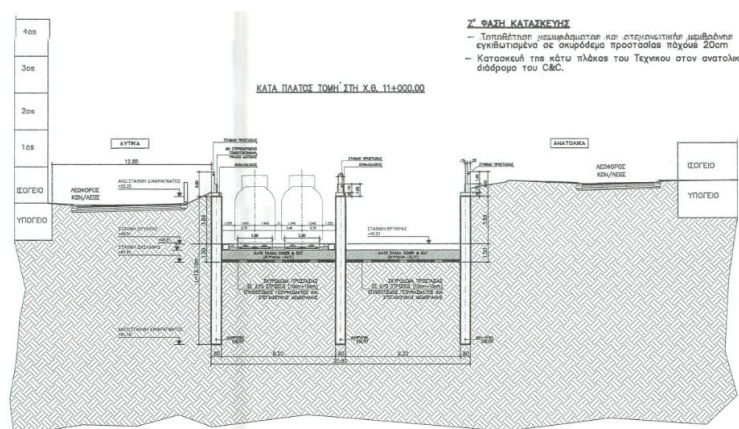


Σχήμα 4.15: Τεχνικό Ανοικτής διατομής – 6^η φάση κατασκευής
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

7^η φάση

Η έβδομη φάση κατασκευής, περιλαμβάνει τα αντίστοιχα βήματα που συναντήθηκαν στην τρίτη φάση κατασκευής του δυτικού τεχνικού:

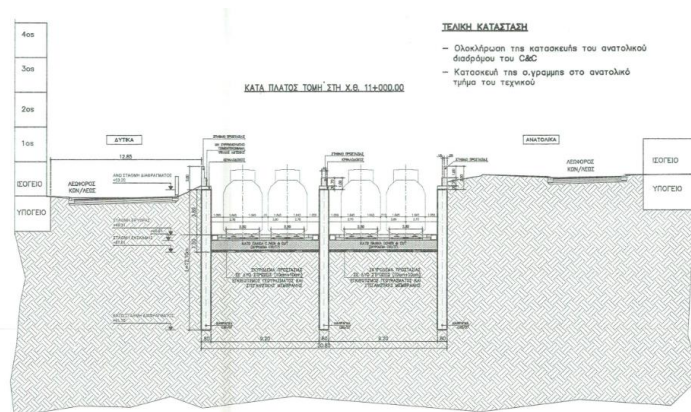
- Τοποθέτηση γεωφύσματος και στεγανωτικής μεμβράνης εγκιβωτισμένα σε σκυρόδεμα προστασίας πάχους 20 cm.
- Κατασκευή της κάτω πλάκας του τεχνικού στον ανατολικό διάδρομο.



Σχήμα 4.16: Τεχνικό Ανοικτής διατομής – 7^η φάση κατασκευής
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

8^η φάση

- Ολοκλήρωση της κατασκευής ανατολικού διαδρόμου
- Κατασκευή της σιδηροδρομικής γραμμής στο ανατολικό τμήμα του τεχνικού.



Σχήμα 4.17: Τεχνικό Ανοικτής διατομής – 8^η φάση κατασκευής

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

4.10.2. Κατασκευή τεχνικού κλειστής διατομής - χωρίς ενδιάμεση πλάκα

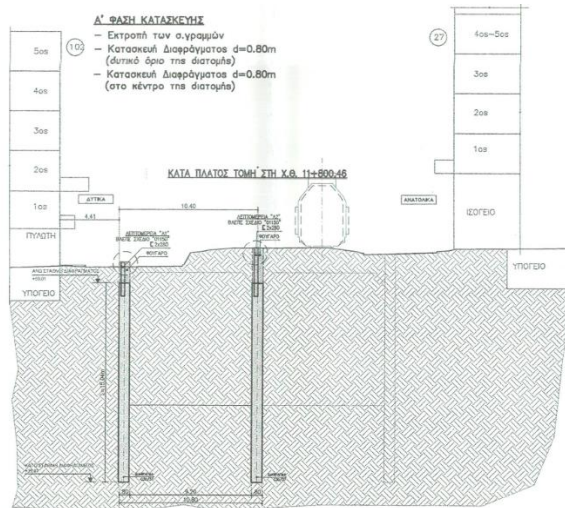
Η κατασκευή των τεχνικών κλειστής διατομής χωρίς ενδιάμεση πλάκα, αφορά 13 τεχνικά, τα όποια είναι τα 6 – 7, 16 – 22 και 39 – 42. Η κλειστή διατομή αφορά τη σήραγγα cover & cut που φέρει πλάκα οροφής. Από το τεχνικό 6 έως και το τεχνικό 42, συναντάται το υπογειοποιημένο σκέλος της σήραγγας.

Η κατασκευή των παραπάνω τεχνικών κλειστής διατομής, χωρίς ενδιάμεση πλάκα, διακρίνεται σε 11 επιμέρους φάσεις κατασκευής.

1^η φάση

Η πρώτη φάση κατασκευής είναι αντίστοιχη με την πρώτη φάση κατασκευής του τεχνικού ως ανοιχτή διατομή, δηλαδή:

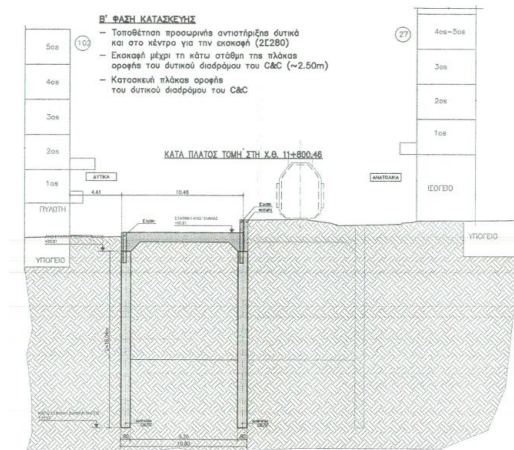
- Εκτροπή των σιδηροδρομικών γραμμών.
- Κατασκευή διαφραγμάτων πάχους 0,80 μέτρων στο δυτικό όριο και στο κέντρο της διατομής.
- Κατασκευή στηθαίου προστασίας.



Σχήμα 4.18: Τεχνικό κλειστής διατομής, χωρίς ενδιάμεση πλάκα – 1^η φάση κατασκευής
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

2^η φάση

- Εκσκαφή μέχρι την κατώτερη στάθμη της πλάκας οροφής του δυτικού διαδρόμου, περί τα 2,50m.
- Κατασκευή της πλάκας οροφής του δυτικού διαδρόμου.

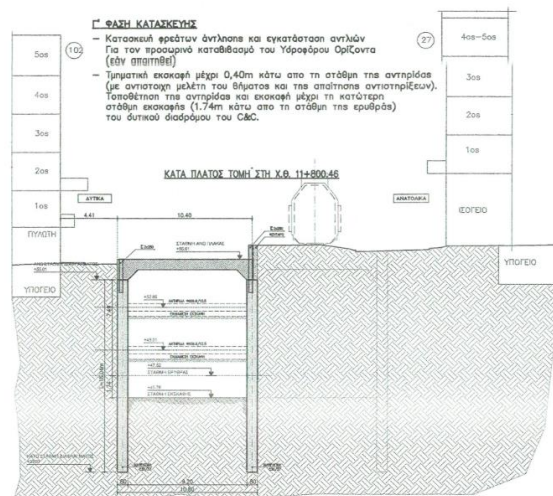


Σχήμα 4.19: Τεχνικό κλειστής διατομής, χωρίς ενδιάμεση πλάκα – 2^η φάση κατασκευής
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

3^η φάση

- Τοποθέτηση αντηρίδας μέχρι την κατώτερη στάθμη εκσκαφής, 1,50m κάτω από τη στάθμη της ερυθράς.
- Τμηματική εκσκαφή, 0,40 m κάτω από την κάτω στάθμη της αντηρίδας.

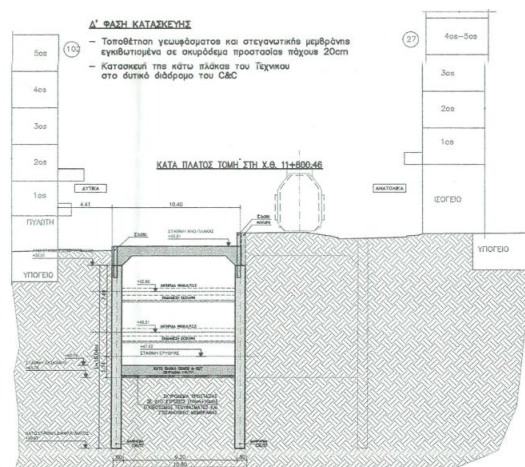
- Κατασκευή φρεάτων άντλησης και εγκατάσταση αντλιών για τον προσωρινό καταβιβασμό του υδροφόρου ορίζοντα (σε περίπτωση που απαιτηθεί).



Σχήμα 4.20: Τεχνικό κλειστής διατομής, χωρίς ενδιάμεση πλάκα – 3^η φάση κατασκευής
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

4^η φάση

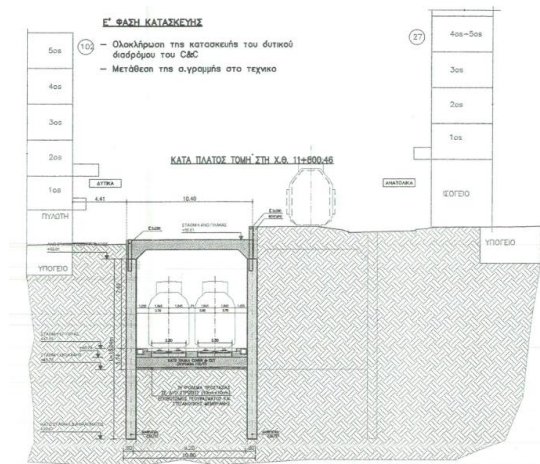
- Τοποθέτηση γεωφάσματος και στεγανωτικής μεμβράνης εγκιβωτισμένα σε σκυρόδεμα προστασίας πάχους 20 cm.
- Κατασκευή της κάτω πλάκα του τεχνικού του δυτικού διαδρόμου.



Σχήμα 4.21: Τεχνικό κλειστής διατομής, χωρίς ενδιάμεση πλάκα – 4^η φάση κατασκευής
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

5^η φάση

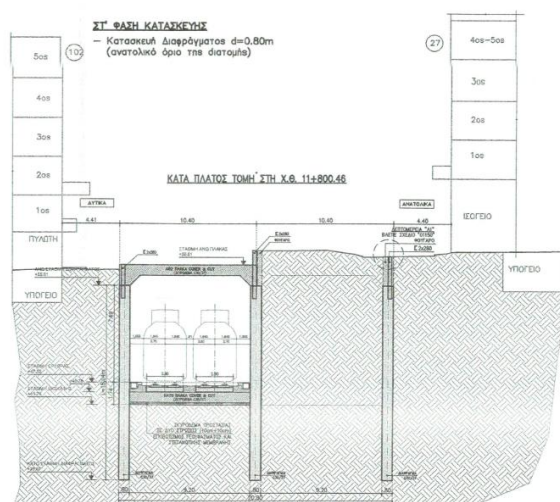
- Ολοκλήρωση της κατασκευής του δυτικού διαδρόμου
- Μετάθεση στο δυτικό διάδρομο της σιδηροδρομικής γραμμής.



Σχήμα 4.22: Τεχνικό κλειστής διατομής, χωρίς ενδιάμεση πλάκα –5^η φάση κατασκευής
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

6^η φάση

- Κατασκευή διαφράγματος πάχους 0,80 m στο ανατολικό άκρο της διατομής.

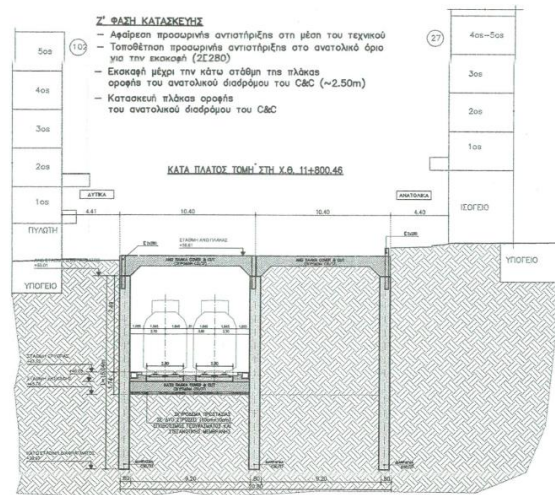


Σχήμα 4.23: Τεχνικό κλειστής διατομής, χωρίς ενδιάμεση πλάκα –6^η φάση κατασκευής
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

7^η φάση

- Αφαίρεση της προσωρινής αντιστήριξης στη μέση του τεχνικού.

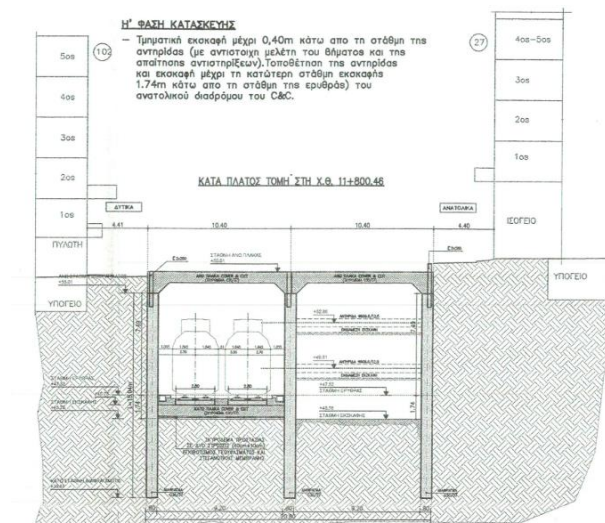
- Εκσκαφή μέχρι την κάτω στάθμη της πλάκας οροφής του ανατολικού διαδρόμου, περί τα 2,50 m.
- Κατασκευή της πλάκας οροφής στον ανατολικό διάδρομο.



Σχήμα 4.24: Τεχνικό κλειστής διατομής, χωρίς ενδιάμεση πλάκα – 7^η φάση κατασκευής
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

8^η φάση

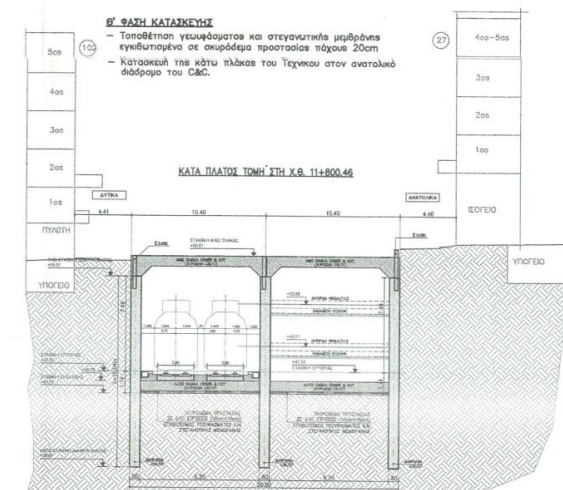
- Τοποθέτηση της αντηρίδας και εξάπτεται μέχρι την κατώτερη στάθμη, 1,50 m κάτω από τη στάθμη της ερυθράς.
- Τμηματική εκσκαφή μέχρι 0,40 m κάτω από την κάτω στάθμη της αντηρίδας.



Σχήμα 4.25: Τεχνικό κλειστής διατομής, χωρίς ενδιάμεση πλάκα – 8^η φάση κατασκευής
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

9^η φάση

- Τοποθέτηση γεφυφάσματος και στεγανωτικής μεμβράνης εγκιβωτισμένα σε σκυρόδεμα προστασίας πάχους 20 cm.
- Κατασκευή της κάτω πλάκας του τεχνικού στον ανατολικό διάδρομο.

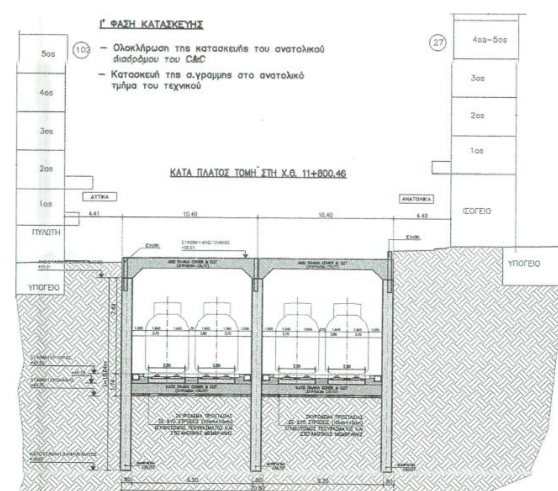


Σχήμα 4.26: Τεχνικό κλειστής διατομής, χωρίς ενδιάμεση πλάκα – 9^η φάση κατασκευής

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

10^η φάση

- Ολοκλήρωση κατασκευής του ανατολικού διαδρόμου.
- Κατασκευή της σιδηροδρομικής γραμμής στο ανατολικό τμήμα.

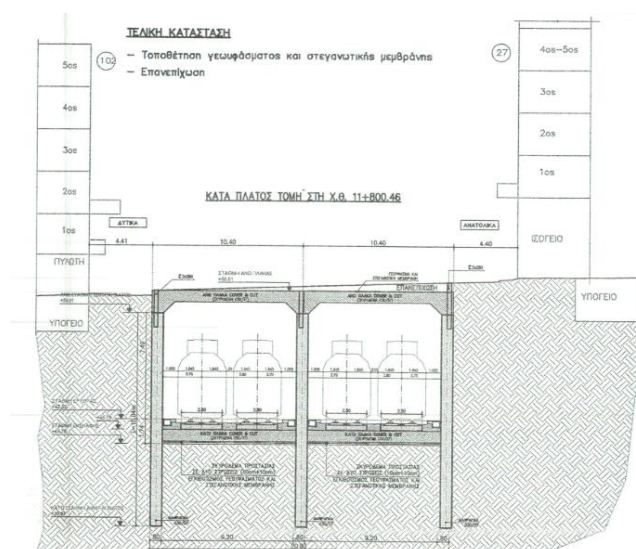


Σχήμα 4.27: Τεχνικό κλειστής διατομής, χωρίς ενδιάμεση πλάκα – 10^η φάση κατασκευής

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

11^η φάση

- Τοποθέτηση γεωφύλακτος και στεγανωτικής μεμβράνης στην επιφάνεια της πλάκας οροφής.
- Πραγματοποιείται η επανεπίχωση με σκοπό την αποκατάσταση του περιβάλλοντος χώρου.



Σχήμα 4.28: Τεχνικό κλειστής διατομής, χωρίς ενδιάμεση πλάκα – 11^η φάση κατασκευής

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

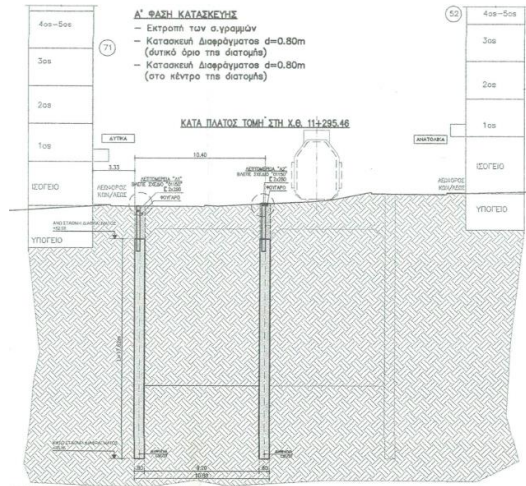
4.10.3. Κατασκευή τεχνικού κλειστής διατομής – με ενδιάμεση πλάκα

Η κατασκευή των τεχνικών κλειστής διατομής χωρίς ενδιάμεση πλάκα, αφορά 21 τεχνικά, τα όποια είναι τα 8 – 14 και 21 – 38. Η κλειστή διατομή αφορά τη σήραγγα cover & cut που φέρει πλάκα οροφής και ενδιάμεση πλάκα.

Η κατασκευή των παραπάνω τεχνικών κλειστής διατομής, με ενδιάμεση πλάκα, διακρίνεται σε 11 επιμέρους φάσεις κατασκευής.

1^η φάση

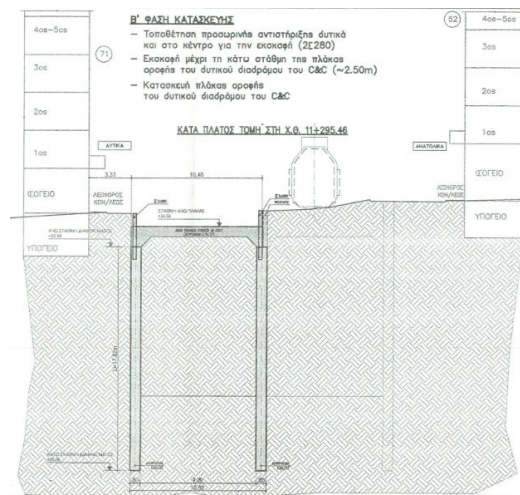
- Εκτροπή και αποξήλωση των σιδηροδρομικών γραμμών.
- Κατασκευή διαφραγμάτων πάχους 0,80 μέτρων στο δυτικό όριο και στο κέντρο της διατομής.



Σχήμα 4.29: Τεχνικό κλειστής διατομής, με ενδιάμεση πλάκα – 1^η φάση κατασκευής
 (Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

2^η φάση

- Πραγματοποιείται εκσκαφή μέχρι την κάτω στάθμη της πλάκας οροφής του δυτικού διαδρόμου έως περίπου τα 2,50 m.
- Κατασκευή της πλάκας οροφής του δυτικού διαδρόμου.

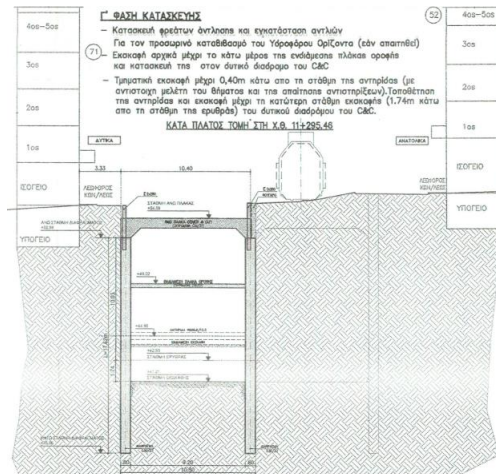


Σχήμα 4.30: Τεχνικό κλειστής διατομής, με ενδιάμεση πλάκα – 2^η φάση κατασκευής
 (Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

3^η φάση

- Κατασκευή φρεάτων άντλησης και εγκατάσταση αντλιών για τον προσωρινό καταβιβασμό του υδροφόρου ορίζοντα σε περίπτωση που απαιτηθεί.

- Εκσκαφή μέχρι το κάτω μέρος της ενδιάμεσης πλάκας οροφής και κατασκευή της στο δυτικό διάδρομο.
- Τμηματική εκσκαφή μέχρι 0,40 m κάτω από τη στάθμη της αντηρίδας.
- Τοποθέτηση της αντηρίδας και εκσκαφή μέχρι την κατώτερη στάθμη (1,50 m κάτω από τη στάθμη της ερυθράς) του δυτικού διαδρόμου.

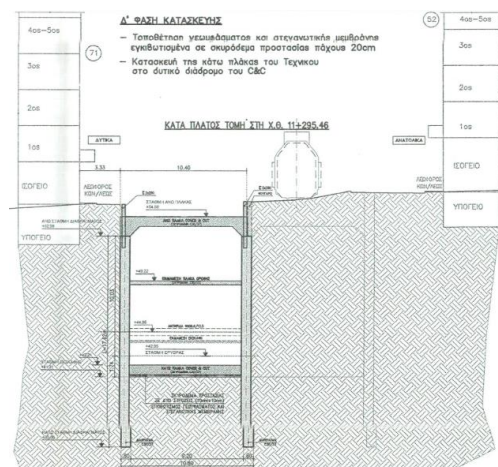


Σχήμα 4.31: Τεχνικό κλειστής διατομής, με ενδιάμεση πλάκα – 3^η φάση κατασκευής

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

4^η φάση

- Τοποθέτηση γεφυφάσματος και στεγανωτικής μεμβράνης εγκιβωτισμένα σε σκυρόδεμα προστασίας πάχους 20 cm.
- Κατασκευή της κάτω πλάκας του τεχνικού στο δυτικό διάδρομο.

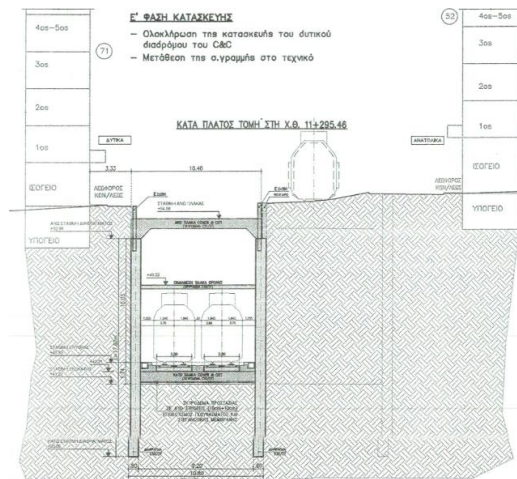


Σχήμα 4.32: Τεχνικό κλειστής διατομής, με ενδιάμεση πλάκα – 4^η φάση κατασκευής

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

5^η φάση

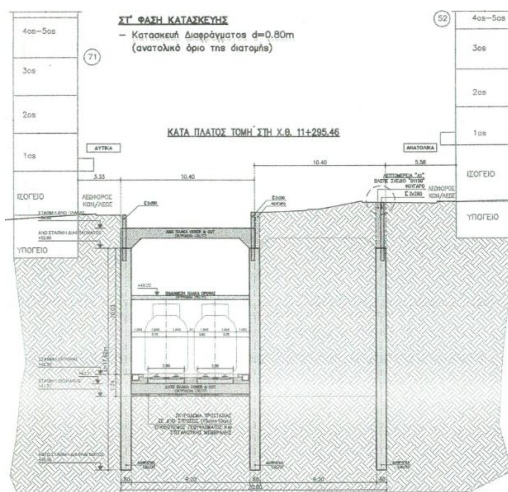
- Ολοκλήρωση της κατασκευής του δυτικού διαδρόμου.
- Μετάθεση της σιδηροδρομικής γραμμής στο ολοκληρωμένο τεχνικό.



Σχήμα 4.33: Τεχνικό κλειστής διατομής, με ενδιάμεση πλάκα – 5^η φάση κατασκευής
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

6^η φάση

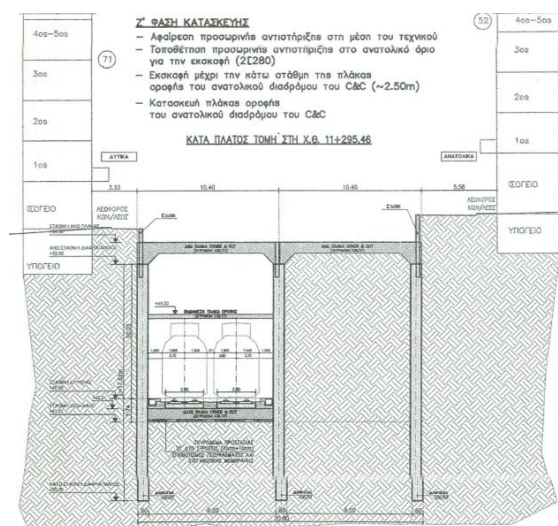
- Κατασκευή διαφράγματος πάχους 0,80 m στο ανατολικό όριο της διατομής.



Σχήμα 4.34: Τεχνικό κλειστής διατομής, με ενδιάμεση πλάκα – 6^η φάση κατασκευής
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

7^η φάση

- Αφαίρεση της προσωρινής αντιστήριξης στη μέση του τεχνικού.
- Εκσκαφή μέχρι την κάτω στάθμη της πλάκας οροφής του ανατολικού διαδρόμου, περί τα 2,50 m.
- Κατασκευή της πλάκας οροφής του ανατολικού διαδρόμου.

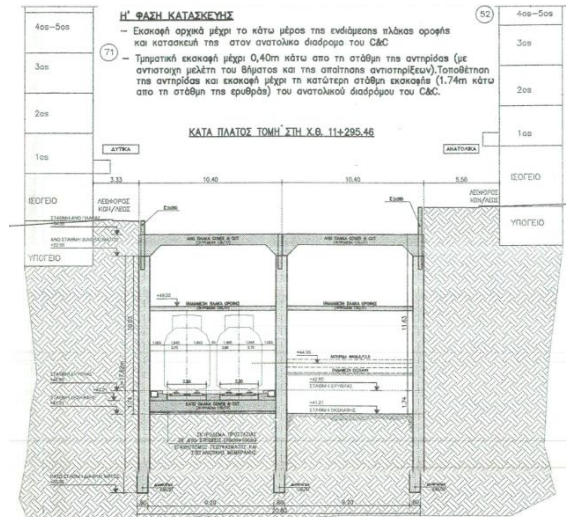


Σχήμα 4.35: Τεχνικό κλειστής διατομής, με ενδιάμεση πλάκα – 7^η φάση κατασκευής

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

8^η φάση

- Εκσκαφή μέχρι το κάτω μέρος της ενδιάμεσης πλάκας οροφής και κατασκευή της στον ανατολικό διάδρομο.
- Τμηματική εκσκαφή έως τα 0,40 m κάτω από την κάτω στάθμη της αντηρίδας.
- Τοποθέτηση της αντηρίδας και εκσκαφή μέχρι την κατώτερη στάθμη του ανατολικού διαδρόμου (1,50 m κάτω από τη στάθμη της ερυθράς).

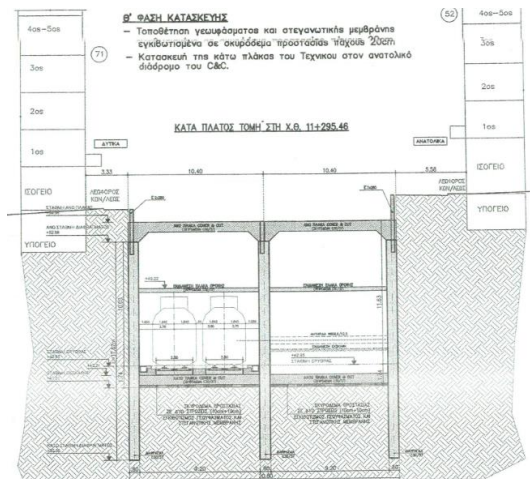


Σχήμα 4.36: Τεχνικό κλειστής διατομής, με ενδιάμεση πλάκα – 8^η φάση κατασκευής

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

9^η φάση

- Τοποθέτηση γεφυφάσματος και στεγανωτικής μεμβράνης εγκιβωτισμένα σε σκυρόδεμα προστασίας πάχους 20 cm.
- Κατασκευή της κάτω πλάκας τεχνικού στον ανατολικό διάδρομο.

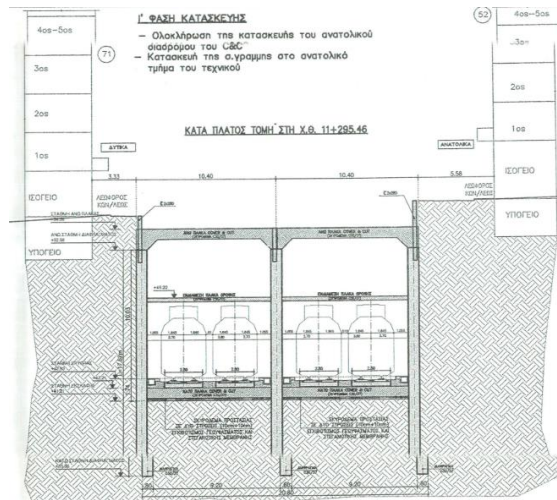


Σχήμα 4.37: Τεχνικό κλειστής διατομής, με ενδιάμεση πλάκα – 9^η φάση κατασκευής

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

10^η φάση

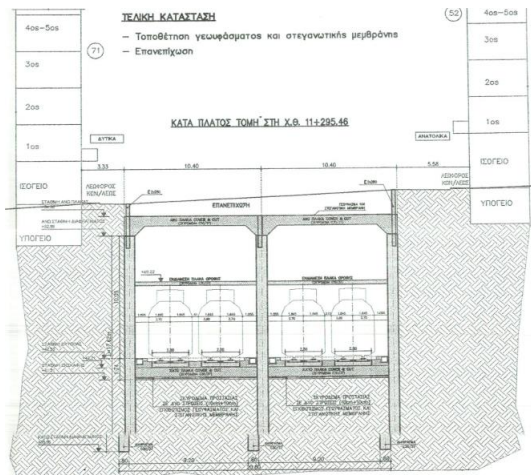
- Ολοκλήρωση κατασκευής του ανατολικού διαδρόμου.
- Κατασκευή της σιδηροδρομικής γραμμής στο ανατολικό τμήμα του τεχνικού.



Σχήμα 4.38: Τεχνικό κλειστής διατομής, με ενδιάμεση πλάκα – 10^η φάση κατασκευής
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

11^η φάση

- Τοποθετείται το γεωύφασμα και στεγανωτική μεμβράνη εγκιβωτισμένα σε σκυρόδεμα προστασίας πάχους 20 cm, στο πάνω μέρος της πλάκας οροφής.
- Επανεπίχωση για την διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου.



Σχήμα 4.39: Τεχνικό κλειστής διατομής, με ενδιάμεση πλάκα – 11^η φάση κατασκευής
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

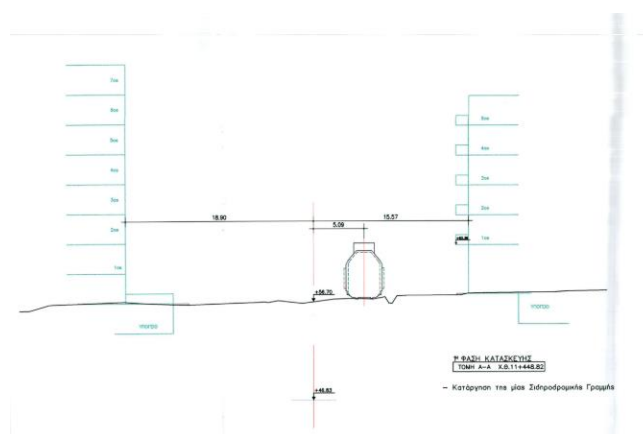
4.10.4. Κατασκευή τεχνικού γεφύρωσης στην περιοχή της ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ

Στην περιοχή που πρόκειται να γίνει γεφύρωση της υφιστάμενης σήραγγας του Μετρό, πρόκειται να κατασκευαστεί προσωρινό σύστημα Berlinoise, διαφραγμάτων και κατόπιν το τεχνικό γεφύρωσης.

Η ειδική αυτή κατασκευή θα πραγματοποιηθεί μόνο στο τεχνικό 15. Η οποία πραγματοποιείται σε 22 επιμέρους φάσεις κατασκευής. Το τεχνικό 15 αποτελείται από 6 διαφραγματικούς τοίχους για τον δυτικό διάδρομο (Δ1, Δ2, Δ3, Δ4, Δ5, Δ6), 6 διαφραγματικούς τοίχους για τον κεντρικό διάδρομο (Κ1, Κ2, Κ3, Κ4, Κ5, Κ6) και από 6 διαφραγματικούς τοίχους για τον ανατολικό διάδρομο (Α1, Α2, Α3, Α4, Α5, Α6).

1^η φάση

- Κατάργηση της σιδηροδρομικής γραμμής.

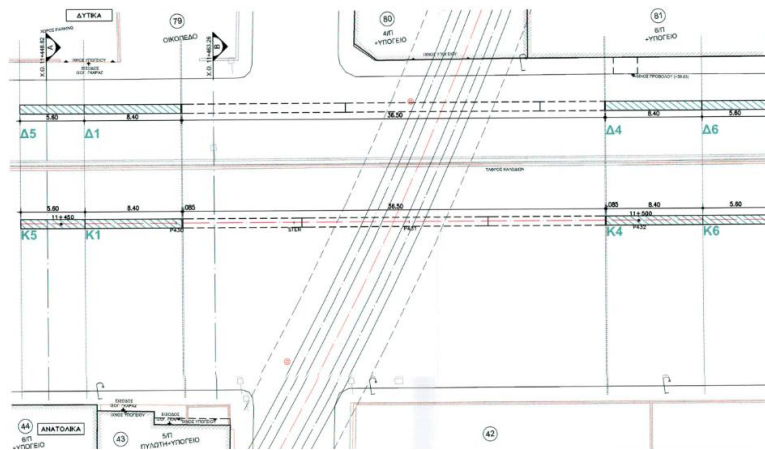


Σχήμα 4.40: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 1^η φάση κατασκευής

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

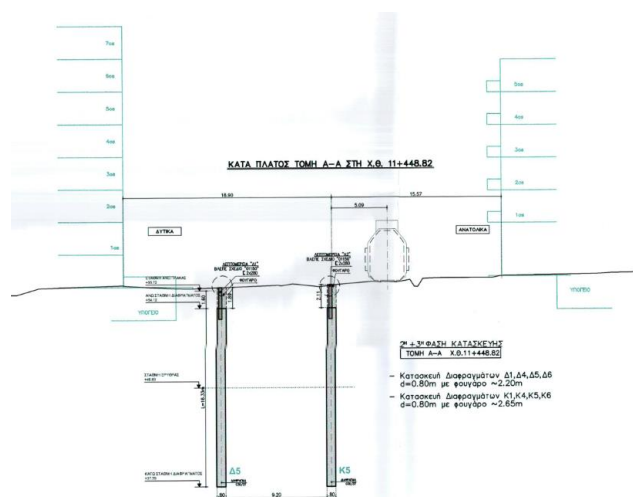
2^η και 3^η φάση

- Κατασκευή διαφραγμάτων του δυτικού διαδρόμου Δ1, Δ4, Δ5, Δ6 πάχους 0,80m με φουγάρο περίπου 2,54m.
- Κατασκευή διαφραγμάτων κεντρικού τμήματος Κ1, Κ2, Κ3, Κ4 πάχους 0,80m με φουγάρο 2,74m.



Σχήμα 4.41: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 2^η και 3^η φάση κατασκευής (κάτοψη)

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

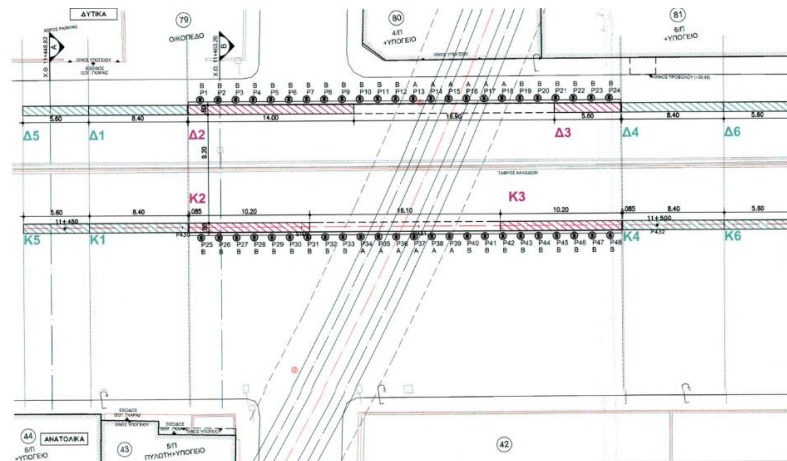


Σχήμα 4.42: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 2^η και 3^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή)

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

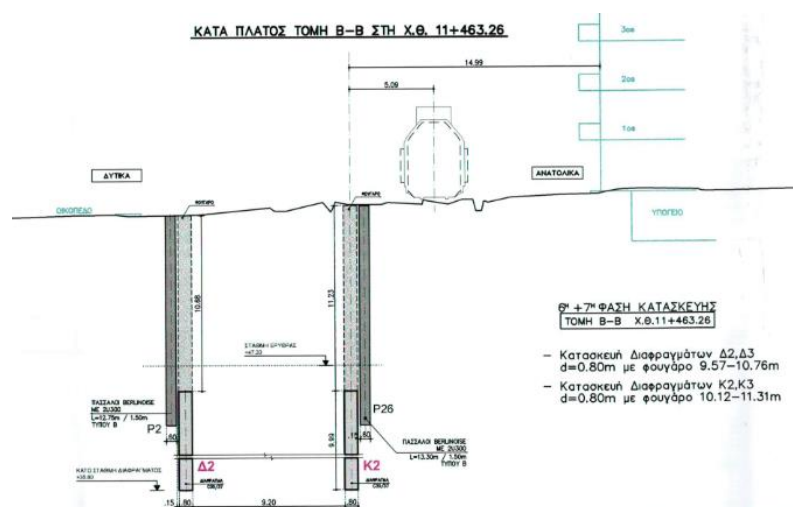
6^η και 7^η φάση

- Κατασκευή διαφραγμάτων Δ2, Δ3 πάχους 0,80 m με φουγάρο 10,20 m
- Κατασκευή διαφραγμάτων Κ2, Κ3 πάχους 0,80 m με φουγάρο 10,70 m.



Σχήμα 4.45: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 6^η και 7^η φάση κατασκευής (κάτοψη)

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

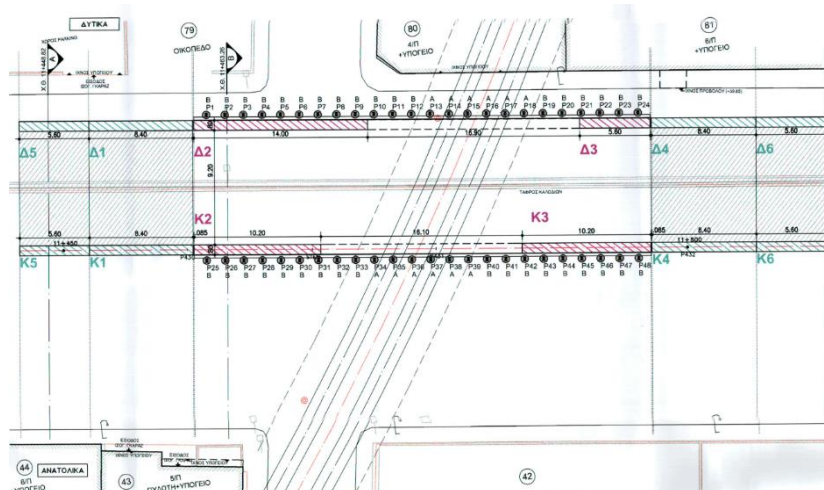


Σχήμα 4.46: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 6^η και 7^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή)

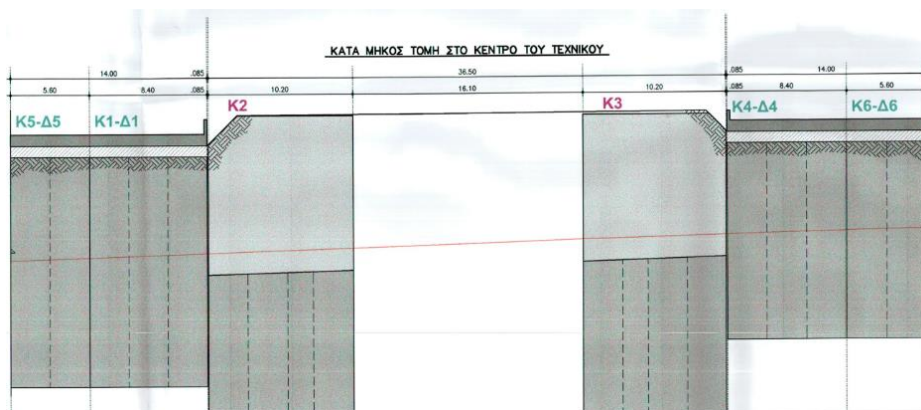
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

8^η και 9^η φάση

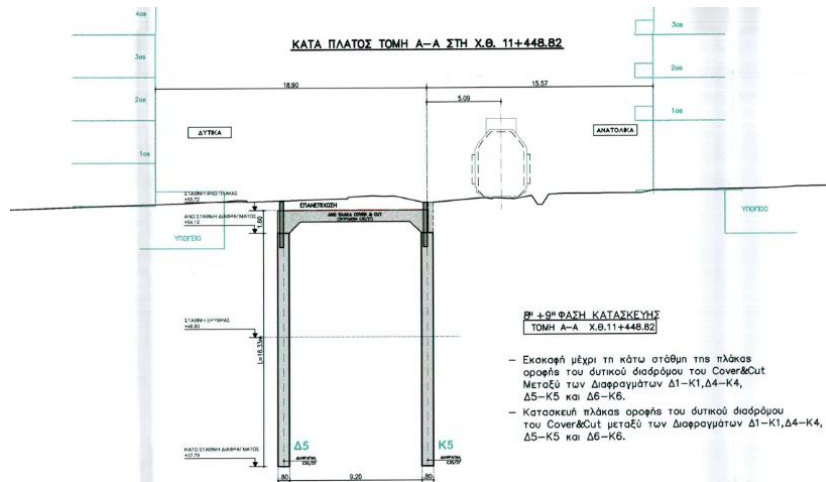
- Εκκαφή μέχρι την κάτω στάθμη της πλάκας οροφής του δυτικού διαδρόμου (περίπου 2 m) μεταξύ των διαφραγμάτων Δ1 – Κ1, Δ4 – Κ4, Δ5 – Κ5 και Δ6 – Κ6.
- Κατασκευή της πλάκας οροφής του δυτικού διαδρόμου μεταξύ των διαφραγμάτων Δ1 – Κ1, Δ4 – Κ4, Δ5 – Κ5 και Δ6 – Κ6.



Σχήμα 4.47: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 8^η και 9^η φάση κατασκευής (κάτοψη)
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)



Σχήμα 4.48: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 8^η και 9^η φάση κατασκευής (κατά μήκος τομή)
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

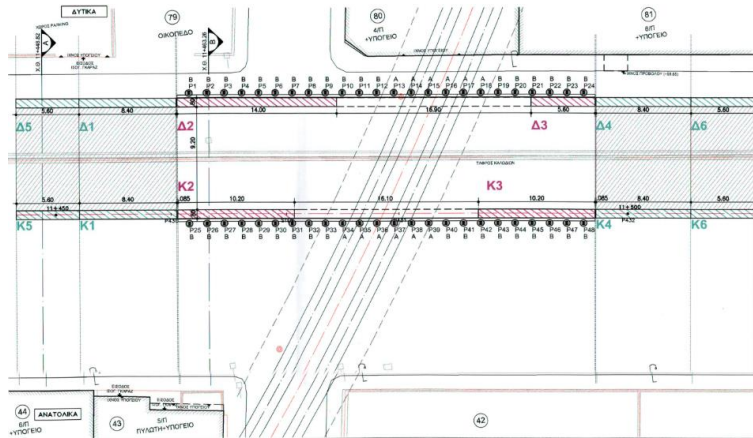


Σχήμα 4.49: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 8^η και 9^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή)

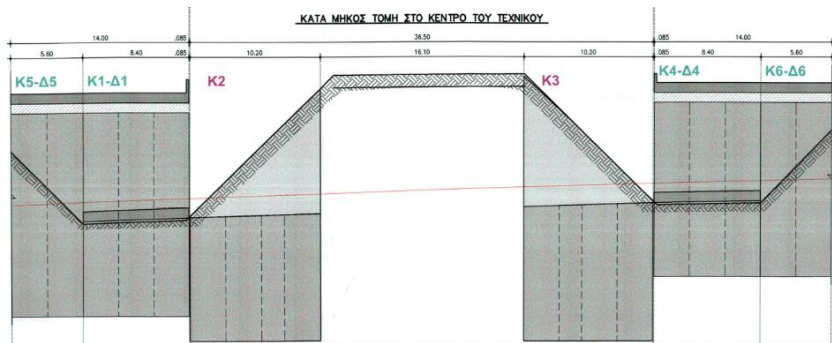
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

10^η και 11^η φάση

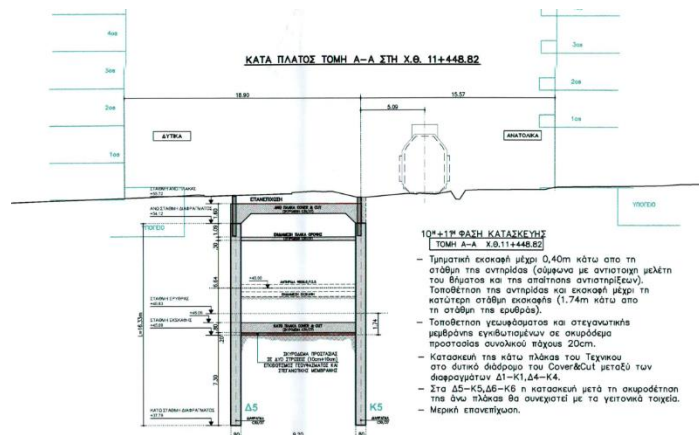
- Τμηματική εκσκαφή έως 0,40 m κάτω από τη στάθμη της αντηρίδας.
- Τοποθέτηση αντηρίδας και εκσκαφή μέχρι την κατώτερη στάθμη εκσκαφής, 1,50 m κάτω από τη στάθμη της ερυθράς.
- Τοποθέτηση γεφυφάσματος και στεγανωτικής μεμβράνης εγκιβωτισμένα σε σκυρόδεμα προστασίας συνολικού πάχους 20 cm (10 + 10cm).
- Κατασκευή της κάτω πλάκας του τεχνικού στο δυτικό διάδρομο μεταξύ διαφραγμάτων Δ1 – Κ1 και Δ4 – Κ4.
- Στα Δ5 – Κ5 και Δ6 – Κ6 η κατασκευή μετά τη σκυροδέτηση της άνω πλάκας θα συνεχιστεί με τα γειτονικά τοιχεία.
- Μερική επανεπίχωση.



Σχήμα 4.50: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 10^η και 11^η φάση κατασκευής (κάτοψη)
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)



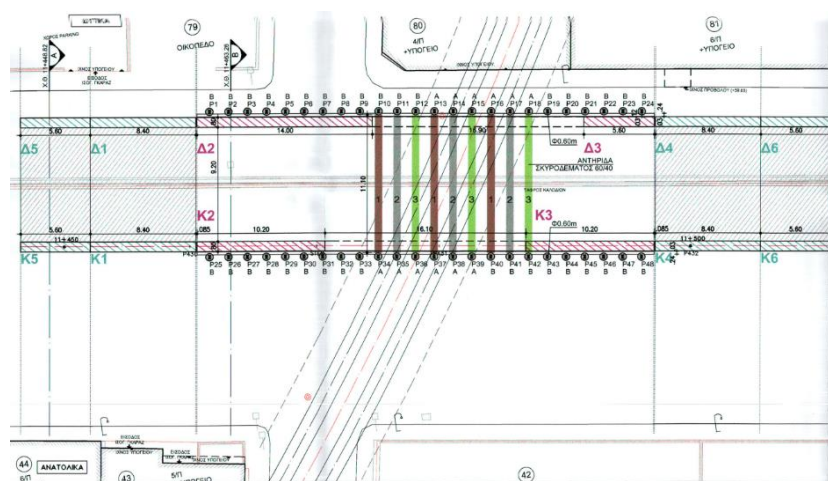
Σχήμα 4.51: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 10^η και 11^η φάση κατασκευής (κατά μήκος τομή)
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)



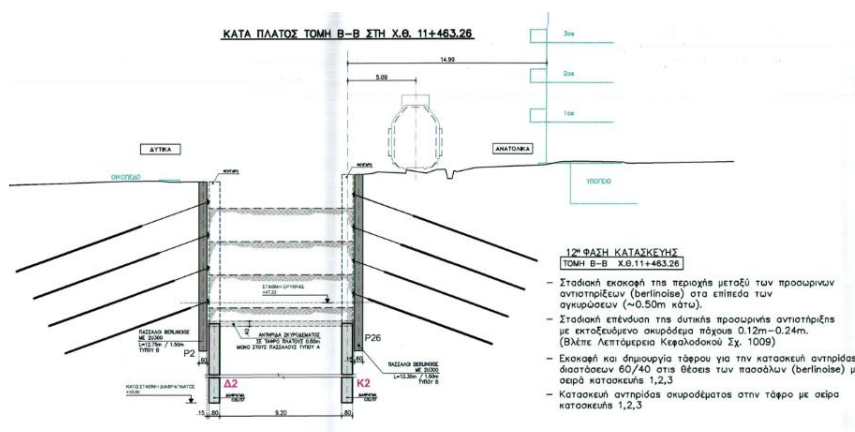
Σχήμα 4.52: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 10^η και 11^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή)
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

12^η φάση

- Σταδιακή εκσκαφή της περιοχής μεταξύ των προσωρινών αντιστήριξεων (berlinoise) στα επίπεδα των αγκυρώσεων περί τα 0,50m .
- Σταδιακή επένδυση της δυτικής προσωρινής αντιστήριξης με gunite πάχους 0,12m.
- Εκσκαφή και δημιουργία τάφρου για την κατασκευή αντηρίδας διαστάσεων 60/40 της στις θέσεις των πασσάλων (berlinoise).
- Κατασκευή αντηρίδας σκυροδέματος στην τάφρο.



Σχήμα 4.53: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 12^η φάση κατασκευής (κάτοψη)
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

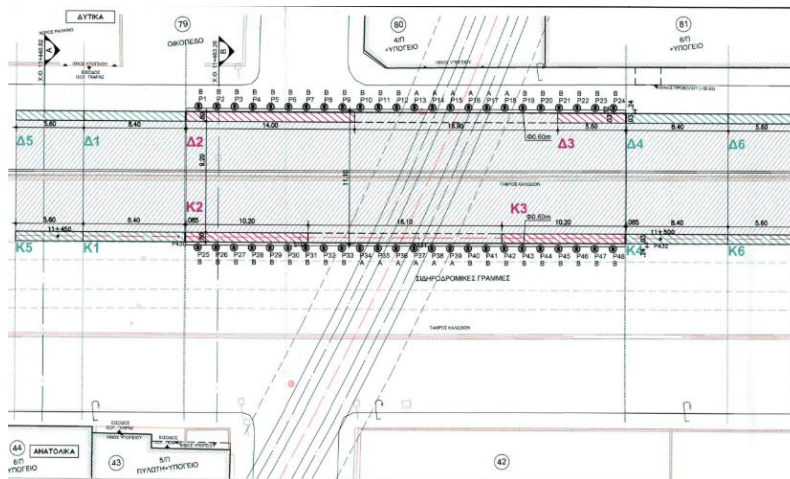


Σχήμα 4.54: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 12^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή)\

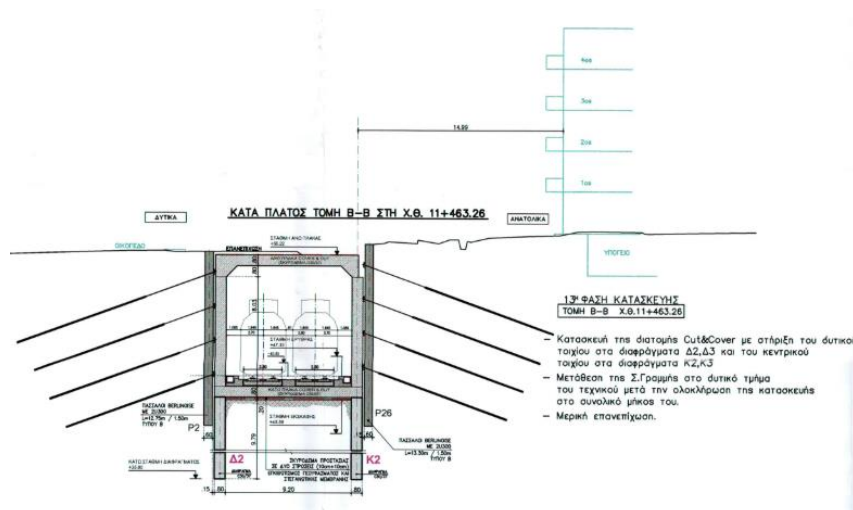
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

13^η φάση

- Κατασκευή διατομής Cut & Cover με στήριξη του δυτικού τοιχίου στα διαφράγματα Δ2, Δ3 και του κεντρικού τοιχίου στα διαφράγματα Κ2, Κ3.
- Μετάθεση της σιδηροδρομικής γραμμής στο δυτικό τμήμα του τεχνικού μετά την ολοκλήρωση κατασκευής του συνολικού μήκους του.
- Μερική επανεπίχωση.



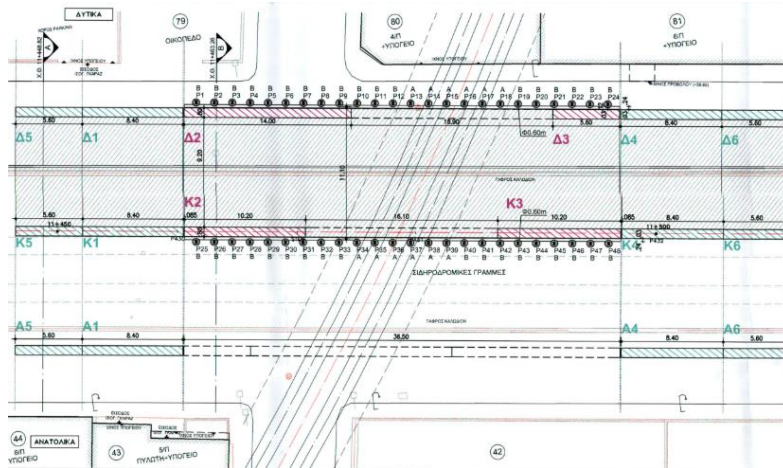
Σχήμα 4.55: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 13^η φάση κατασκευής (κάτοψη)
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)



Σχήμα 4.56: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 13^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή)
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

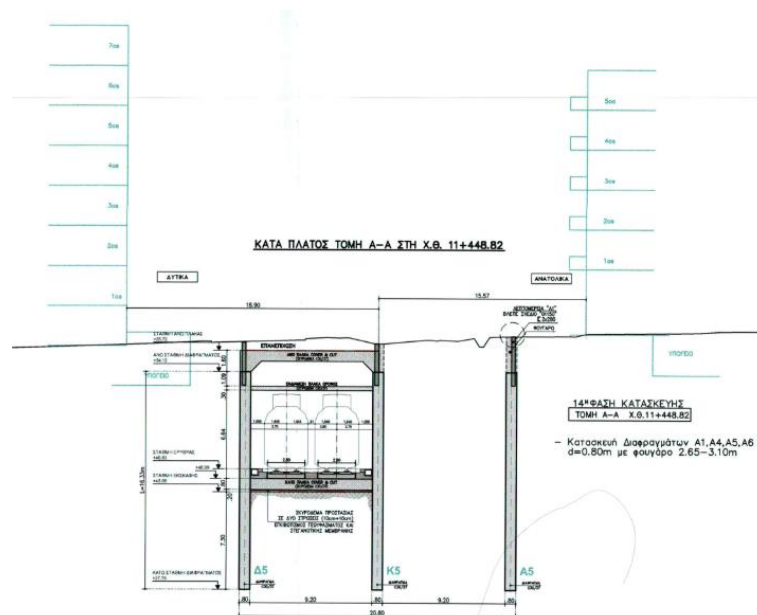
14^η φάση

- Κατασκευή διαφραγμάτων στον ανατολικό διάδρομο A1, A4, A5, A6 πάχους 0,80m με φουγάρο 3,35 m.



Σχήμα 4.57: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 14^η φάση κατασκευής (κάτοψη)

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

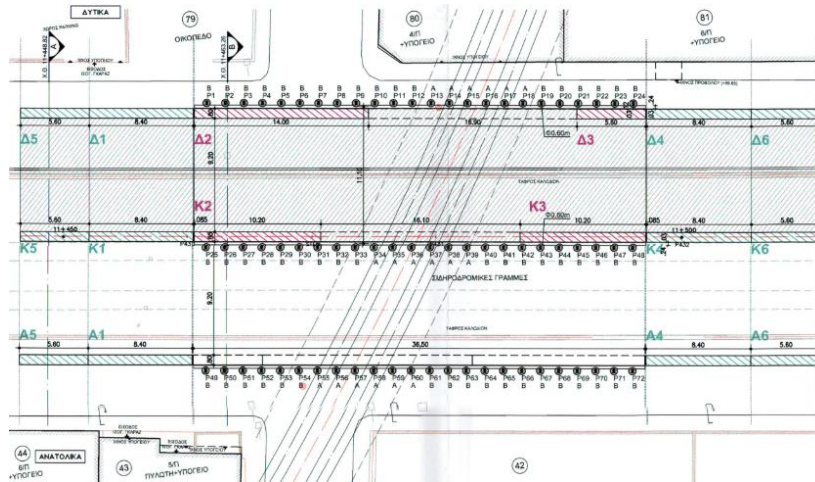


Σχήμα 4.58: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 14^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή)

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

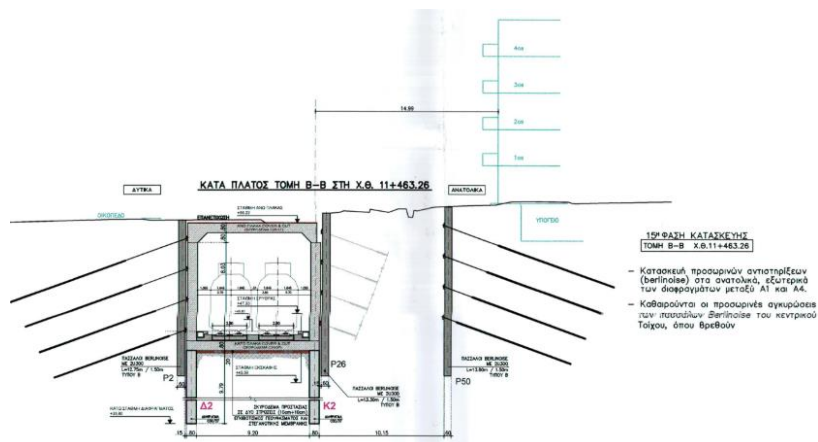
15^η φάση

- Κατασκευή προσωρινών αντιστηρίξεων (berlinoise) στα ανατολικά και έξω μεταξύ των διαφραγμάτων A1 και A4.



Σχήμα 4.59: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 15^η φάση κατασκευής (κάτοψη)

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

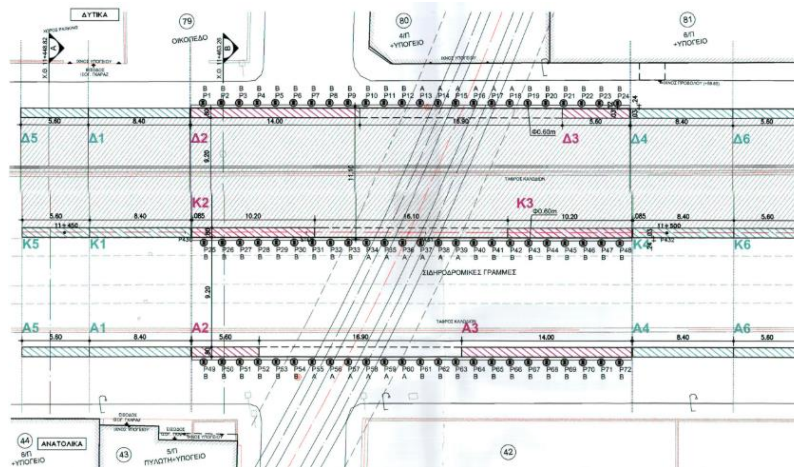


Σχήμα 4.60: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 15^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή)

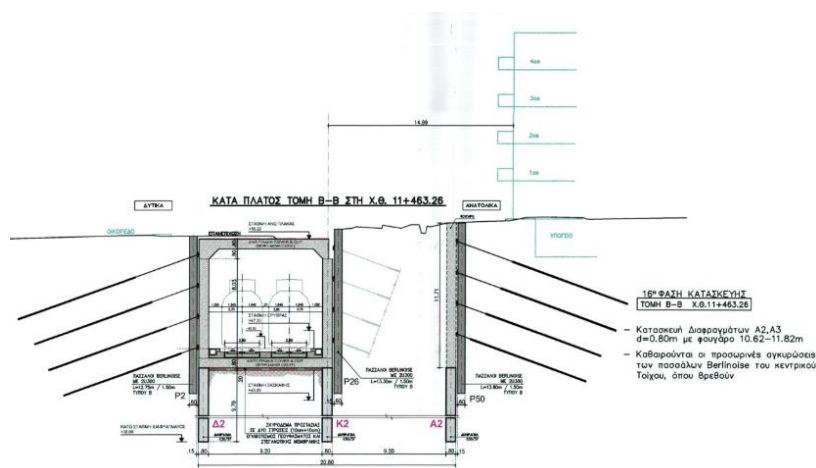
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

16^η φάση

- Κατασκευή διαφραγμάτων A2, A3 πάχους 0,80m φουγάρο 11m.



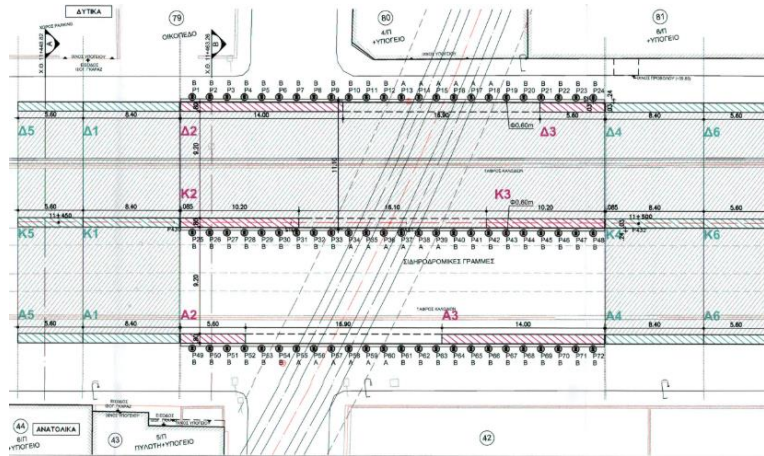
Σχήμα 4.61: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 16^η φάση κατασκευής (κάτοψη)
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)



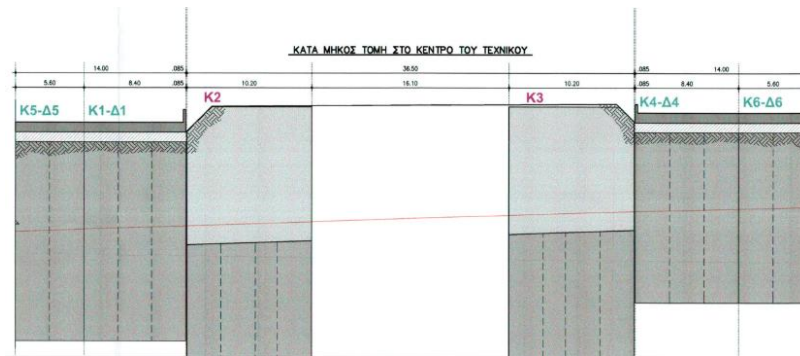
Σχήμα 4.62: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 16^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή)
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

17^η και 18^η φάση

- Εκσκαφή μέχρι την κάτω στάθμη της πλάκας οροφής του ανατολικού διαδρόμου Cover & Cut περί τα 2,50m μεταξύ των διαφραγμάτων A1 – K1 και A4 – K4.
- Κατασκευή πλάκας οροφής του δυτικού διαδρόμου.

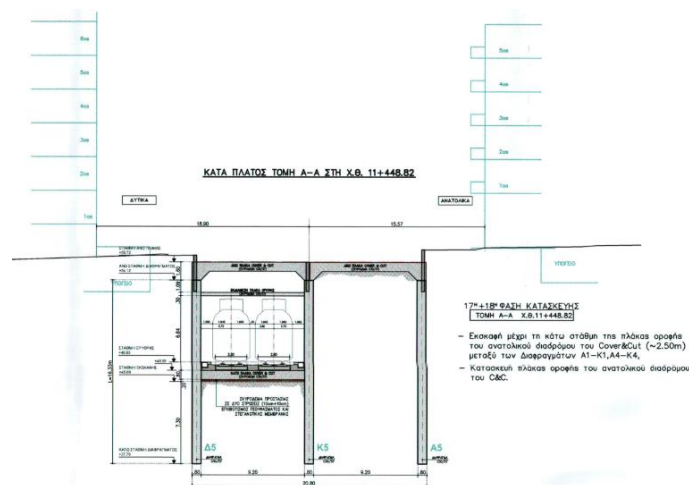


Σχήμα 4.63: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 17^η και 18^η φάση κατασκευής (κάτοψη)
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)



Σχήμα 4.64: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 17^η και 18^η φάση κατασκευής (κατά μήκος τομή)

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

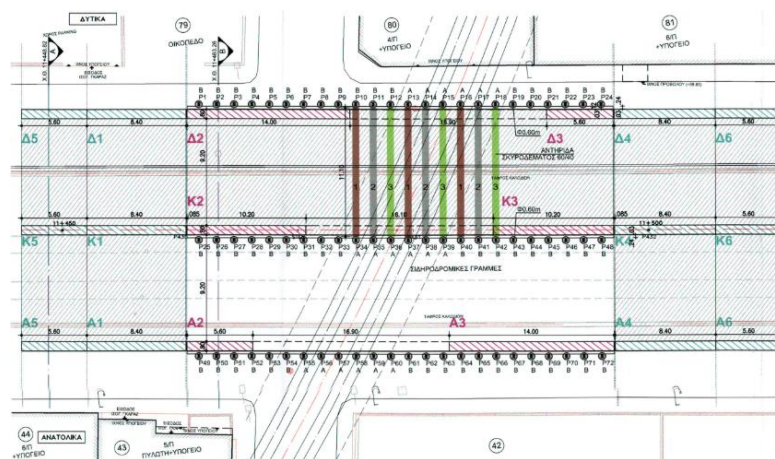


Σχήμα 4.65: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 17^η και 18^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή)

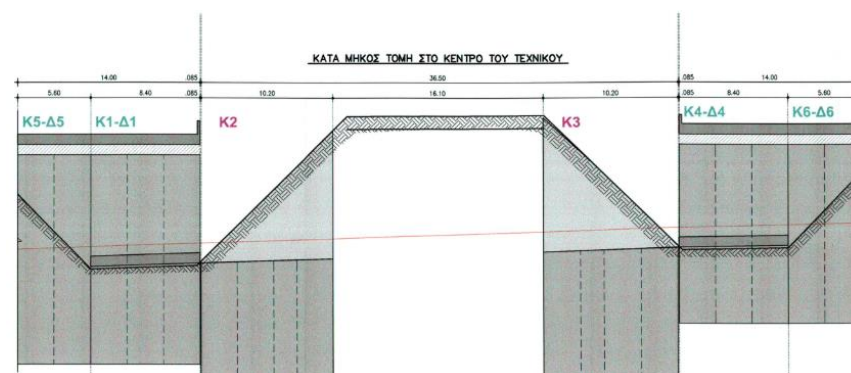
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

19^η και 20^η φάση

- Τμηματική εκσκαφή έως 0,40m κάτω από τη στάθμη της αντηρίδας.
- Τοποθέτηση της αντηρίδας και εκσκαφή μέχρι την κατώτερη στάθμη εκσκαφής (1,50 m κάτω από τη στάθμη της ερυθράς).
- Τοποθέτηση γεωφάσματος και στεγανωτικής μεμβράνης εγκιβωτισμένα σε σκυρόδεμα προστασίας πάχους 20cm (10 + 10cm).
- Κατασκευή της κάτω πλάκας του τεχνικού στο δυτικό διάδρομο του Cover & Cut μεταξύ των διαφραγμάτων A1 – K1 και A4 – K4.
- Στα A5 - K5 και A6 – K6 η κατασκευή μετά τη σκυροδέτηση της άνω πλάκας θα συνεχιστεί μαζί με τα γειτονικά τεχνικά.

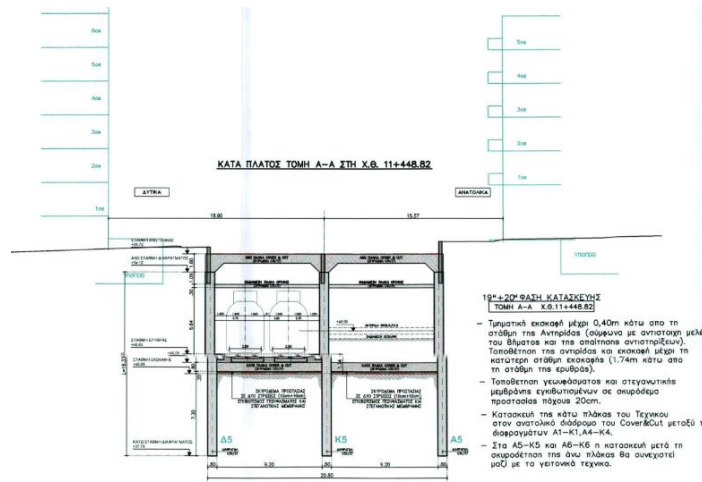


Σχήμα 4.66: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 19^η και 20^η φάση κατασκευής (κάτοψη)
(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)



Σχήμα 4.67: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 19^η και 20^η φάση κατασκευής (κατά μήκος τομή)

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

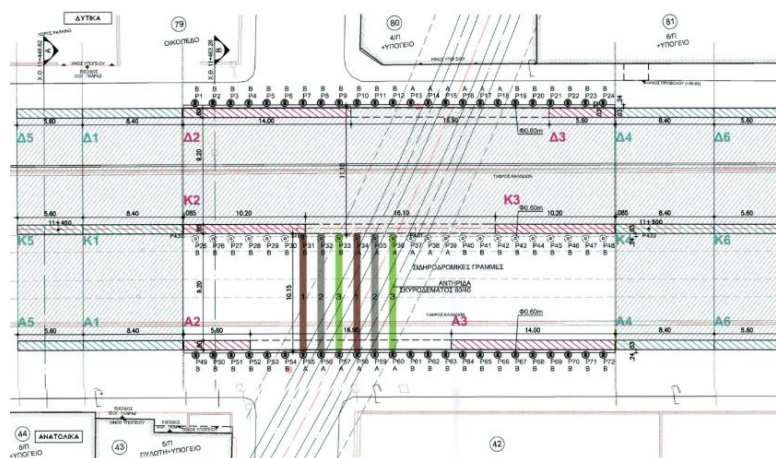


Σχήμα 4.68: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 19^η και 20^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή)

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

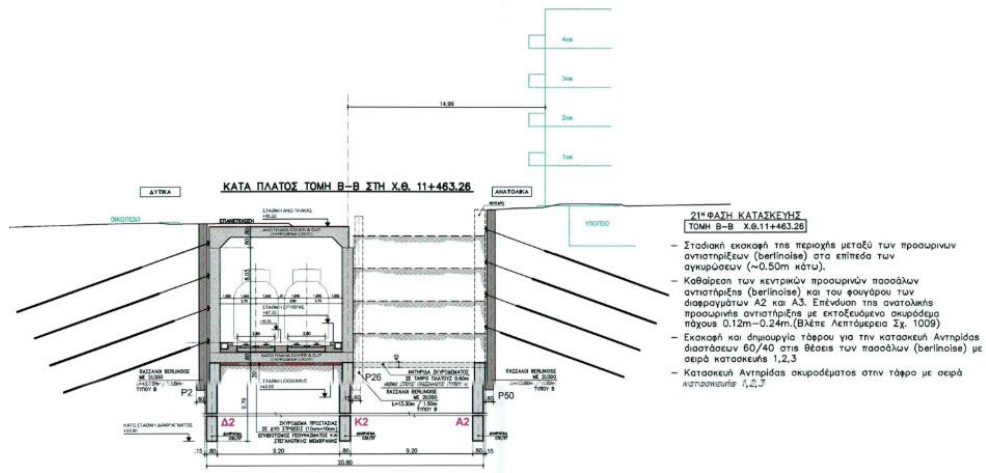
21^η φάση

- Σταδιακή εκσκαφή της περιοχής μεταξύ των προσωρινών αντιστηρίξεων (berlinoise) στα επίπεδα των αγκυρώσεων
- Εκσκαφή και δημιουργία τάφρου για την κατασκευή αντηρίδας διαστάσεων 60/40 στις θέσεις των πασσάλων.
- Κατασκευή αντηρίδας σκυροδέματος στην τάφρο
- Καταστροφή των κεντρικών προσωρινών πασσάλων αντιστήριξης (berlinoise) και του φουγάρου των διαφραγμάτων Α2 και Α3.
- Επένδυση της ανατολικής προσωρινής αντιστήριξης με gunite πάχους 0,12m.



Σχήμα 4.69: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 21^η φάση κατασκευής (κάτοψη)

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

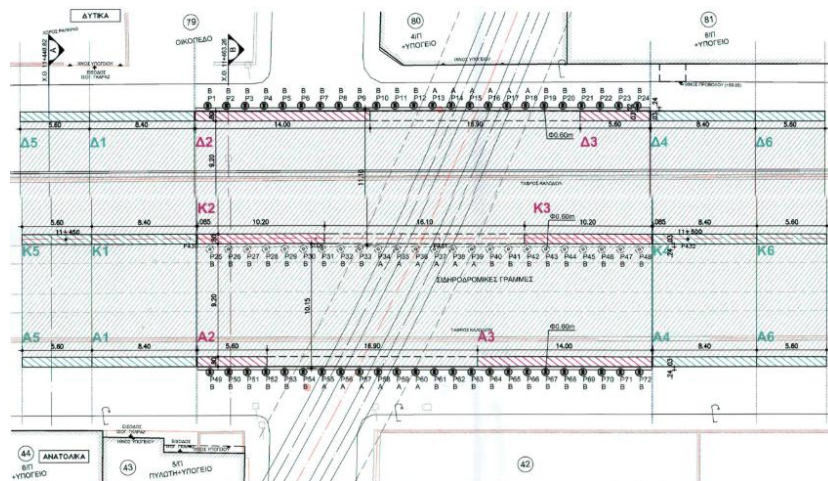


Σχήμα 4.70: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 21^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή)

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

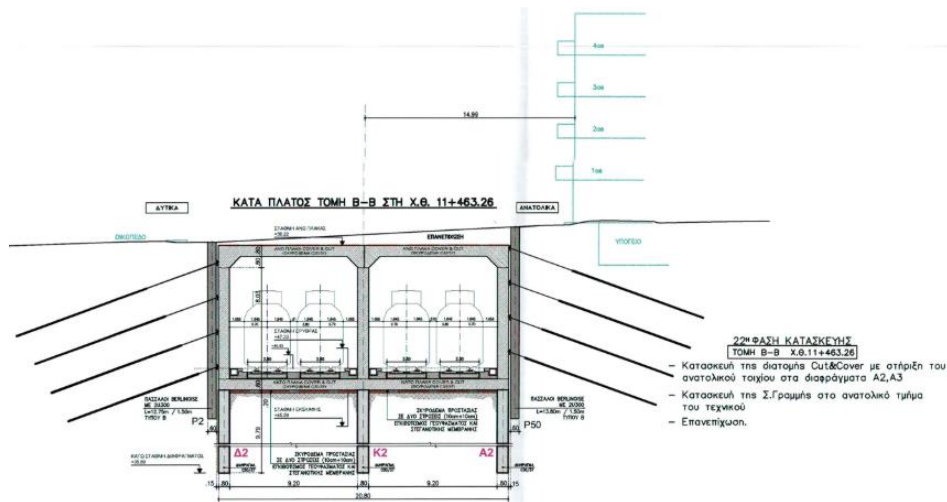
22^η φάση

- Κατασκευή της διατομής Cut & Cover με στήριξη του ανατολικού τοιχίου στα διαφράγματα Α2, Α3.
- Κατασκευή της σιδηροδρομικής γραμμής στο ανατολικό τμήμα του τεχνικού.
- Επανεπίχωση.



Σχήμα 4.71: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 22^η φάση κατασκευής (κάτοψη)

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)



Σχήμα 4.72: Τεχνικό γεφύρωσης περιοχής Μετρό – 22^η φάση κατασκευής (κατά πλάτος τομή)

(Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε & SALFO, 2015)

4.11. Υδραυλικά έργα

Κατά την κατασκευή του έργου, προβλέπεται η κατασκευή τόσο προσωρινών όσο και μόνιμων υδραυλικών έργων. Τα υδραυλικά έργα περιλαμβάνουν την παροχή ύδρευσης, αποστράγγισης – αποχέτευσης και τα αντλιοστάσια της σιδηροδρομικής γραμμής.

Τα προσωρινά έργα θα εξυπηρετήσουν τις ανάγκες της περιοχής και του έργου, με την αποστράγγιση των υδάτων, παροχής ύδρευσής και τη λειτουργία αποχετευτικού συστήματος. Τα μόνιμα έργα ολοκληρώνονται μαζί με το έργο και αφορούν την αντικατάσταση και την ανακατασκευή των ήδη υπάρχοντων δικτύων τα οποία έπαψαν να λειτουργούν κατά τη διάρκεια κατασκευής, καθώς και την κατασκευή νέων.

Τα προσωρινά υδραυλικά έργα που είναι απαραίτητα να κατασκευαστούν πριν την έναρξη κατασκευής των διαφραγματικών τοίχων. Επιγραμματικά είναι τα ακόλουθα:

- Ανακατασκευή αγωγού υπερχείλισης (ΣΤ) του Κεντρικού Αποχετευτικού Αγωγού (ΚΑΑ) στη Χ.Θ. 11+408
- Ανακατασκευή αγωγού υπερχείλισης του κοινού τμήματος υπερχειλιστών (Δ και Ε) στη Χ.Θ. 12+282.
- Ανακατασκευή τμήματος του ΚΑΑ από Χ.Θ. 11+405 έως Χ.Θ. 11+130.

- Ανακατασκευή αγωγού ομβρίων Ω 90/135 στη Χ.Θ. 12+437.
- Ανακατασκευή αγωγού ακαθάρτων Ω 0,60 x 0,90 στη Χ.Θ. 11+868,45.
- Ανακατασκευή αγωγού ομβρίων Ω 0,70 x 1,05 στη Χ.Θ. 11+869,05. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Τα μόνιμα υδραυλικά έργα που κατασκευάζονται είναι:

- Κατασκευή συστήματος στράγγισης των γραμμών της Σιδηροδρομικής Γραμμής.
- Ανακατασκευή του αγωγού υπερχείλισης του υπερχειλιστή ΣΤ.
- Ανακατασκευή αγωγού υπερχείλισης του κοινού τμήματος υπερχειλιστών Δ και Ε στη Χ.Θ. 12+282,22.
- Ανακατασκευή αγωγού ομβρίων του υφιστάμενου αγωγού Ω 70/105 στη Χ.Θ. 12+437,91.
- Κατάργηση του αγωγού ακαθάρτων Ω 80/120 στη Χ.Θ. 12+438 με αντικατάστασή του από νέο αγωγό επί των οδών Λιοσίων και Αυλώνος. Μεγάλο τμήμα του αγωγού κατασκευάζεται με τη μέθοδο υπόγειας διάνοιξης (Pipe Jacking).
- Ανακατασκευή τμήματος του ΚΑΑ σε μήκος περίπου 280m κατάντι του φρεατίου του υπερχειλιστή ΣΤ.
- Μεταθέσεις και ανακατασκευή τμήματος των υφιστάμενων αγωγών ομβρίων και ακαθάρτων επί της οδού Κωνσταντινουπόλεως. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Συνοψίζοντας λοιπόν, τα κύρια υδραυλικά έργα που πρόκειται να κατασκευαστούν είναι:

- Έργα αποχέτευσης – αποστράγγισης του διαδρόμου της σιδηροδρομικής γραμμής (αγωγοί – αντλιοστάσια).
- Αγωγοί υπερχείλισης του παντοροϊκού δικτύου των υπερχειλιστών Δ και Ε στην οδό Σιώκου και ΣΤ στην οδό Αγ. Μελετίου.

- Ανακατασκευή των υφιστάμενων δικτύων ομβρίων, ακαθάρτων και ύδρευσης στην έκταση που επηρεάζεται από τα σιδηροδρομικά έργα.

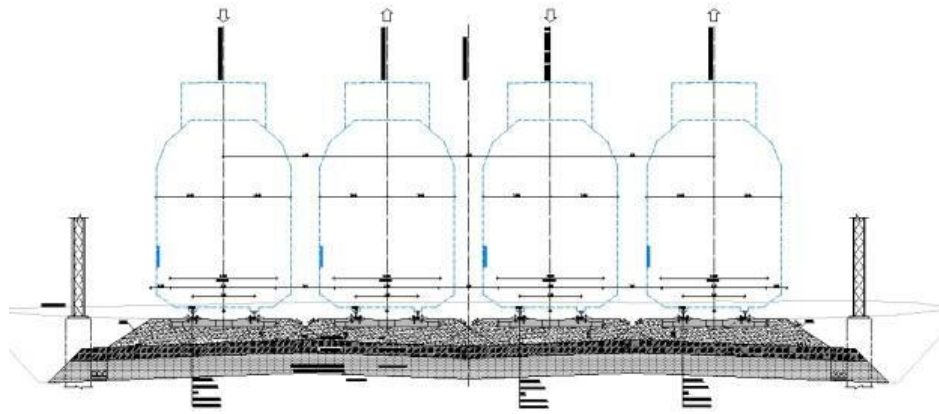
4.12. Σιδηροδρομική επιδομή

Η στρώση της επιδομής της σιδηροδρομικής γραμμής γίνεται πριν την ολοκλήρωση του έργου. Στο ανοιχτό τμήμα του έργου χρησιμοποιείται κλασική σκυρογραμμή και στο υπογειοποιημένο τμήμα κατασκευάζεται σταθερή επιδομή. Σε συνέχεια διεξαγωγής μελέτης εδαφοεταφερόμενου θορύβου και δονήσεων, διαπιστώθηκε η υπέρβαση των ανωτέρων επιτρεπόμενων ορίων. Αυτό έχει ως συνέπεια τη χρήση πλάκας σταθερής επιδομής σε μεγάλο μήκος του υπόγειου έργου, ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο θόρυβος και προκαλούμενη όχληση. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Επιδομή σκυρογραμμής

Τα τμήματα όπου εφαρμόζεται κλασική επιδομή σκυρογραμμής είναι από τη Χ.Θ. 10+821,05 έως 10+826,65 και από Χ.Θ. 12+835,78 έως 13+180,85, προσδιορίζοντας την αρχή και το τέλος του έργου αντίστοιχα. Επιπροσθέτως, η Χ.Θ. 13+180,85 ταυτίζεται με την αρχή του ήδη κατασκευασμένου τμήματος «Τρείς Γέφυρες – ΣΚΑ». Η μέση ταχύτητα που χρησιμοποιήθηκε κατά τον σχεδιασμό της επιδομής είναι τα 90km/h και η γραμμή λειτουργεί ηλεκτροκινούμενη με 25kV/50Hz. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Η τυπική διατομή εφαρμόζει ελάχιστη απόσταση σκύρων γραμμής 35cm από το κάτω πέλμα του στρωτήρα με πάχος υποστρώματος επιδομής 30cm καθώς και στρώση διαμόρφωσης 50cm. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)



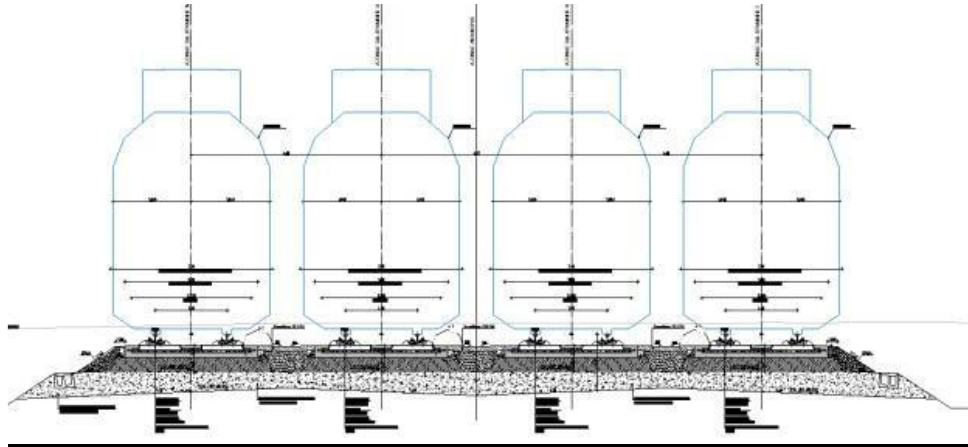
Σχήμα 4.73: Επιδομή σκυρογραμμής
(ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Πλωτή πλάκα σταθερής επιδομής

Στην περιοχή του τεχνικού η φέρουσα στρώση της σταθερής επιδομής εδράζεται απ' ευθείας στην πλάκα δαπέδου Cover & Cut, χωρίς ενδιάμεση παρέμβαση από κατεργασμένο με τσιμέντο αμμοχάλικο (Κ.Θ.Α) που απαιτείται στην ανοιχτή γραμμή. Το τεχνικό έχει κάθε 42 μέτρα αρμούς διαστολής, οι οποίοι οδήγησαν στην εφαρμογή αρμών συστολής και στη φέρουσα στρώση σε αυτά τα διαστήματα.

Στις μεταβατικές περιοχές κατά κανόνα χρησιμοποιούνται:

- Στρώση από Κατεργασμένο Θραυστό Αμμοχάλικο (Κ.Θ.Α)
- Φέρουσα Στρώση Σκυροδέματος (Φ.Σ)
- Σκύρα
- Κατάλληλες κόλλες για την σταθεροποίηση του έρματος
- Εγκάρσια ενισχυτική δοκός από σκυρόδεμα
- Βοηθητικές σιδηροτροχιές, κατά κανόνα UIC 60
- Κατάλληλοι στρωτήρες
- Ειδικοί σύνδεσμοι ελαστικών υποθεμάτων τους (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)



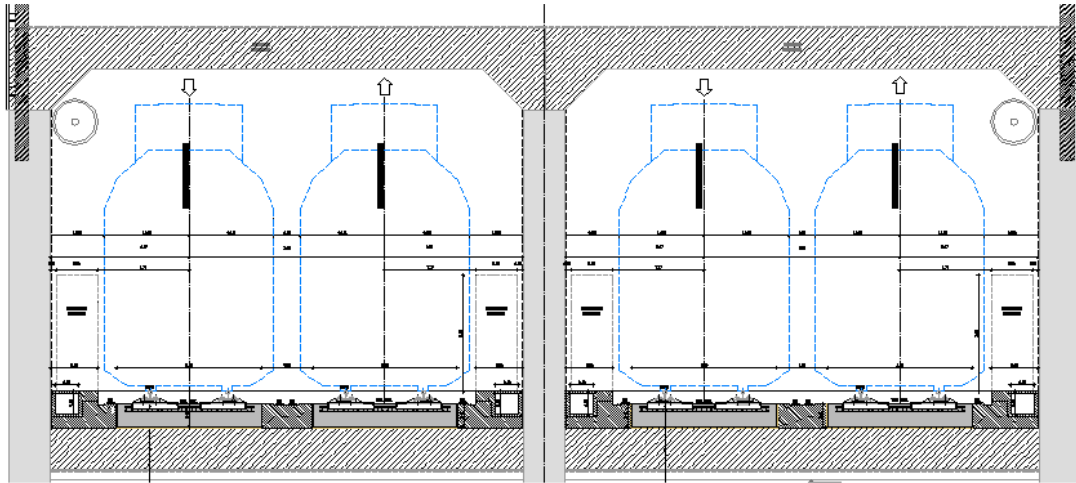
Σχήμα 4.74: Τυπική διατομή Σ.Ε. σε ανοικτή γραμμή

(ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Πλωτή πλάκα με σταθερή επιδομή τύπου Rheda

Για το υπόγειο τμήμα επιλέγεται λοιπόν να κατασκευαστεί σταθερή επιδομή και συγκεκριμένα, σταθερή επιδομή τύπου Rheda, η οποία έχει εφαρμοστεί σε πολλά σιδηροδρομικά έργα στην Ευρώπη.

Η πλωτή πλάκα τυπικής διατομής 2α έχει πλάτος 2,80m και πάχος 45cm στα άκρα της. Η ελάττωση του πάχους στα άκρα της πλάκας οφείλεται στο γεγονός ότι ακολουθεί αμφικλινή κλίση για την καλύτερη αποστράγγιση, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του πάχους στο κέντρο της πλάκας και μείωση στα άκρα της. Το μήκος της πλάκας είναι 14 μέτρα ώστε να υπάρχει συμβατότητα με το μήκος των τεχνικών υπογειοποίησης, το οποίο είναι 42 μέτρα. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)



Σχήμα 4.75: Τυπική διατομή Σ.Ε τύπου Rheda σε κλειστή διατομή

(ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Η πλωτή πλάκα σταθερής επιδομής κατασκευάζεται από σκυρόδεμα και τοποθετείται από τη Χ.Θ. 11+100 έως τη Χ.Θ. 12+060. Σε αυτή την απόσταση 960 μέτρων συναντώνται δύο διαφορετικές διαμορφώσεις. Η τυπική που εφαρμόζεται στη μεγαλύτερη έκταση του υπογειοποιημένου τμήματος και η ειδική διαμόρφωση που εφαρμόζεται στην περιοχή γεφύρωσης της σήραγγας Μετρό. Στα άκρα της πλωτής πλάκας εφαρμόζονται ειδικές διατάξεις με πλωτές πλάκες, ώστε να γίνει η ομαλή μετάβαση μεταξύ της πλωτής και μη πλωτής επιδομής. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Η πλωτή πλάκα κατασκευάζεται σε τρεις χαρακτηριστικές στρώσεις από κάτω προς τα πάνω. Πρώτη στρώση είναι η αντικραδαστική με ελαστικό τάπητα, η οποία βρίσκεται ακριβώς πάνω από τον πυθμένα της σήραγγας. Λειτουργεί σαν μέσο απόσβεσης των δονήσεων, οι οποίες μεταβιβάζονται από τη σιδηροδρομική γραμμή στον περιβάλλοντα χώρο. Η δεύτερη στρώση αποτελεί την πρώτη (κατώτερη) στρώση σκυροδέματος πάχους 20cm και αποτελεί τη βάση έδρασης και τοποθέτησης της εσχάρας στρωτήρων – σηδηροτροχιών. Η πρώτη και η δεύτερη πλάκα είναι στατικά ανεξάρτητες, καθώς δεν υπάρχει οπλισμός συρραφής μεταξύ των δύο πλακών. Η τρίτη στρώση της πλωτής πλάκας αποτελεί τη δεύτερη (ανώτερη) στρώση σκυροδέματος πάχους 25cm. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Σηματοδότηση στη σιδηροδρομική γραμμή

Κατά μήκος της σιδηροδρομικής γραμμής τοποθετούνται πινακίδες σημάτων που αφορούν την κυκλοφορία των συρμών και την ενημέρωση των οδηγών των αμαξοστοιχιών. Εγκαθίσταται λοιπόν πινακίδες σηματοδότησης:

- Πινακίδες κλεισιοδεικτών.
- Πινακίδες χλιομέτρησης.
- Πινακίδες προσήματος βραδυπορίας.
- Πινακίδες επιβολής βραδυπορίας.
- Πινακίδες εντολής «Σφυρίζτε».
- Πινακίδες προσανατολισμού. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

4.13. Ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις και Ασφάλεια

Στο παρόν εξεταζόμενο έργο, οι ηλεκτρομηχανολογικές (εν συντομία Η/Μ) εργασίες και εγκαταστάσεις εξυπηρετούν τον περιβάλλοντα χώρο και το υπογειοποιημένο μέρος του έργου.

Οι Η/Μ εγκαταστάσεις, σχεδιάζονται και προσαρμόζονται σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς και πρότυπα. Στην προκειμένη περίπτωση ισχύουν οι Εθνικοί Κανονισμοί και τα Εθνικά πρότυπα, καθώς και τα αντίστοιχα που ισχύουν στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπως είναι τα Γερμανικά (DIN), τα Βρετανικά (BS), των Ηνωμένων Πολιτειών (ASTM), καθώς και τα Διεθνή πρότυπα (ISO).

Οι ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις που αφορούν τη σήραγγα είναι:

- Εγκατάσταση φωτισμού.
- Εγκατάσταση συστήματος κίνησης.
- Εγκατάσταση συστήματος αερισμού.
- Εγκατάσταση συστήματος επιτήρησης σηράγγων και ελέγχου πυρκαγιάς.
- Εγκατάσταση συστήματος πυρόσβεσης.
- Εγκατάσταση Κεντρικού Συστήματος (SCADA).
- Δύο υποσταθμοί 20/0,4 kV, ένας σε κάθε μέτωπο της σήραγγας.

- Η/Μ εγκαταστάσεων κτηρίων εξυπηρέτησης της σήραγγας. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Για τον σχεδιασμό των εγκαταστάσεων λαμβάνονται υπόψη οι κατασκευαστικές απαιτήσεις του έργου, η ασφάλεια, εξυπηρέτηση και άνεση των χρηστών καθώς και η προστασία της σήραγγας και των εντός αυτής περιουσιακών της στοιχείων. Επίσης, βασικό κριτήριο σχεδιασμού είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής των εγκαταστάσεων, η εξοικονόμηση ενέργειας, το χαμηλό κόστος και η χαμηλή δαπάνη για τη συντήρησή τους. Τέλος, λαμβάνεται υπόψη η δυνατότητα παροχής εύκολης πρόσβασης και ευελιξία αναπροσαρμογής πάσης φύσης δικτύων, ώστε να εξασφαλιστεί η δυνατότητα συντήρησης και τροποποίησης τους.

Συστήματα επιτήρησης σήραγγας

Εντός της σήραγγας εγκαθίστανται συστήματα τα οποία αφορούν την ασφάλεια και την εξασφάλιση της καλύτερης δυνατής λειτουργίας της. Πρωτίστως, εγκαθίσταται σύστημα αερισμού, ώστε να εξασφαλίζεται ο διαμήκης αερισμός της σήραγγας με ανεμιστήρες ώσης διπλής κατεύθυνσης, οι οποίοι τοποθετούνται στα πλαϊνά της σήραγγας αναρτώμενοι από την οροφή.

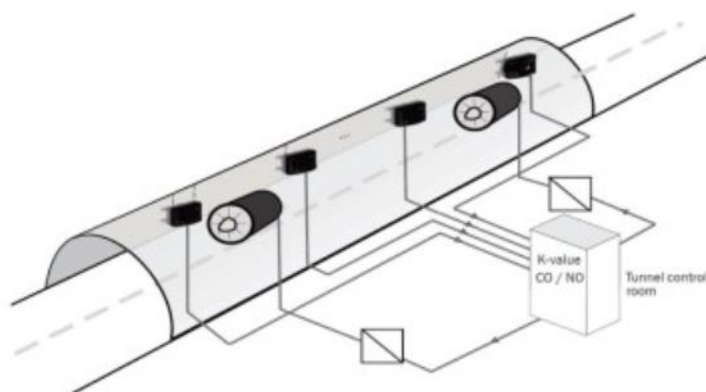
Σκοπός του συστήματος αερισμού είναι η διατήρηση των ρύπων εντός των επιτρεπόμενων ορίων, καθώς επίσης να εξασφαλίζεται η στρωτή ροή του αέρα εντός της σήραγγας σε περίπτωση εκδήλωσης πυρκαγιάς. Σε κάθε σήραγγα πρόκειται να τοποθετηθούν 24 ανεμιστήρες, εκ των οποίων οι δύο είναι εφεδρικοί με παροχή αέρα 11,9 m³/s για πυκνότητα αέρα $\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$ και μέση απόσταση μεταξύ των ανεμιστήρων τα 126 μέτρα. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Τα συστήματα επιτήρησης της σήραγγας είναι τα ακόλουθα, στα οποία πρόκειται ακολουθήσει σύντομη επεξήγηση.

Έλεγχος ποιότητας αέρα, ρύπων και ορατότητας

Ο έλεγχος ποιότητας αέρα εντός της σήραγγας γίνεται με την παρακολούθηση του ύψους των ρύπων εντός της. Γι' αυτό το λόγο τοποθετούνται έξι συστήματα ελέγχου,

από τρία σε κάθε σήραγγα. Οι μετρήσεις αφορούν το Μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το Μονοξείδιο του αζώτου (NO) και την ορατότητα εντός της σήραγγας. Το Μονοξείδιο του άνθρακα και του αζώτου μετρούνται είτε με ηλεκτροχημικό αισθητήρα είτε με απορρόφηση υπέρυθρης ακτινοβολίας. Η μέτρηση της ορατότητας γίνεται με τη μέθοδο μέτρησης απόσβεσης ακτίνας φωτός. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

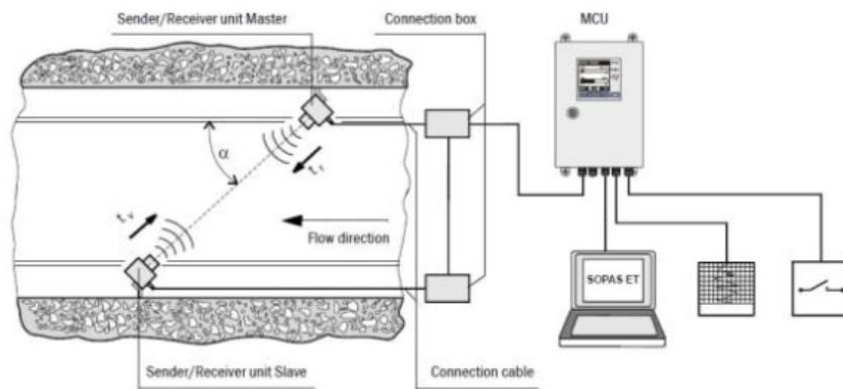


Σχήμα 4.76: Διάταξη μέτρησης NO/CO

(ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Μέτρηση ταχύτητας και διεύθυνσης αέρα

Το σύστημα μέτρησης της ταχύτητας και της διεύθυνσης του αέρα τοποθετείται στα 400μ. απόστασης από τα στόμια κάθε σήραγγας, με την εγκατάσταση συσκευής μέτρησης της ταχύτητας και της διεύθυνσης του αέρα. Η διάταξη που χρησιμοποιείται για την μέτρηση, αποτελείται από ένα ανεμόμετρο το οποίο επικοινωνεί με ηλεκτρονική μονάδα αξιολόγησης των δεδομένων. Η διάταξη τοποθετείται εντός της σήραγγας και οι μετρήσεις γίνονται με τη μέθοδο μέτρησης χρόνου μετάδοσης υπερήχων. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)



Σχήμα 4.77: Διάταξη συστήματος μέτρησης με υπερήχους
(ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Σύστημα προειδοποίησης διέλευσης συρμών

Εντός της σήραγγας εγκαθίσταται σύστημα το σύστημα αφορά την έγκαιρη προειδοποίηση σε περίπτωση διέλευσης συρμών, με την εγκατάσταση σειρήνων εντός της σήραγγας οι οποίες τοποθετούνται ανά 100 μέτρα και την εγκατάσταση αισθητήρων διέλευσης συρμού (τύπου AWS) και στις δύο εισόδους των σηράγγων και σε αποστάσεις τουλάχιστον 1 και 2 km από τις εισόδους. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)



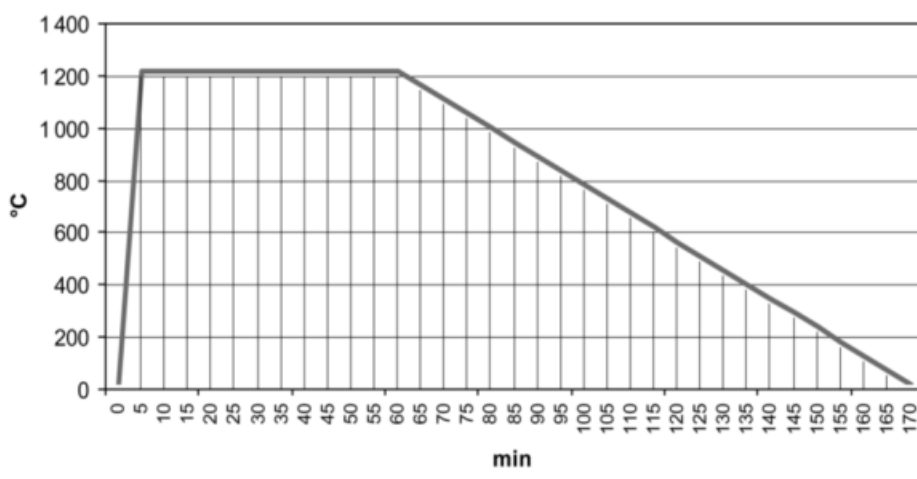
*Ράμπα συστήματος AWS
μεταξύ των σιδηροτροχιών*

Σχήμα 4.78: Αισθητήρες συστήματος διέλευσης συρμών
(ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Πυρανίχνευση και πυρόσβεση σήραγγας

Κατά μήκος της σήραγγας εγκαθίσταται σύστημα πυρανίχνευσης γραμμικού τύπου, το οποίο μετρά σε πραγματικό χρόνο τη θερμοκρασία και τον ρυθμό αύξησής της. Οι μετρήσεις του συστήματος γίνονται σε μέγιστα διαστήματα 8m κατά μήκος της σήραγγας, δημιουργώντας ζώνες συναγερμού. Το σύστημα γραμμικής πυρανίχνευσης αποτελείται από κατάλληλο καλώδιο με ενσωματωμένη οπτική ίνα. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Το σύστημα πυρανίχνευσης ρυθμίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να δίδεται έγκαιρη προειδοποίηση σε περίπτωση υπέρβασης της μέγιστης θερμοκρασίας ή υπέρβασής του διαφορικού ορίου της. Η καμπύλη θερμοκρασίας – χρόνου (EUREKA) που παρατίθεται αφορά επιφάνειες της σήραγγας που αποτελούνται από σκυρόδεμα.



Σχήμα 4.79: Καμπύλη θερμοκρασίας – χρόνου (EUREKA)

(ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Θερμοκρασία συναγερμού: 50°C και θερμοκρασία προσυναγερμού: 45°C.

Εντός των σηράγγων προβλέπεται η εγκατάσταση μόνιμου υδροδοτικού πυροσβεστικού δικτύου, συγκεκριμένα, εγκαθίστανται πυροσβεστικές φωλιές οι οποίες θα απέχουν 50m η μία με την άλλη ώστε να υπάρχει πλήρης κάλυψη σε όλο το μήκος των σηράγγων.

4.14. Όργανα παρακολούθησης του έργου

Κατά την πραγματοποίηση και μετά την ολοκλήρωση του έργου, προβλέπεται η πλήρης κάλυψη και παρακολούθηση της γεωμηχανικής και δομητικής συμπεριφοράς. Η παρακολούθηση της συμπεριφοράς του έργου είναι αναγκαία, καθώς η κατασκευή πραγματοποιείται εντός κατοικημένης περιοχής, όπου υπάρχουν πολυώροφες πολυκατοικίες με περισσότερους από πέντε ορόφους. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην περιοχή που βρίσκεται η σήραγγα του μετρό, καθώς υπάρχουν φόβοι για ανύψωσή της.

Οι μετρήσεις που γίνονται αφορούν τα ακόλουθα:

- Μετατόπιση των κατασκευών εντός της ζώνης επιρροής του έργου, συμπεριλαμβανομένης της ολικής και διαφορικής καθίζησης, της γωνιακής παραμόρφωσης και της κλίσης.
- Οριζόντια και κατακόρυφη μετατόπιση του εδάφους πάνω και κάτω από την επιφάνεια.
- Σύγκλιση προσωρινών και μόνιμων τοίχων εκσκαφών και άλλων κατασκευών.
- Τάσεις σε αντηρίδες και φορτία σε αγκυρώσεις που αντιστηρίζουν εκσκαφές.
- Πιεζομετρική στάθμη υπογείων υδάτων.
- Ροή υδάτων εντός των εκσκαφών.
- Δονήσεις λόγω της λειτουργίας του εξοπλισμού και των μηχανημάτων εκσκαφής.
- Παραμορφώσεις του κελύφους της σήραγγας Μετρό, των σιδηροτροχιών και των στρωτήρων αυτών.
- Σεισμικές επιταχύνσεις.
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται είναι:

- Ακίδες μέτρησης μετατοπίσεων της επιφάνειας, του εδάφους και των κτηρίων
- Κλισιόμετρα απλά για τη μέτρηση οριζοντίων μετατοπίσεων σε βάθος
- Κλισιόμετρα τύπου IDEL για τη μέτρηση οριζοντίων και κατακόρυφων μετατοπίσεων σε βάθος.
- Πιεζόμετρα παρακολούθησης στάθμης υπόγειων υδάτων
- Κυψέλες φορτίου τύπου δονούμενου σύρματος στις αντηρίδες για τη μέτρηση των θλιπτικών τάσεων
- Ηλεκτρικά μκινσιόμετρα ή μκινσιόμετρα δονούμενης χορδής για τη μέτρηση οριζόντιων (περιμετρικών) και κατακόρυφων (αξονικών) παραμορφώσεων των αντηρίδων.
- Ανακλαστήρες για την παρακολούθηση των μετακινήσεων των σιδηροτροχιών και του κελύφους της σήραγγας Μετρό, μέσω αυτοματοποιημένου συστήματος τρισδιάστατων τοπογραφικών μετρήσεων (3D) πραγματικού χρόνου
- Αισθητήρες οπτικών ινών για τη ενόργανη παρακολούθηση δομικής ακεραιότητας κατασκευών.
- Ψηφιακοί επιταχυνσιογράφοι για την παρακολούθηση των σεισμικών επιταχύνσεων.
- Αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στο σύστημα τύπου Bassett για τη μέτρηση σύγκλισης μόνιμης επένδυσης κελύφους σήραγγας Μετρό.
- Αισθητήρων καθίζησης (παράλληλη τοποθέτηση στον άξονα της γραμμής) και στρέψης (εγκάρσια τοποθέτηση στον άξονα) για την παρακολούθηση των σιδηροτροχιών στη σήραγγα Μετρό
- Συμβατικές τοπογραφικές μέθοδοι για τις μετρήσεις επιπεδότητας σιδηροτροχιών. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Τα όργανα πρέπει να είναι ανθεκτικά σε διαβρωτικό περιβάλλον για το χρονικό περιθώριο που προβλέπεται η λειτουργία τους. Πρέπει δηλαδή να είναι ανθεκτικά

απέναντι στις καιρικές συνθήκες, στα υπόγεια ύδατα, στις δονήσεις προερχόμενες από την επιφάνεια του εδάφους λόγω καθημερινών δραστηριοτήτων. Τέλος, πρέπει να έχουν αντοχή σε δραστηριότητες που αφορούν την κατασκευή του έργου, όπως και σε τυχόν μικροατυχήματα που μπορεί να συμβούν.

4.15. Επιφανειακή διαμόρφωση

Με την ολοκλήρωση του έργου, ακολουθεί η διαμόρφωση του τοπίου και των ελεύθερων χώρων πάνω από τον υπογειοποιημένο τετραπλό σιδηροδρομικό διάδρομο.

Η επιφανειακή διαμόρφωση πρόκειται θα πραγματοποιηθεί στην περιοχή από τη Χ.Θ. 11+065 έως τη Χ.Θ. 12+560, δηλαδή στο τμήμα 1,495 χλμ. στο οποίο ο σιδηροδρομικός διάδρομος είναι πλήρως υπογειοποιημένος.

Μέσω αρχιτεκτονικών εργασιών πρόκειται να επιτευχθεί η αποκατάσταση, η διαμόρφωση και η αξιοποίηση της αποδεσμευμένης επιφάνειας. Κύριος σκοπός της ανάπλασης είναι η βελτίωση, ο εξωραϊσμός και ποιοτική αναβάθμιση της περιοχής υπογειοποίησης μέσω της κάλυψης των λειτουργικών αναγκών της.

Τα παραπάνω θα επιτευχθούν μέσω της:

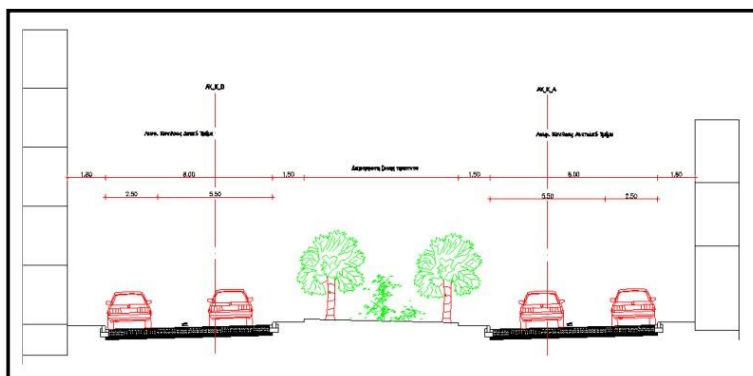
- Λειτουργικής εξυγίανσης της οδού – Κυκλοφοριακής οργάνωσης
- Αισθητικής – Ποιοτικής αναβάθμισης της λεωφόρου
- Βιοκλιματικής σχεδίασης στο έργο

Λειτουργική εξυγίανση της οδού – Κυκλοφοριακή οργάνωση

Για την κατασκευή του έργου η οδός Κωνσταντινουπόλεως πρόκειται να καταληφθεί και να εκσκαφεί. Με την ολοκλήρωση της υπογειοποίησης, η οδός θα ανακατασκευαστεί σε όλο το πλάτος της.

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη της βασικές παραμέτρους του αστικού σχεδιασμού, της οργάνωσης και χάραξης λειτουργικών ζωνών με ενιαίο πλάτος κατά μήκος ενός οδικού άξονα, πρόκειται να κατασκευαστούν:

- Πεζοδρόμια μέγιστου πλάτους 1,80 m
- Ζώνες οργανωμένης στάθμευσης μέγιστου πλάτους 2,50 m
- Λωρίδα κυκλοφορίας οχημάτων ελάχιστου πλάτους 5,50 m
- Ενδιάμεση νησίδα πλάτους 9 – 11 m. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)



Σχήμα 4.80: Επιφανειακή διαμόρφωση της οδού Κωνσταντινουπόλεως
(ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Κατασκευή άνω διαβάσεων πεζών

Για την καλύτερη εξυπηρέτηση των διερχόμενων πολιτών κατασκευάζονται δύο άνω διαβάσεις πεζών, οι οποίες θα εξυπηρετούν το ανοικτό τμήμα του σιδηροδρομικού διαδρόμου. Τοποθετούνται δηλαδή ανάμεσα στο τέλος του τεχνικού κλειστής διατομής και το τέλος του τεχνικού ανοιχτής διατομής, επί της ουσίας βρίσκονται πλησίον της αρχής και του τέλους του έργου. Οι διαβάσεις βρίσκονται στην οδό Ξανθίπτης στη Χ.Θ. 10+958 και στην οδό Ξένου στη Χ.Θ. 12+703.

Με την κατασκευή τους πρόκειται να καλυφθούν όλες οι απαιτήσεις ασφαλείας και φωτισμού τους. Οι δύο διαβάσεις πρόκειται να διαθέτουν από δύο ανελκυστήρες η κάθε μία για την εξυπηρέτηση ατόμων με κινητικές δυσκολίες, καθώς επίσης προβλέπεται η κατασκευή ραμπών για την καλύτερη προσέγγιση τους.

Αισθητική και ποιοτική αναβάθμιση της λεωφόρου

Η αισθητική εξυγίανση και ποιοτική αναβάθμιση της περιοχής πρόκειται να γίνει ακολουθώντας τις ακόλουθες παρεμβάσεις:

- Ποιοτική διαμόρφωση των λειτουργικών ζωνών
- Διαμόρφωση περιοχής «περιπάτου, φύτευσης και ήπιας αναψυχής»
- Αισθητική των στοιχείων αστικού εξοπλισμού

Ποιοτική διαμόρφωση των λειτουργικών ζωνών της οδού

Η λεωφόρος Κωνσταντινουπόλεως μετά την ολοκλήρωση του έργου πρόκειται να αποτελείται από μια επιφάνεια χώρου με μέσο όρο πλάτους τα 30 μ. Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το πλάτος οδού, γίνεται η χάραξη λειτουργικών ζωνών της οδού.

Οι ζώνες αυτές αφορούν τα διαπλατυσμένα πεζοδρόμια πλάτους 1,80 μ.. Σε αυτά θα τοποθετηθεί ο απαραίτητος αστικός εξοπλισμός, χώροι χαμηλής φύτευσης και χάραξη θέσεων δέντρων. Επίσης, εξασφαλίζεται η πλήρης προσβασιμότητα με ράμπες, γραμμή τυφλού και διαβάσεις.

Στις λειτουργικές ζώνες περιλαμβάνεται η διαμόρφωση ζώνης οργανωμένης στάθμευσης και εξυπηρέτησης στη δεξιά παρειά κάθε κατεύθυνσης κυκλοφορίας με μέγιστο πλάτος τα 2,50 μ.. Οργανώνονται διαγραμμισμένες θέσεις στάθμευσης, χώροι εισόδου σε γκαράζ και συνεργεία, θέσεις για κάδους και διαβάσεις πεζών. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Περιοχή περιπάτου, φύτευσης και ήπιας αναψυχής στην κεντρική νησίδα

Η κεντρική νησίδα τοποθετείται στο χώρο που καταλάμβανε ο σιδηροδρομικός διάδρομος πριν την υπογειοποίηση. Σε αυτό τον χώρο λοιπόν, ο οποίος έχει κατά μέσο όρο πλάτος 9 – 11 μ., διαμορφώνεται ζώνη περιπάτου, με υποδομές για στάσεις, φύτευση και ήπια αναψυχή. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Πορεία περιπάτου – βόλτας

Σε όλο το μήκος της νησίδας διαμορφώνεται διαδρομή περιπάτου μήκους 1 χλμ. και πλάτους κυμαινόμενου μεταξύ των 2 με 5 μέτρων. Κατά μήκος της διαδρομής αυτής, διαμορφώνονται εκατέρωθεν αυτής θέσεις στάσεις και φύτευσης.

Στις θέσεις που προορίζονται για στάση, προβλέπεται η διαμόρφωση χώρων οι οποίοι πρόκειται να αξιοποιηθούν από πολίτες και κάτοικους της περιοχής. Τέτοιοι χώροι είναι περιφραγμένη παιδική χαρά, πάρκο άθλησης, διαμορφωμένοι χώροι αναψυχής και χώρος τοποθέτησης γλυπτού.

Συγκεκριμένα, όσον αφορά την τοποθέτηση γλυπτού, προβλέπεται η διαμόρφωση χώρου την περιοχή που βρίσκεται το μουσείο σιδηροδρόμου, στον οποίο πρόκειται να γίνεται έκθεση βαγονιών, περιοχή ανάμνησης σιδηροδρομικών γραμμών. Επιπροσθέτως, στα παραπάνω προβλέπεται η δημιουργία χώρου αναψυκτήριου, έκδοσης εισιτηρίων και δημοτικών εκθέσεων. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Φύτευση

Κατά μήκος της διαδρομής περιπάτου και εκατέρωθεν αυτής διαμορφώνονται περιοχές με φύτευση. Οι περιοχές αυτές αποτελούν είτε μεγαλύτερου πλάτους εκτάσεις με διαμόρφωση υψομετρικών καμπυλών, είτε γραμμικές στενές λωρίδες φύτευσης με δέντρα.

Πρόκειται να γίνει φύτευση ψηλών δέντρων με χαμηλή ρίζα, ώστε να παρέχουν σκίαση, καθώς και χαμηλής βλάστησης, όπως είναι διάφορα είδη θάμνων για την βελτίωση της ατμόσφαιρας.

Τέλος, η φύτευση χλωρίδας διαμορφώνεται σε όλο το μήκος των ορίων της νησίδας με την οδό. Σκοπός της ύπαρξης βλάστησης σε είναι η λειτουργία αποτρεπτικού παράγοντα της παραβίασης της νησίδας από τα οχήματα.

Αισθητική των στοιχείων αστικού εξοπλισμού

Αφορά τη χωροθέτηση και τον σχεδιασμό του αστικού εξοπλισμού. Συγκεκριμένα καθορίζονται οι θέσεις και η μορφολογία του κινητού εξοπλισμού ώστε να είναι λειτουργικός και αισθητικά ομοιόμορφος. Στον κινητό εξοπλισμό περιλαμβάνονται τα καθιστικά, ο φωτισμός, οι πινακίδες πληροφόρησης, τα κολωνάκια, τα καλάθια απορριμμάτων κ.α.

Βιοκλιματικός σχεδιασμός – Παρεμβάσεις στο έργο

Σύμφωνα με τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού, πρόκειται να αξιοποιηθούν οι ιδανικές συνθήκες προσανατολισμού της οδού Κωνσταντινουπόλεως με σκοπό τη διατήρηση και τον εμπλουτισμό του πρασίνου, μέσω της διατήρησης των υφιστάμενων δέντρων πριν την έναρξη της κατασκευής, καθώς και τον σχεδιασμό περιοχών φύτευσης πρασίνου κατά μήκος της κεντρικής νησίδας της οδού.

Η ύπαρξη πρασίνου συμβάλλει στον καθαρισμό της ατμόσφαιρας, την ελάφρυνση της ηχορύπανσης και τη σκίαση και τη διατήρηση χαμηλότερων θερμοκρασιών στους δρόμους.

Πρόκειται επίσης να χρησιμοποιηθούν ψυχρές βαφές και ψυχρά υλικά επίστρωσης των πεζοδρομίων. Η επιλογή γίνεται ώστε να περιορίζεται στο ελάχιστο δυνατό η απορρόφηση θερμότητας το καλοκαίρι. Την ίδια λογική θα έχουν και τα λοιπά υλικά εξοπλισμού, όπως οι πάγκοι των καθιστικών. (ΕΡΓΟΣΕ, 2017)

Κεφάλαιο 5 Αριθμητική προσομοίωση

Πρόκειται λοιπόν να ακολουθήσει μια αριθμητική προσομοίωση χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα RS2 της εταιρίας RocScience, σε διατομή της περιοχής όπου πραγματοποιήθηκε η επίσκεψη. Συγκεκριμένα, επιλέγεται η Χ.Θ. 11+800 η οποία αντιστοιχεί στο τεχνικό 22, στο οποίο η διατομή του υπόγειου φορέα είναι κλειστή, χωρίς ενδιάμεση πλάκα.

5.1. Σχεδίαση της διατομής

Το RS2 είναι ένα πρόγραμμα δισδιάστατης ανάλυσης πεπερασμένων γεωτεχνικών κατασκευών με εφαρμογές σε έργα πολιτικού και μεταλλειολόγου μηχανικού. Κατάλληλο τόσο για πέτρωμα όσο και για έδαφος, το RS2 είναι ένα πρόγραμμα γενικής χρήσης για ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων που αφορά το σχεδιασμό σηράγγων και υποστήριξης, υπόγειες εκσκαφές, επιφανειακές εκσκαφές, ευστάθεια πρανών, επιχώματα, δυναμική ανάλυση, θεμελιώσεις, ενοποίηση, διήθηση υπόγειων υδάτων και άλλα.

Σύμφωνα με τα στάδια κατασκευής της κλειστής διατομής τεχνικού, σχεδιάζονται τα αντίστοιχα στάδια στο πρόγραμμα RS2. Για την καλύτερη αποτύπωση των φάσεων κατασκευής, στο πρόγραμμα RS2 η σχεδίαση έγινε σε 16 επιμέρους στάδια.

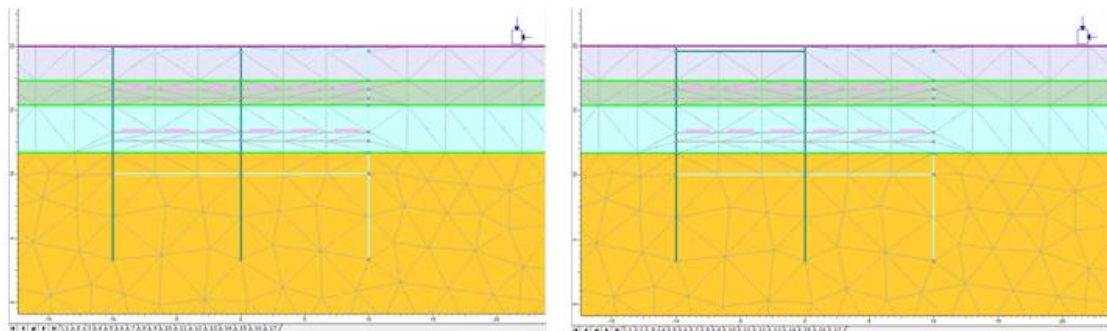
Αρχικά επιλέχθηκε η χιλιομετρική θέση 11+800, όπου θα πραγματοποιηθεί η προσομοίωση και στη συνέχεια σχεδιάστηκε το εδαφικό προφίλ της θέσης. Σύμφωνα με το τεύχος Γεωτεχνικές Έρευνες και μελέτες, το εδαφικό προφίλ της θέσης προσομοίωσης, αποτελείται από τις στρώσεις I, sch0, sch4-6 και sch2-4.

Πίνακας 2: Πάχη των στρώσεων

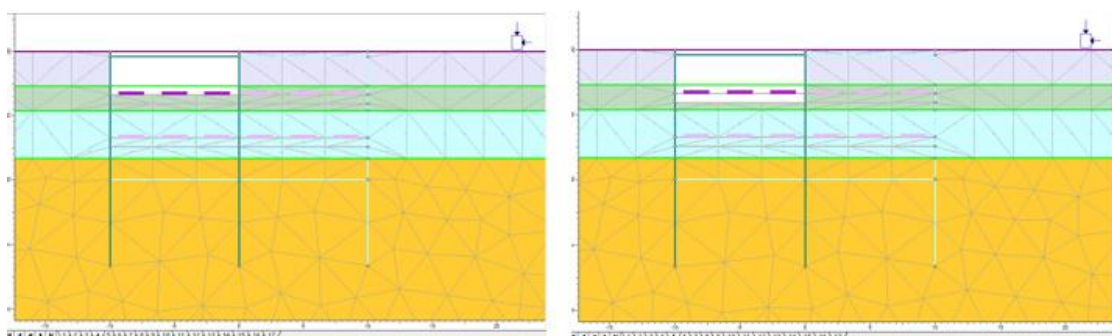
Στρώση	Πάχος (m)
I	2,70
Sch0	1,90
Sch4-6	3,70

Το πάχος της στρώσης sch2-4, σύμφωνα με τα γεωλογικά στοιχεία, φτάνει έως τα 26,70m. Επίσης, η στρώση sch2-4 είναι η κατώτερη στρώση στην προσομοίωση, οπότε κάνουμε την παραδοχή ότι το πάχος της στρώσης είναι τέτοιο το οποίο καλύπτει τις ανάγκες της προσομοίωσης.

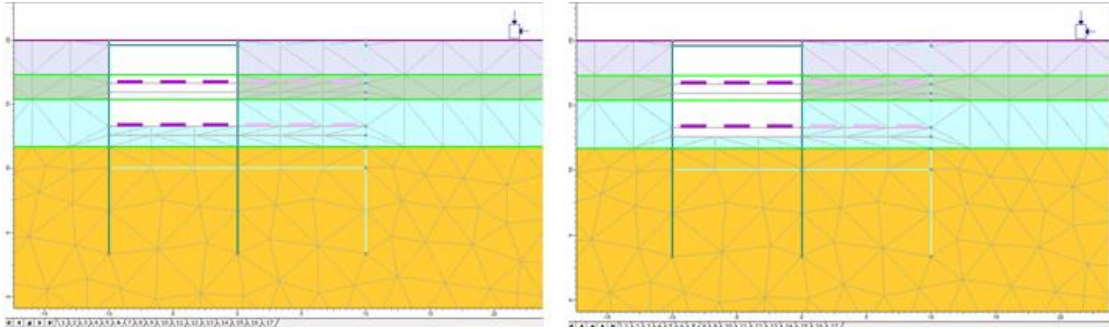
Η διαδικασία που ακολουθείται για τον σχεδιασμό της διατομής που πρόκειται να προσομοιωθεί είναι η εξής: Αρχικά, αποτυπώνεται η στρωματογραφία στην επιλεγμένη θέση και στη συνέχεια, σχεδιάζονται τα στάδια κατασκευής, όπως περιγράφονται στο κεφάλαιο 4.10.2. Ως κριτήριο αστοχίας της γεωμάζας για την πραγματοποίηση των υπολογισμών, επιλέγεται το κριτήριο Mohr – Coulomb.



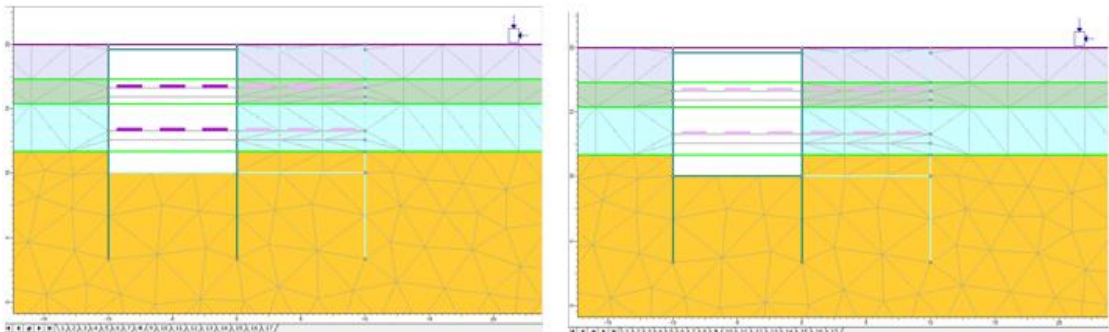
Σχήμα 5.1: Στάδια 1 και 2: Σχεδίαση των διαφραγματικών τοίχων και της πλάκας οροφής του δυτικού διαδρόμου



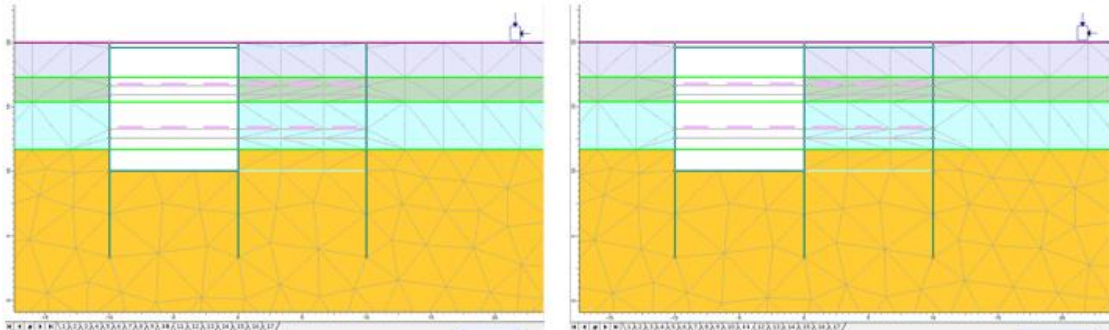
Σχήμα 5.2: Στάδια 3 και 4: Σχεδίαση της 1^{ης} αντηρίδας και της στάθμης εκσκαφής της του δυτικού διαδρόμου



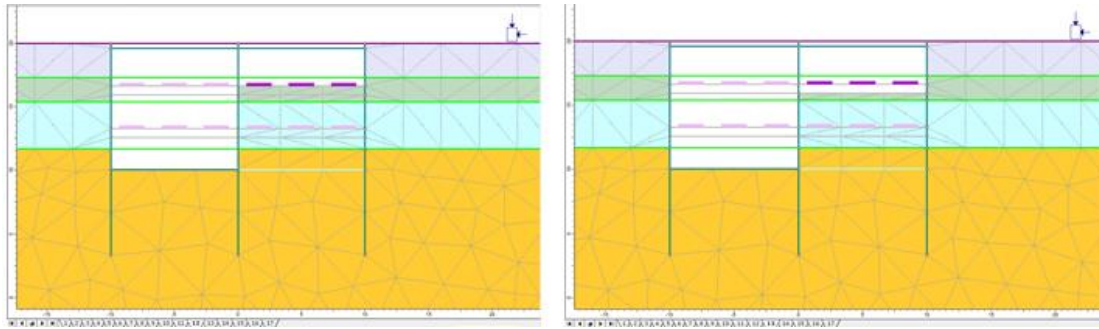
Σχήμα 5.3: Στάδια 5 και 6: Σχεδίαση της 2^{ης} αντηρίδας και της στάθμης εκσκαφής της του δυτικού διαδρόμου



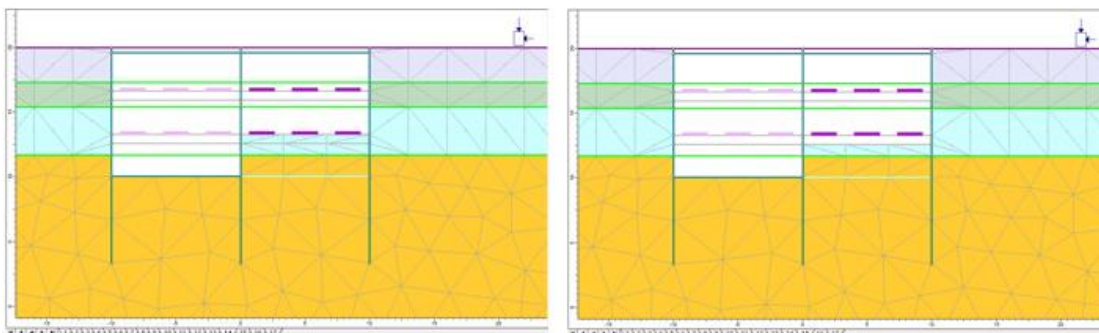
Σχήμα 5.4: Στάδια 7 και 8: Σχεδίαση της εκσκαφής στην κατώτερη στάθμη και της πλάκας δαπέδου του δυτικού διαδρόμου (ολοκλήρωση του δυτικού διαδρόμου)



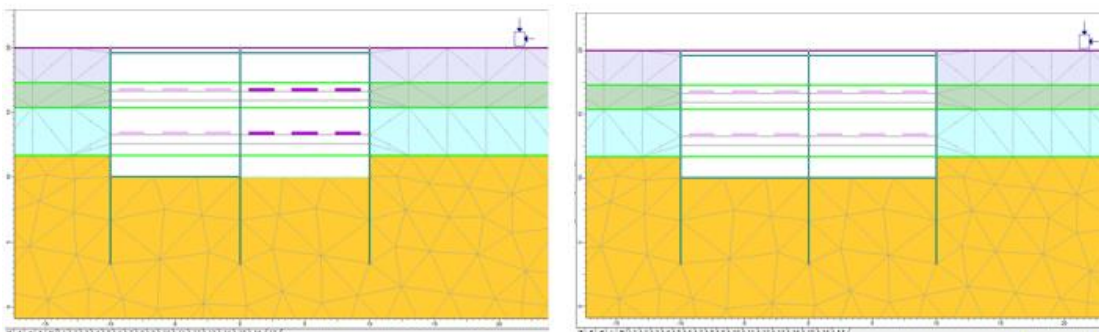
Σχήμα 5.5: Στάδια 9 και 10: Σχεδίαση του διαφραγματικού τοίχου και της πλάκας οροφής του ανατολικού διαδρόμου



Σχήμα 5.6: Στάδια 11 και 12: Σχεδίαση της 1^{ης} αντηρίδας και της στάθμης εκσκαφής της του ανατολικού διαδρόμου



Σχήμα 5.7: Στάδια 13 και 14: Σχεδίαση της 2^{ης} αντηρίδας και της στάθμης εκσκαφής της του ανατολικού διαδρόμου



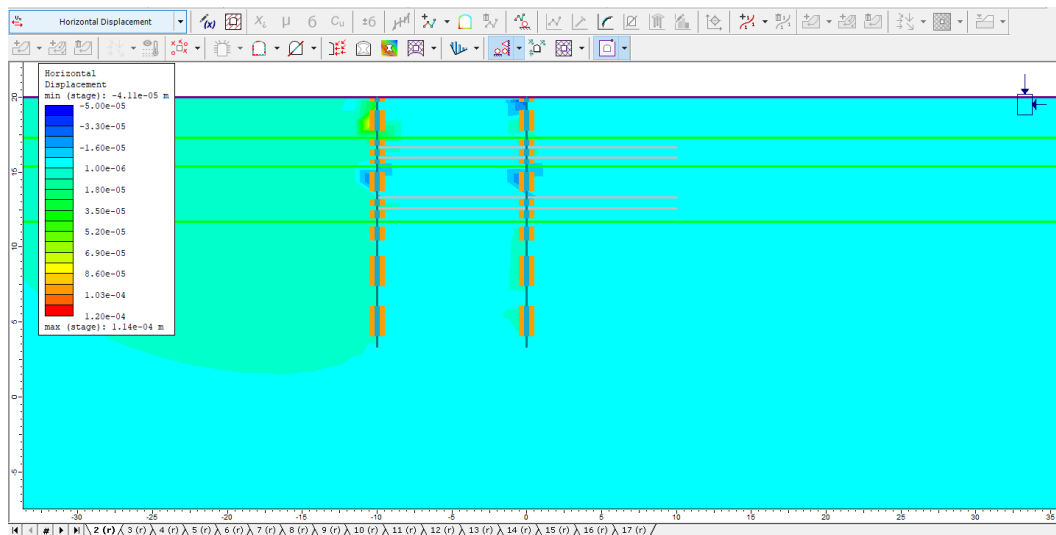
Σχήμα 5.8: Στάδια 15 και 16: Σχεδίαση της εκσκαφής στην κατώτερη στάθμη και της πλάκας δαπέδου του ανατολικού διαδρόμου (ολοκλήρωση της κατασκευής)

Μετά την ολοκλήρωση της παραπάνω διαδικασίας, εισάγονται στο πρόγραμμα οι χαρακτηριστικές τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων των στρώσεων I, sch0, sch4-6, sch2-4. Καθώς επίσης του σκυροδέματος των διαφραγματικών τοίχων, της πλάκας οροφής και δαπέδου και τέλος των αντηρίδων. Για τις ανάγκες των υπολογισμών, θεωρούμε ότι η οριζόντια απόσταση ανάμεσα στις αντηρίδες είναι τα 8 μέτρα.

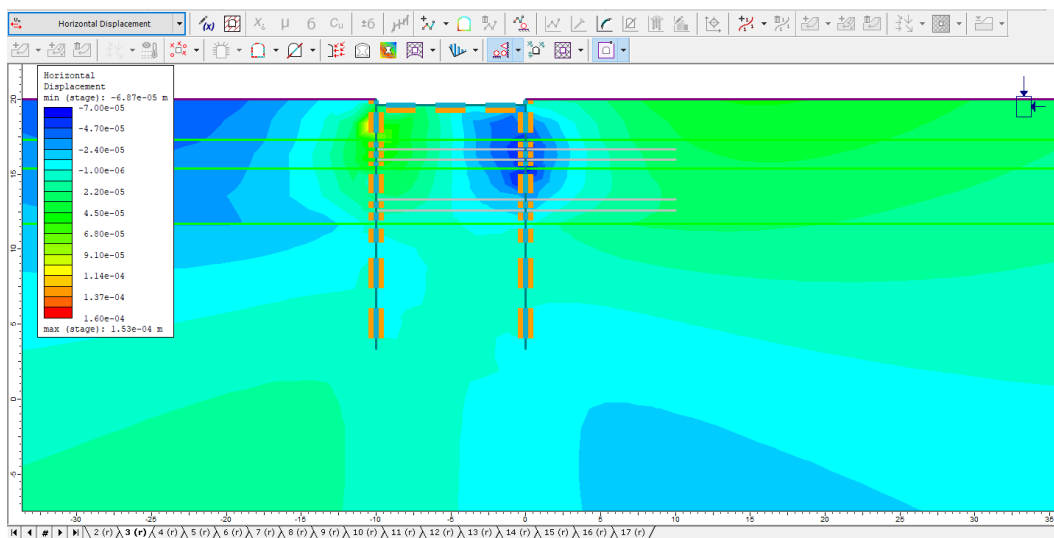
5.2. Αποτελέσματα της προσομοίωσης

5.2.1. Μετατοπίσεις

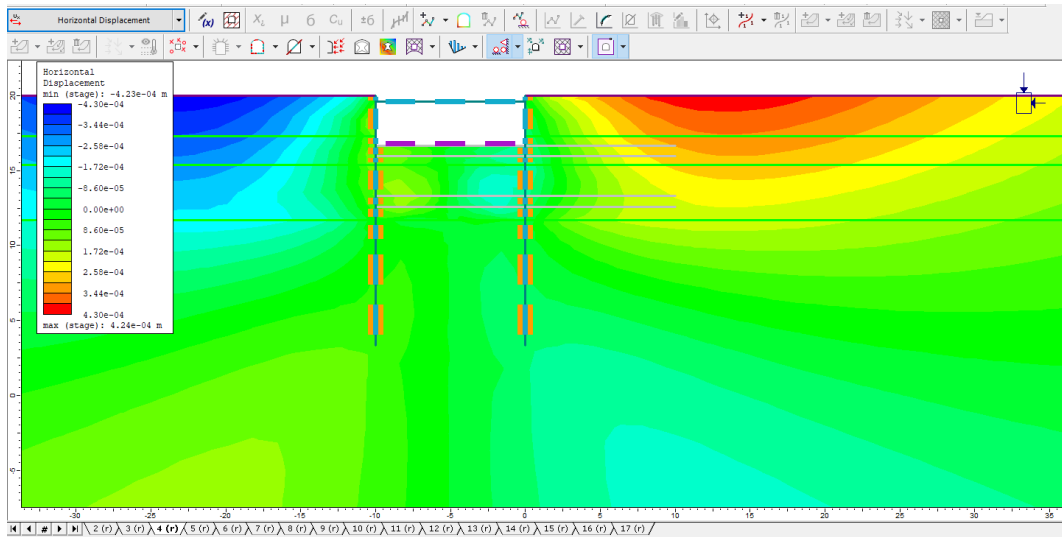
Οριζόντιες μετατοπίσεις



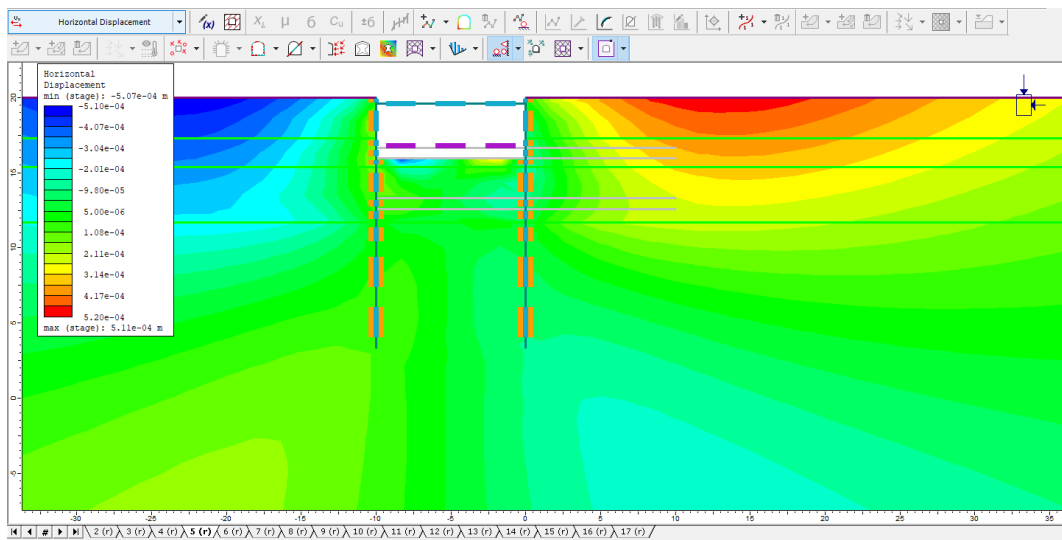
Σχήμα 5.9: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 1^ο στάδιο



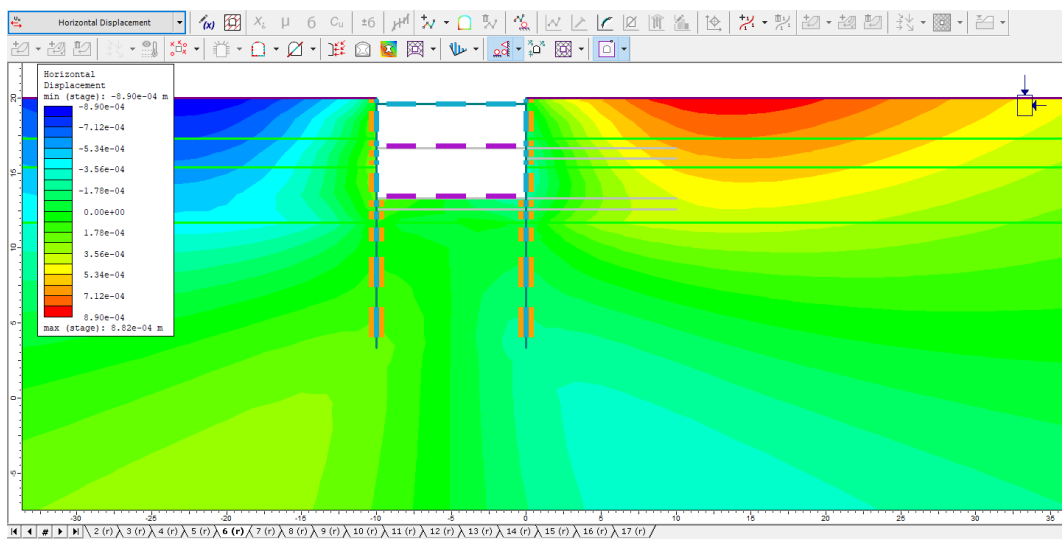
Σχήμα 5.10: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 2^ο στάδιο



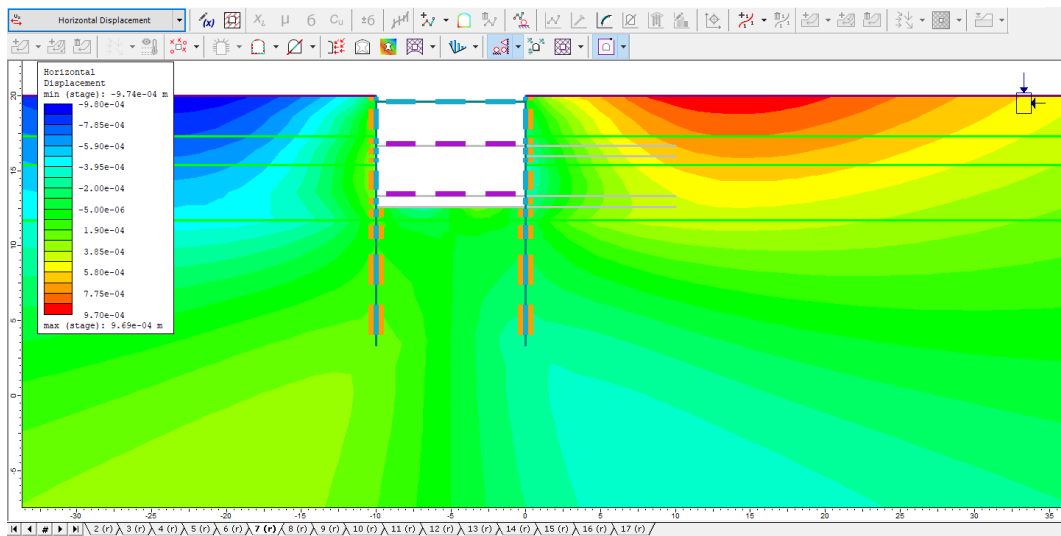
Σχήμα 5.11: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 3^ο στάδιο



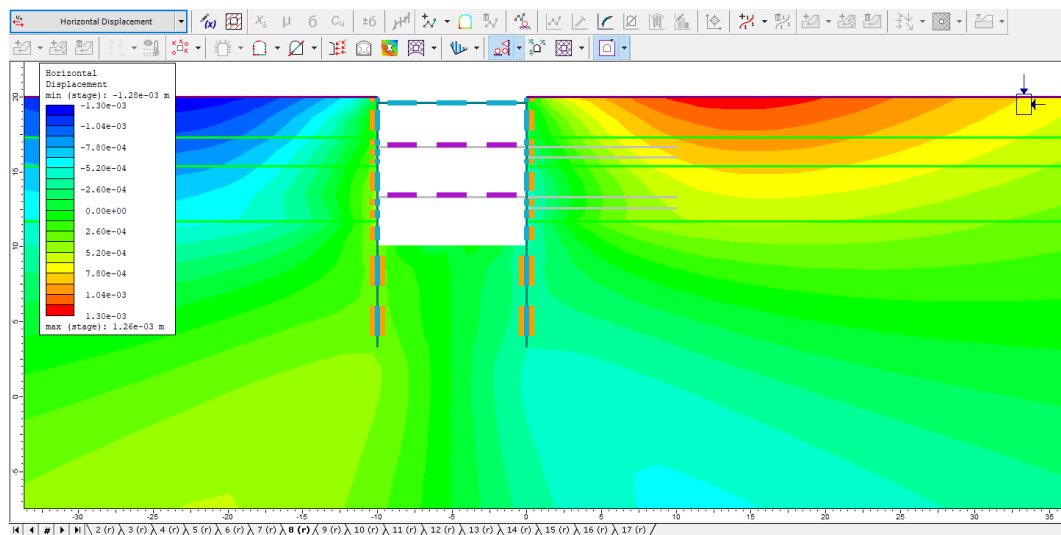
Σχήμα 5.12: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 4^ο στάδιο



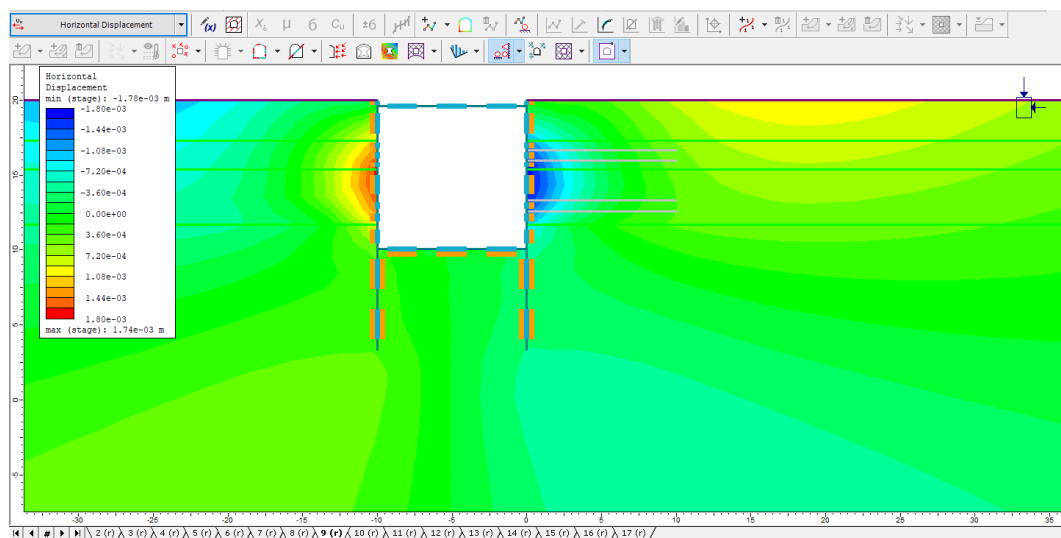
Σχήμα 5.13: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 5^ο στάδιο



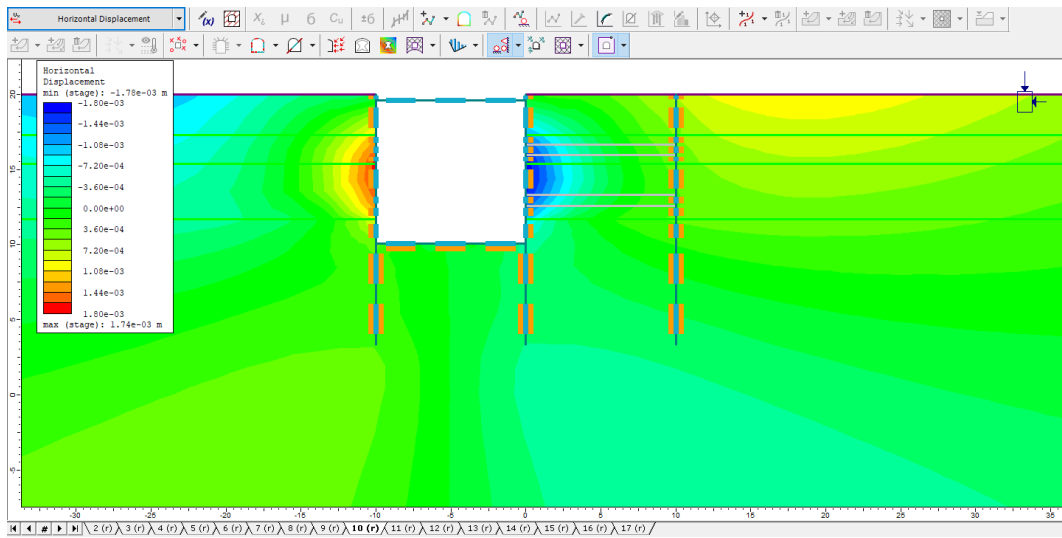
Σχήμα 5.14: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 6^ο στάδιο



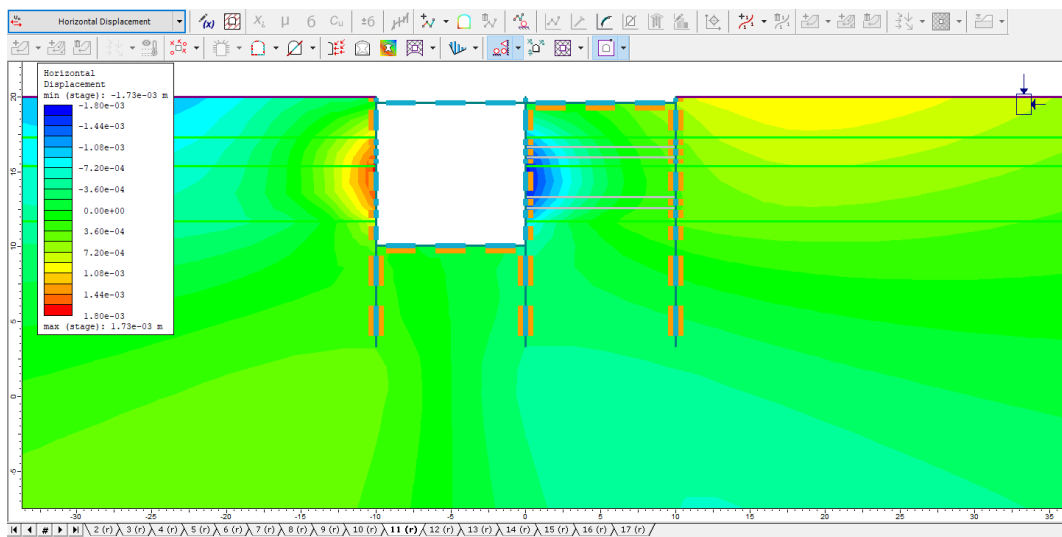
Σχήμα 5.15: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 7^ο στάδιο



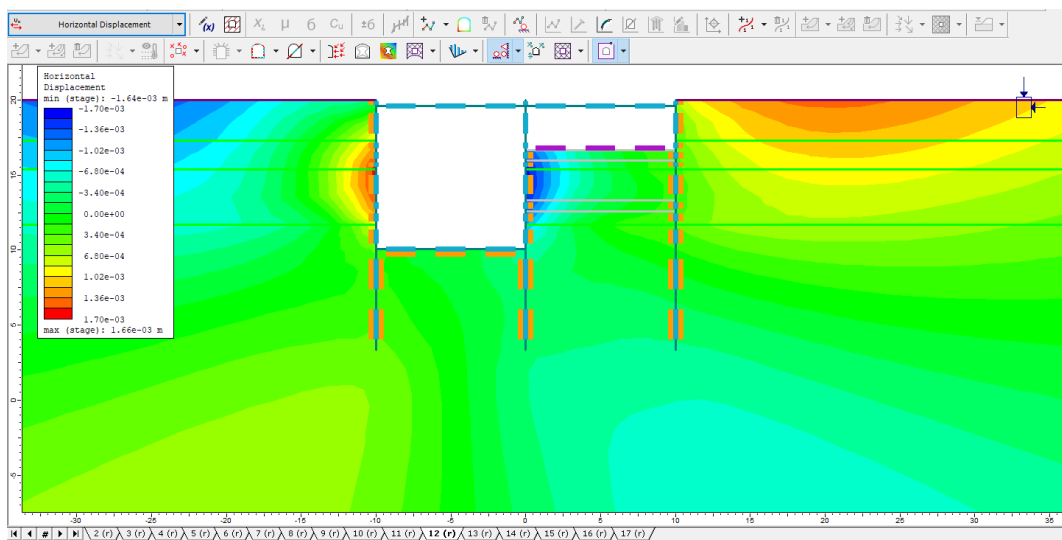
Σχήμα 5.16: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 8^ο στάδιο



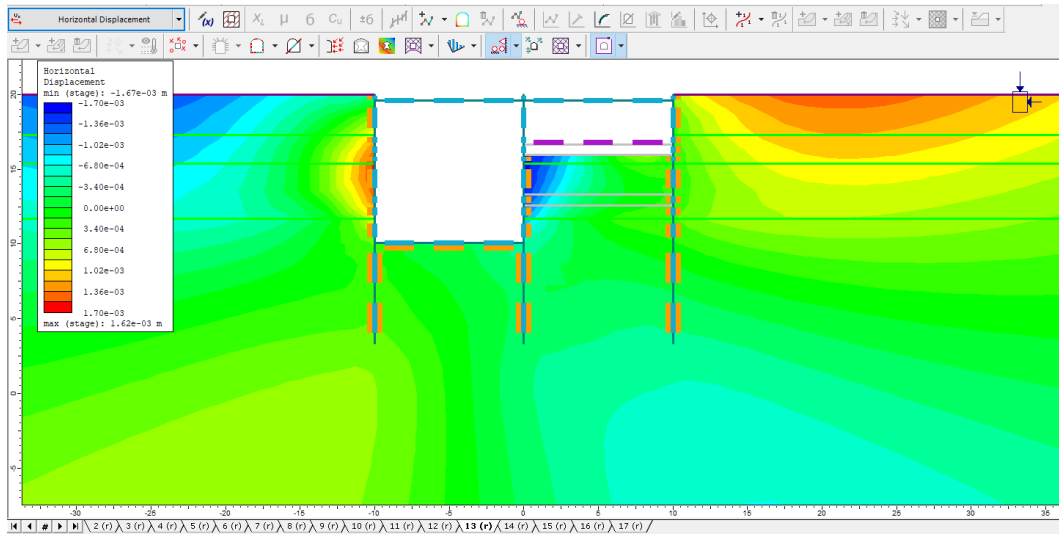
Σχήμα 5.17: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 9^ο στάδιο



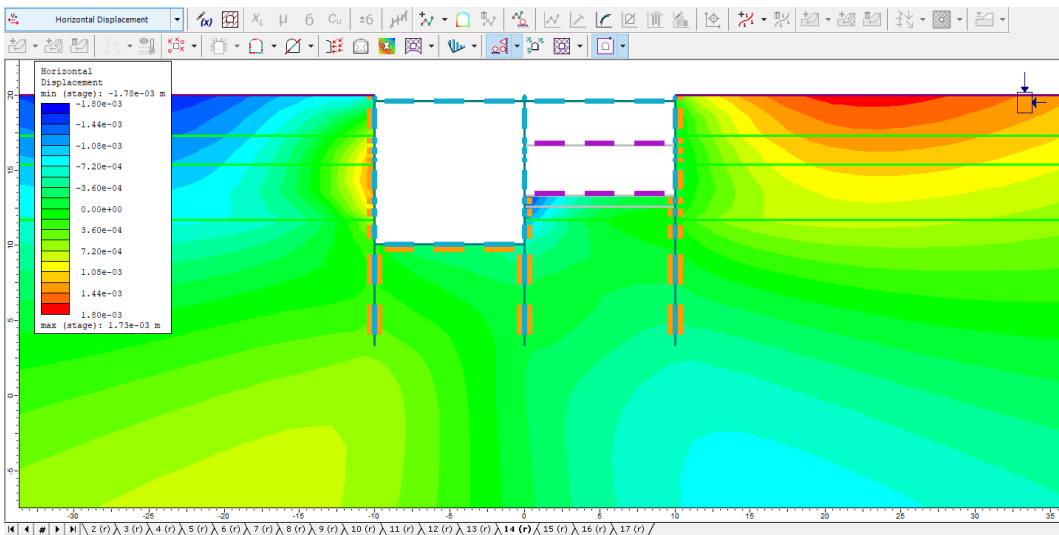
Σχήμα 5.18: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 10^ο στάδιο



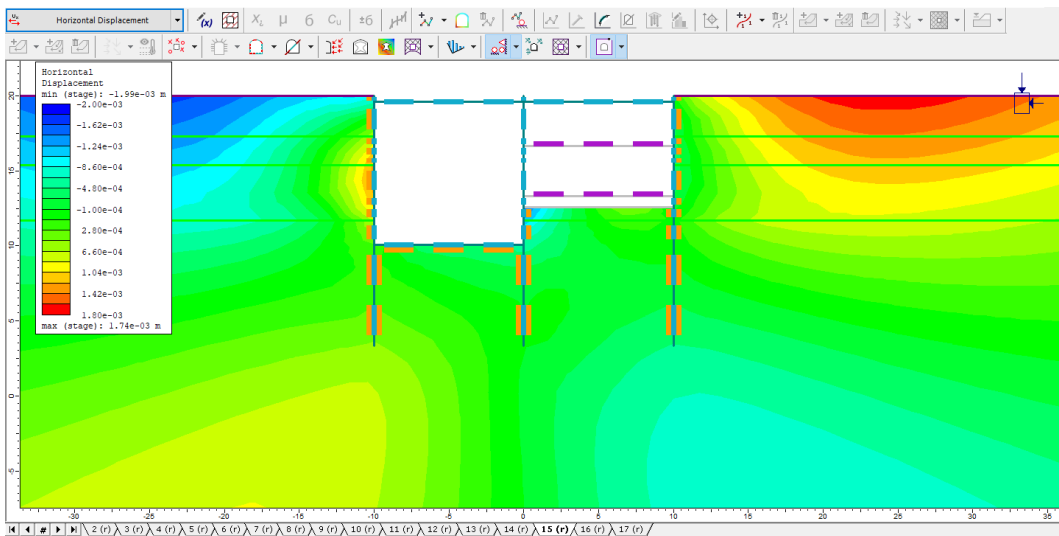
Σχήμα 5.19: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 11^ο στάδιο



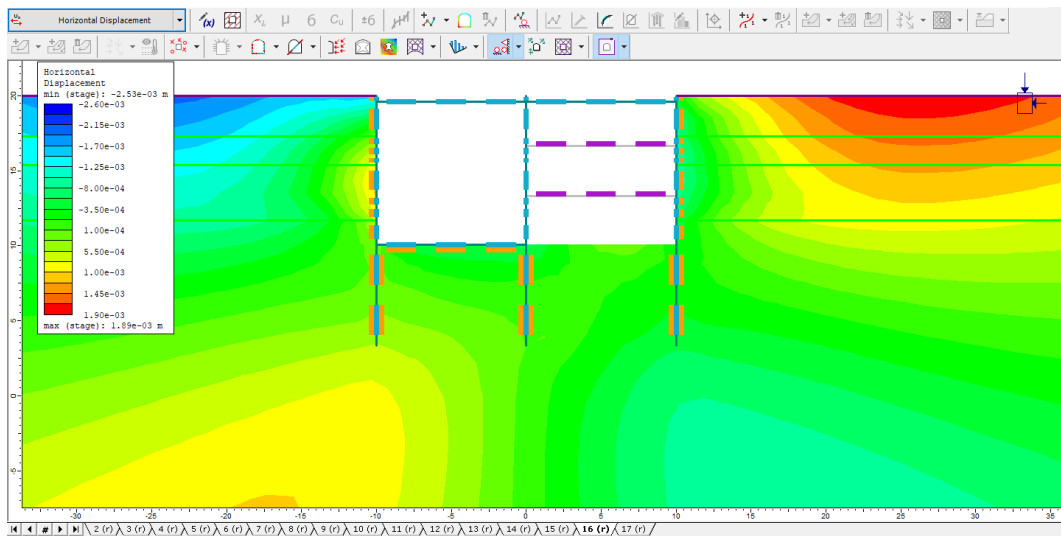
Σχήμα 5.20: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 12^ο στάδιο



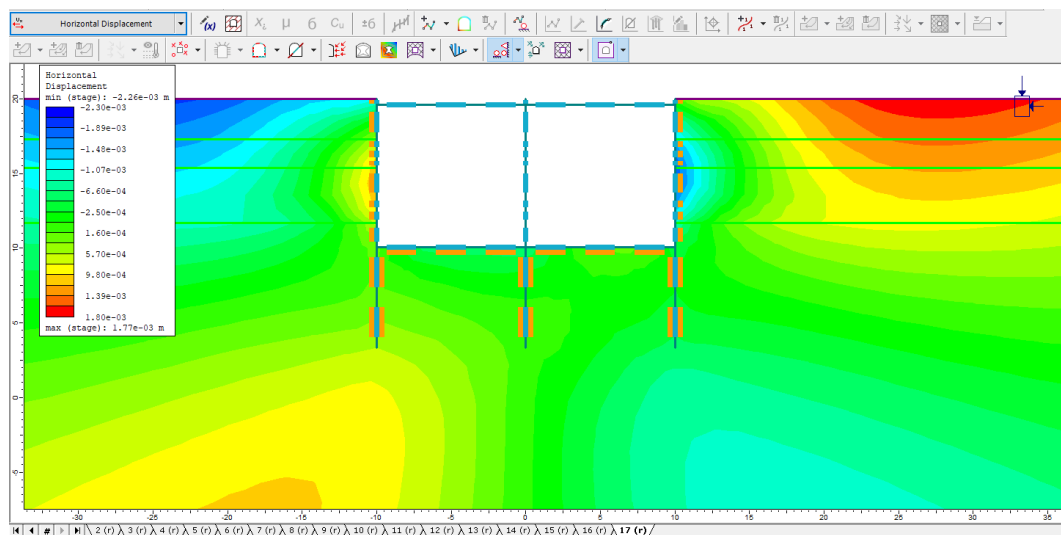
Σχήμα 5.21: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 13^ο στάδιο



Σχήμα 5.22: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 14^ο στάδιο



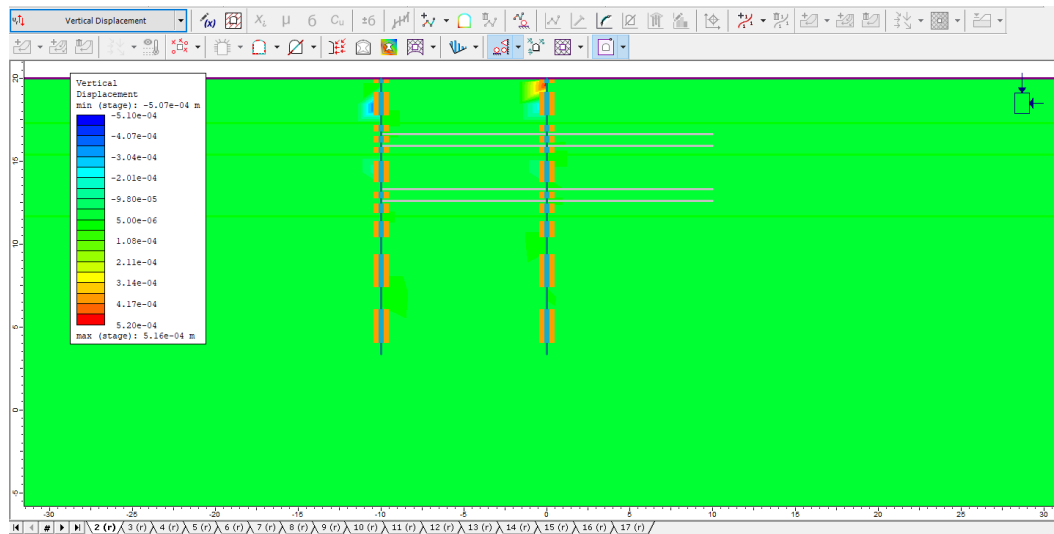
Σχήμα 5.23: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 15^ο στάδιο



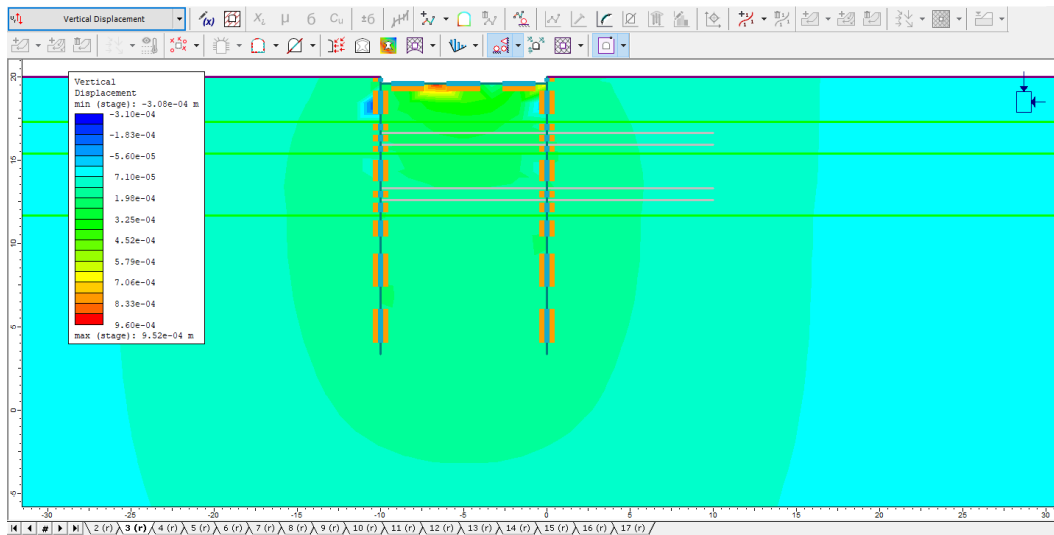
Σχήμα 5.24: Οριζόντιες μετατοπίσεις στο 16^ο στάδιο

Παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες οριζόντιες μετατοπίσεις εντοπίζονται στον δυτικό και κεντρικό διαφραγματικό τοίχο μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής της πλάκας δαπέδου. Επιπροσθέτως, κατά την κατασκευή του ανατολικού διαδρόμου, οι μέγιστες οριζόντιες μετατοπίσεις εντοπίζονται στο στάδιο 11 και 12, όπου τοποθετείται η αντηρίδα και συνεχίζεται η εκσκαφή. Τέλος, μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής, οι μεγαλύτερες οριζόντιες μετατοπίσεις εντοπίζονται στον δυτικό και ανατολικό διαφραγματικό τοίχο.

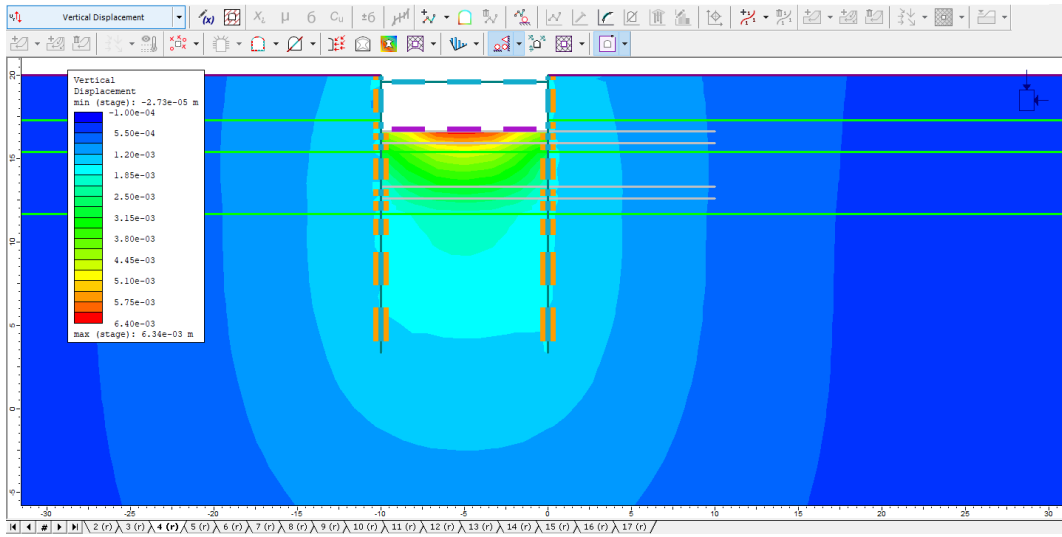
Κατακόρυφες μετατοπίσεις



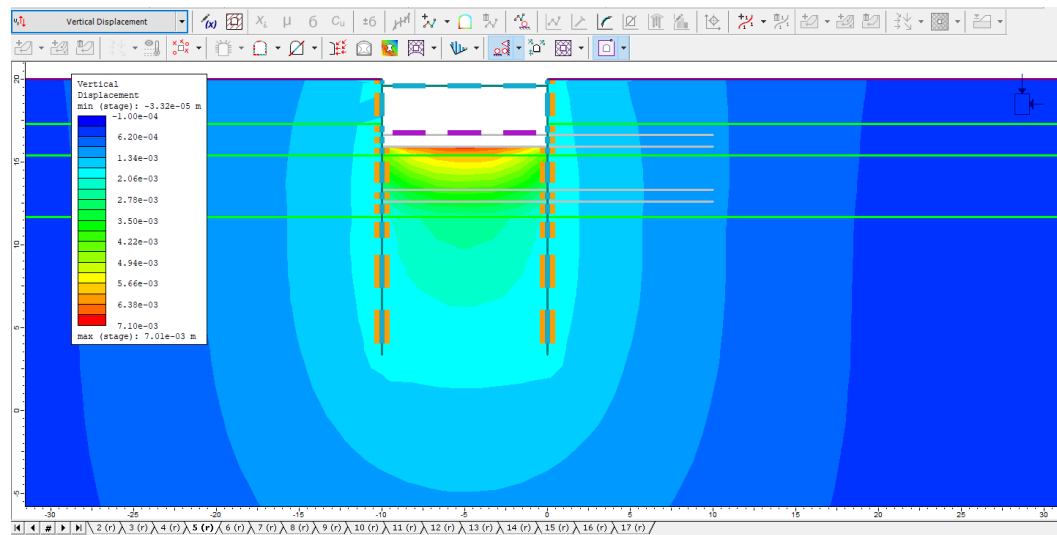
Σχήμα 5.25: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 1^ο στάδιο



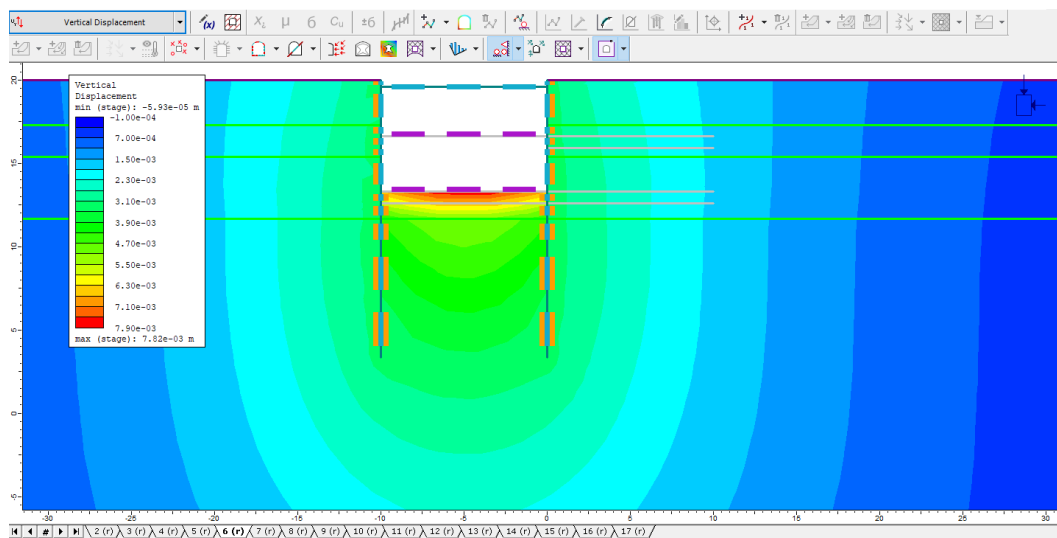
Σχήμα 5.26: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 2^ο στάδιο



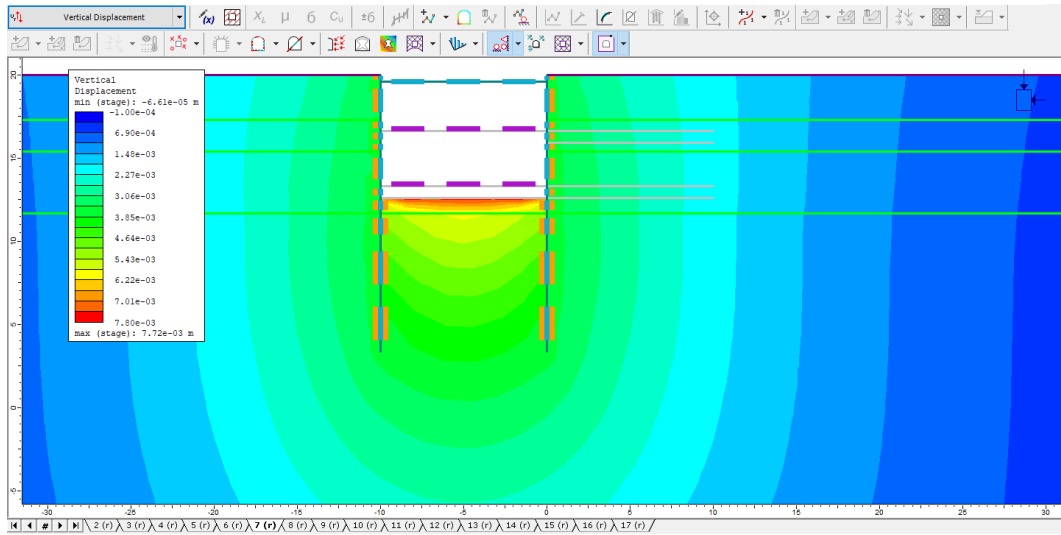
Σχήμα 5.27: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 3^ο στάδιο



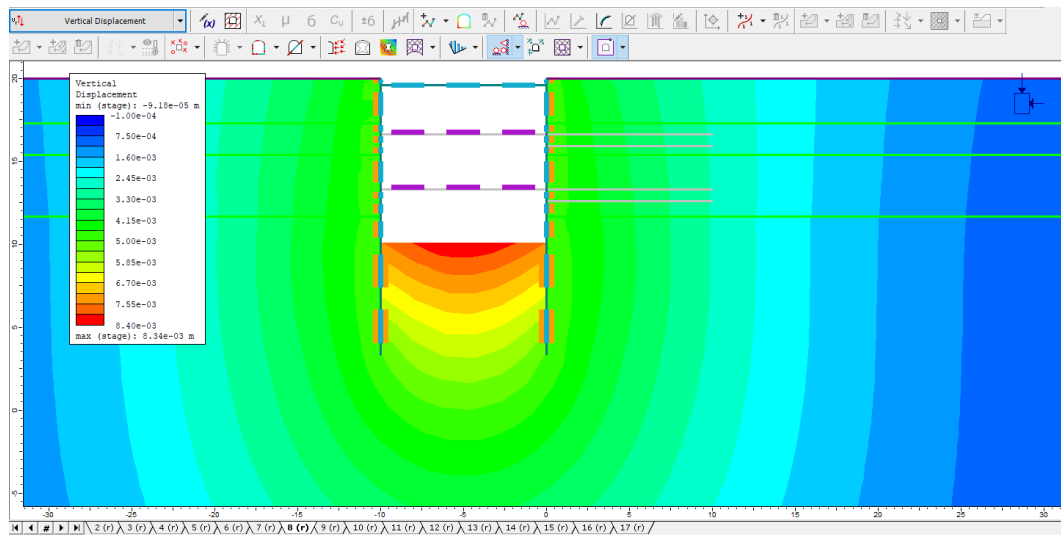
Σχήμα 5.28: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 4^ο στάδιο



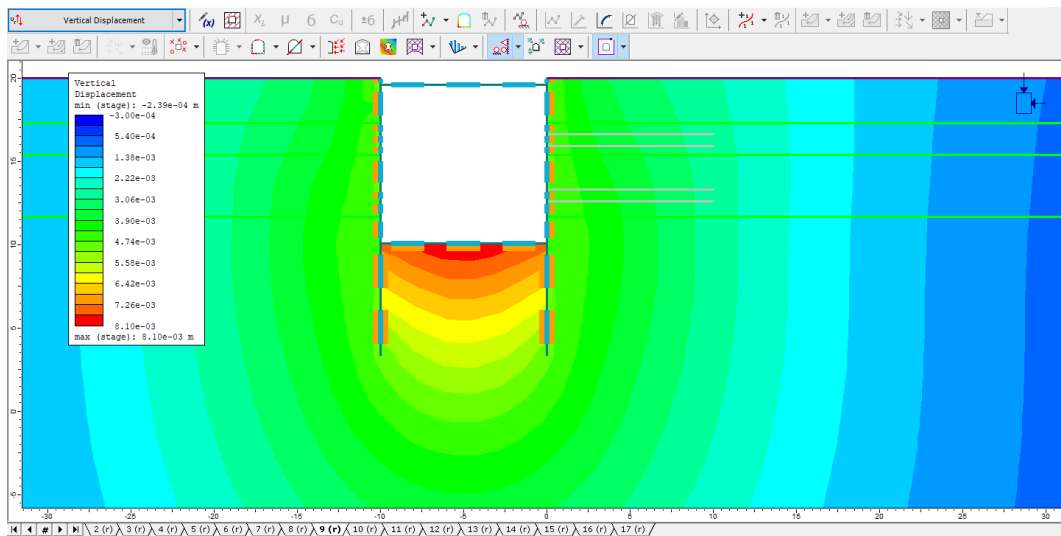
Σχήμα 5.29: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 5^ο στάδιο



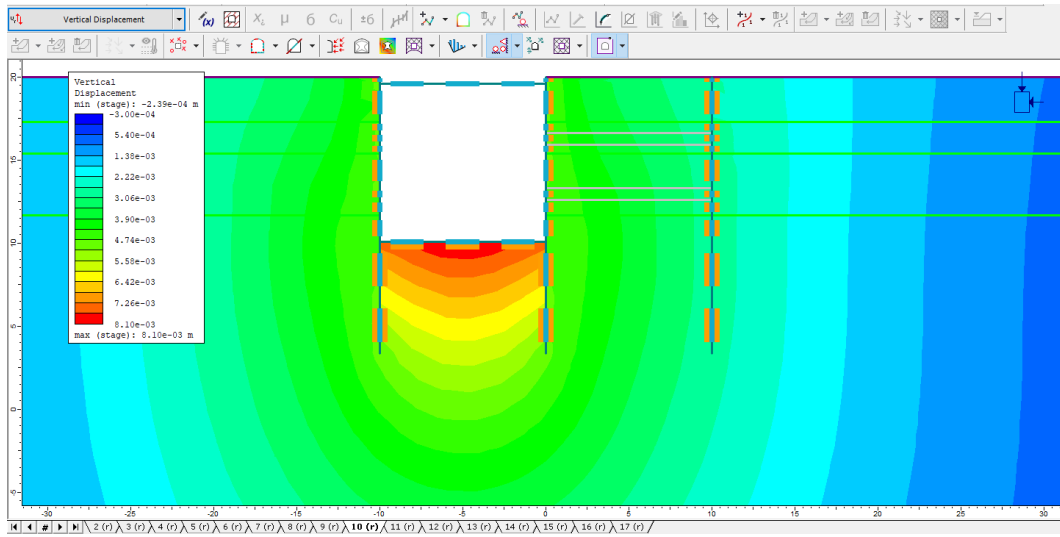
Σχήμα 5.30: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 6^ο στάδιο



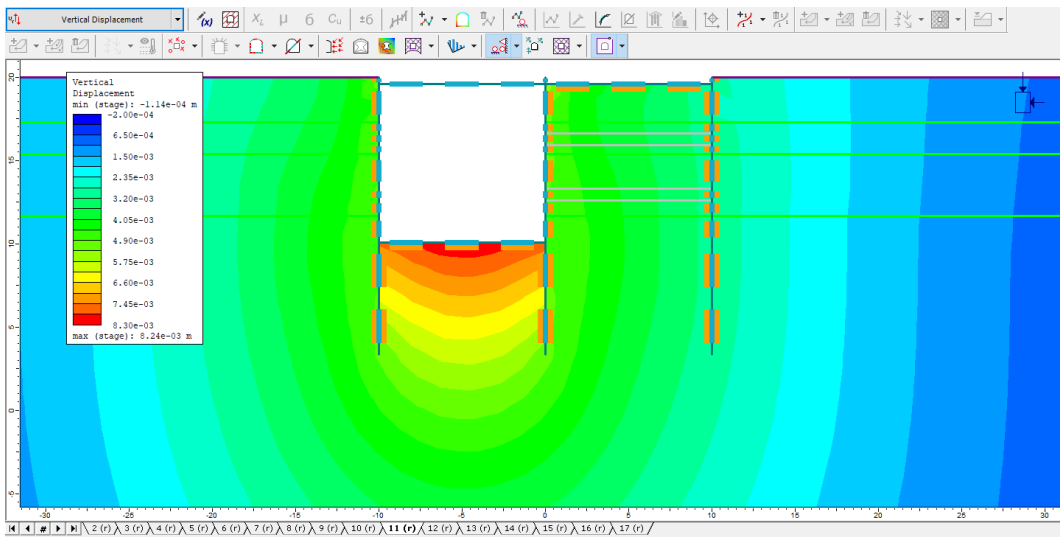
Σχήμα 5.31: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 7^ο στάδιο



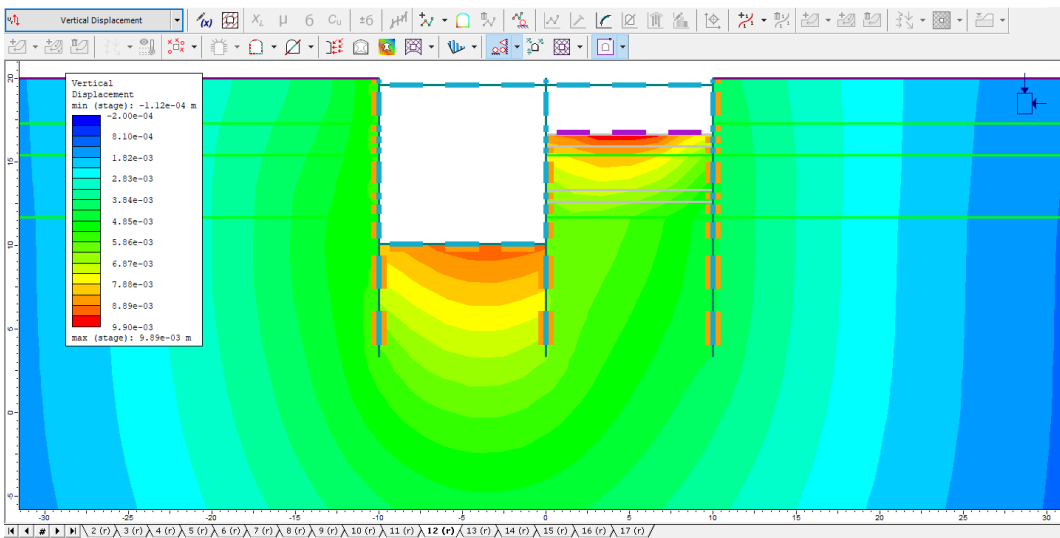
Σχήμα 5.32: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 8^ο στάδιο



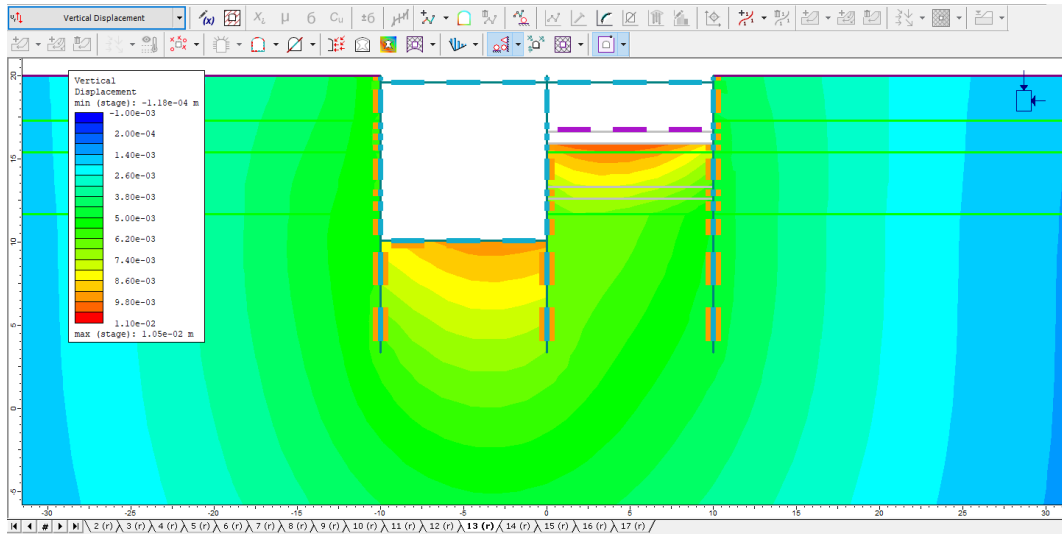
Σχήμα 5.33: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 9^ο στάδιο



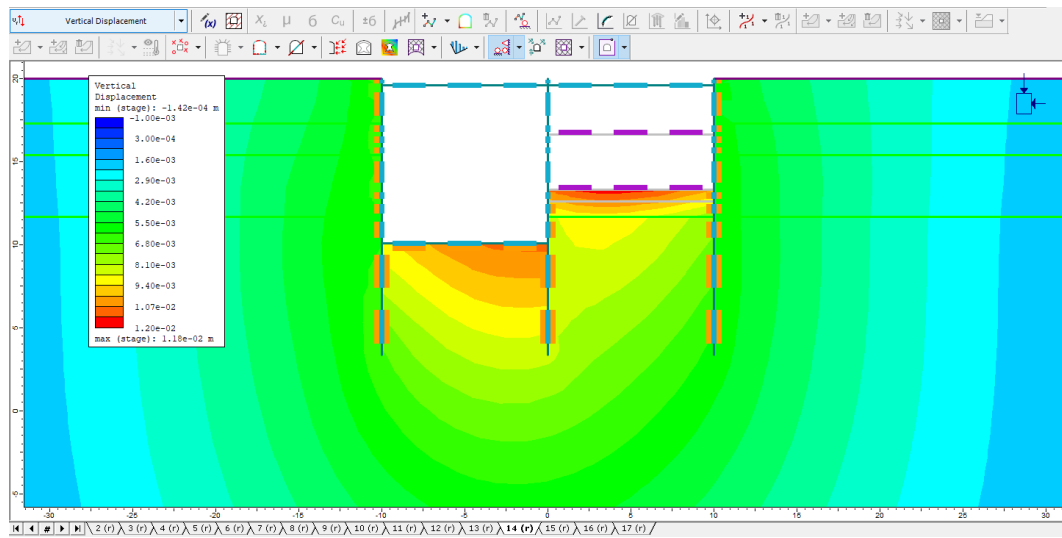
Σχήμα 5.34: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 10^ο στάδιο



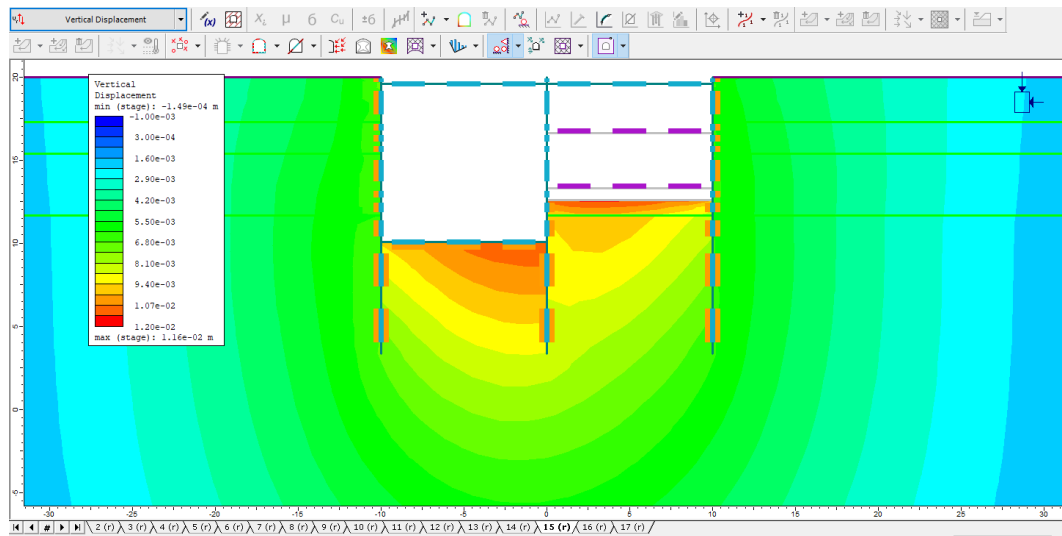
Σχήμα 5.35: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 11^ο στάδιο



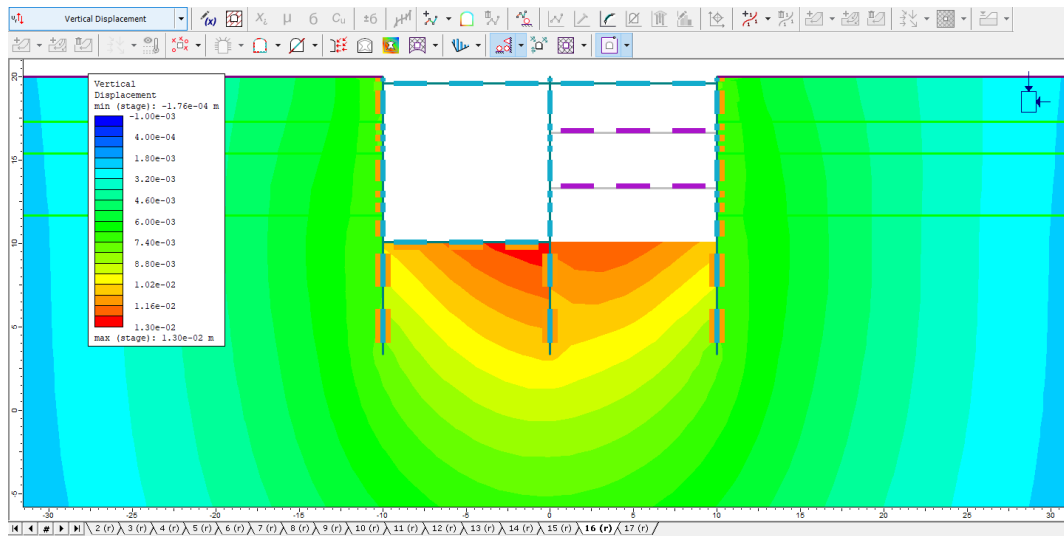
Σχήμα 5.36: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 12^ο στάδιο



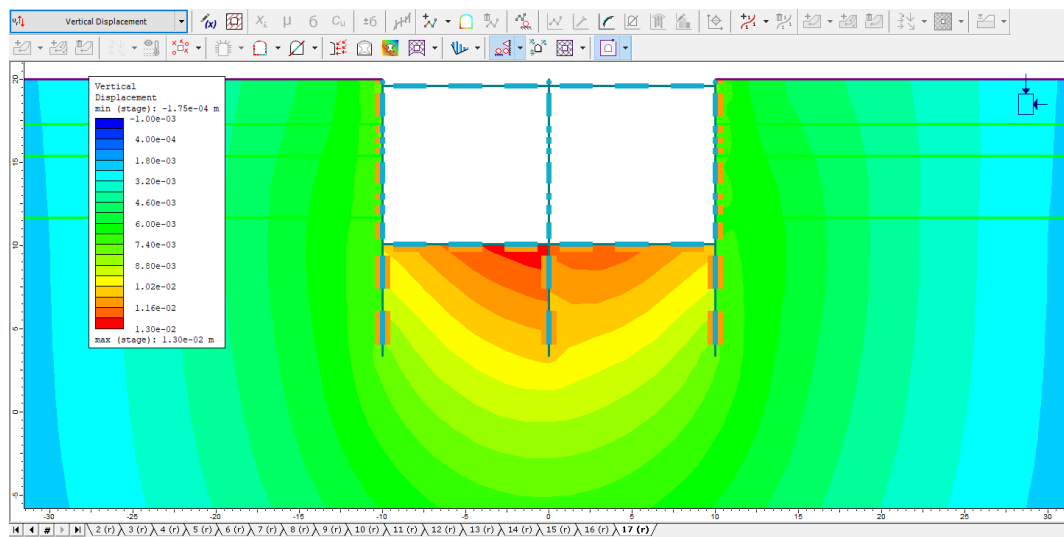
Σχήμα 5.37: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 13^ο στάδιο



Σχήμα 5.38: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 14^ο στάδιο



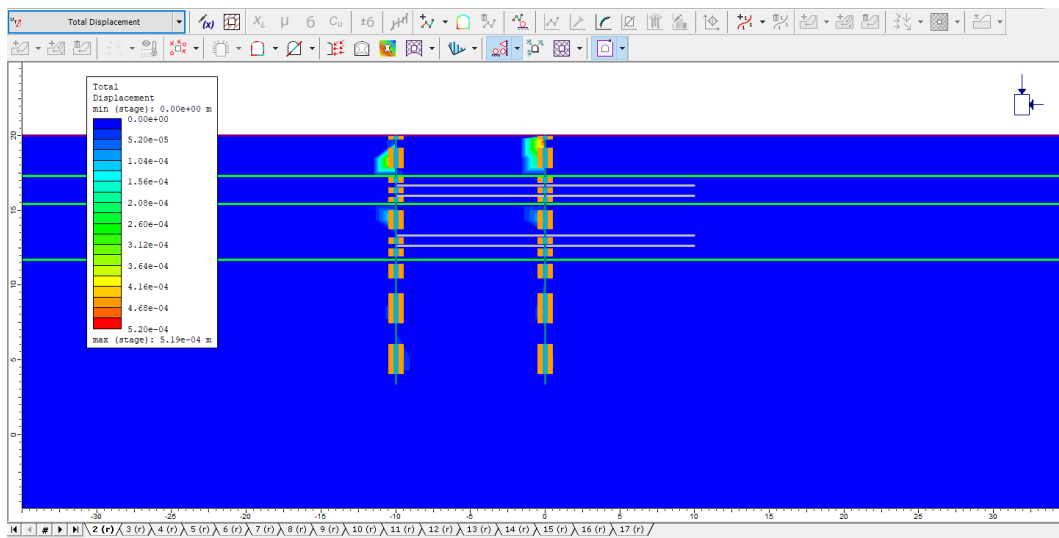
Σχήμα 5.39: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 15^ο στάδιο



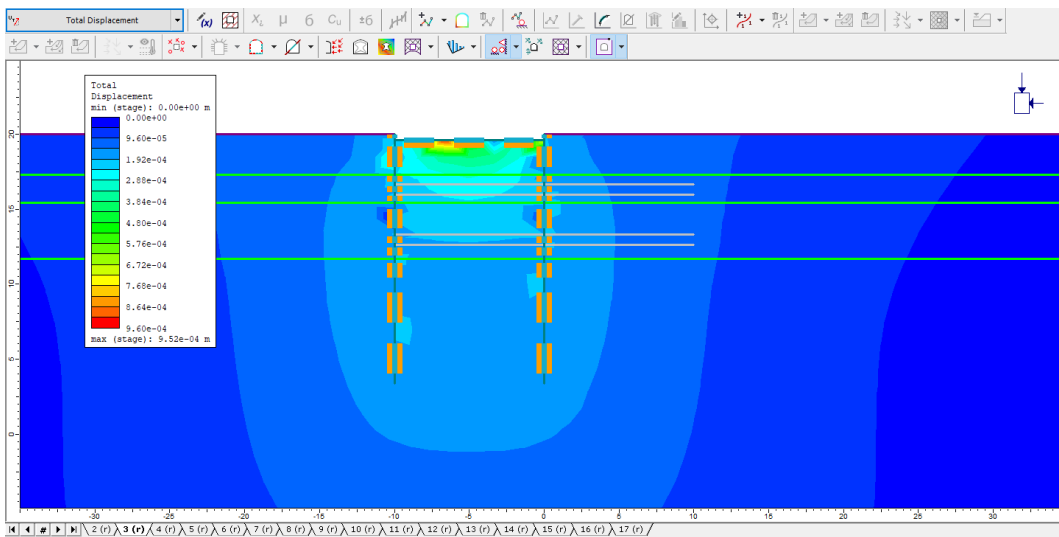
Σχήμα 5.40: Κατακόρυφες μετατοπίσεις στο 16^ο στάδιο

Οι κατακόρυφες μετατοπίσεις παρατηρούνται σε όλα τα στάδια που περιλαμβάνουν εκσκαφή, ωστόσο είναι μέγιστες στη κατώτερη εκσκαφή τόσο στον δυτικό όσο και στον ανατολικό διάδρομο, με τις μεγαλύτερες να είναι στο στάδιο πριν την κατασκευή της πλάκας δαπέδου. Παρόλα αυτά, και μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής, η μέγιστη κατακόρυφη μετατόπιση είναι τα 13 mm.

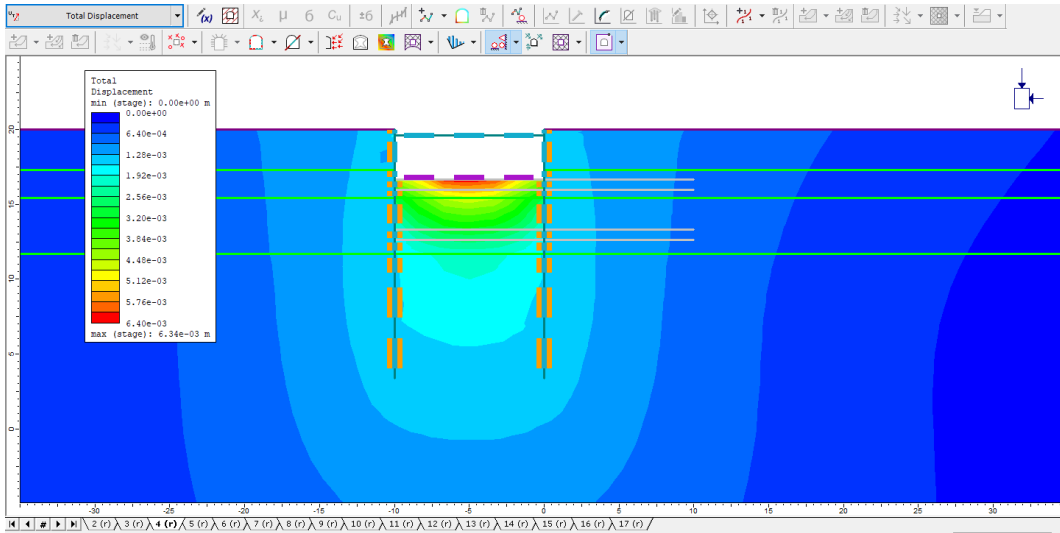
Ολικές μετατοπίσεις



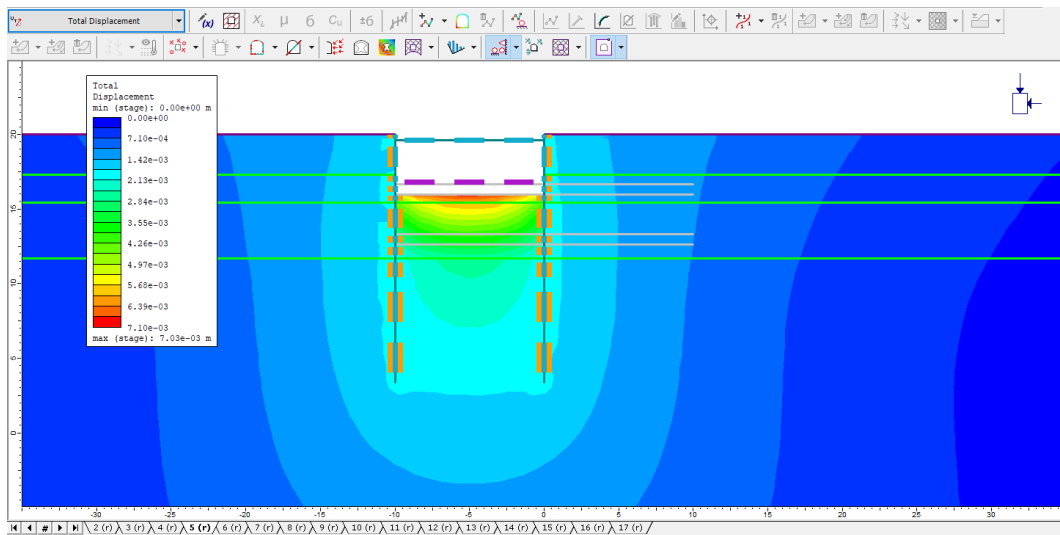
Σχήμα 5.41: Ολικές μετατοπίσεις στο 1^ο στάδιο



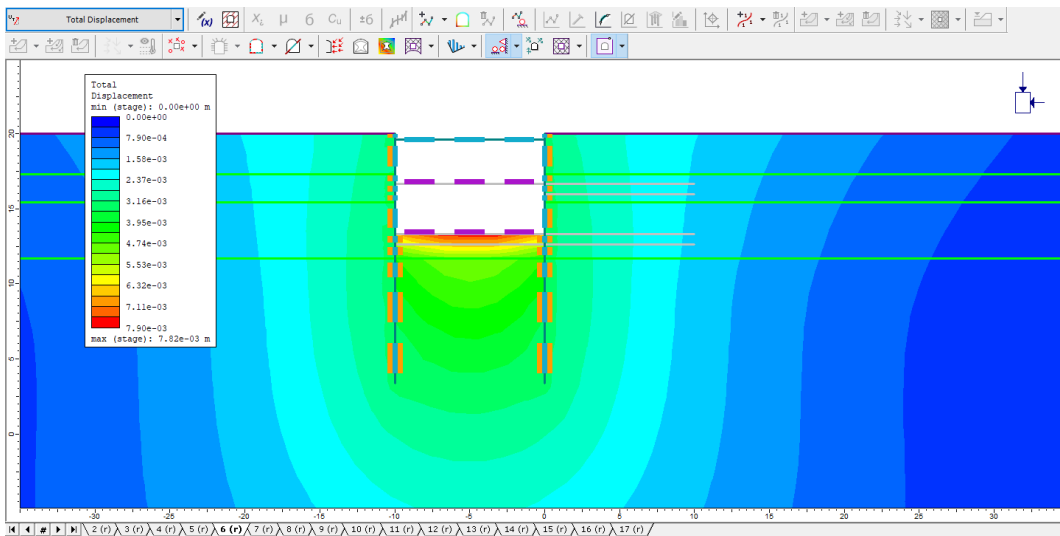
Σχήμα 5.42: Ολικές μετατοπίσεις στο 2^ο στάδιο



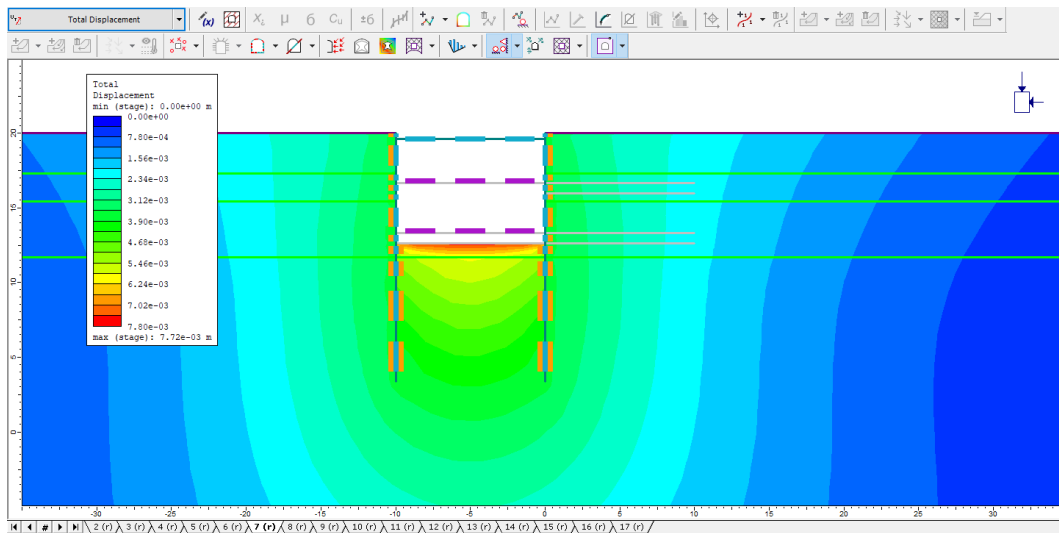
Σχήμα 5.43: Ολικές μετατοπίσεις στο 3^ο στάδιο



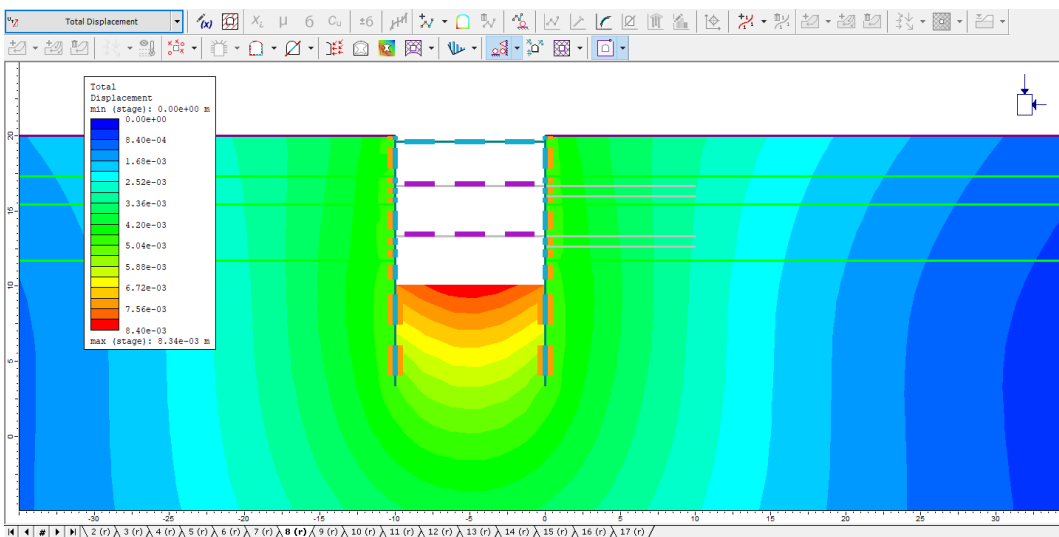
Σχήμα 5.44: Ολικές μετατοπίσεις στο 4^ο στάδιο



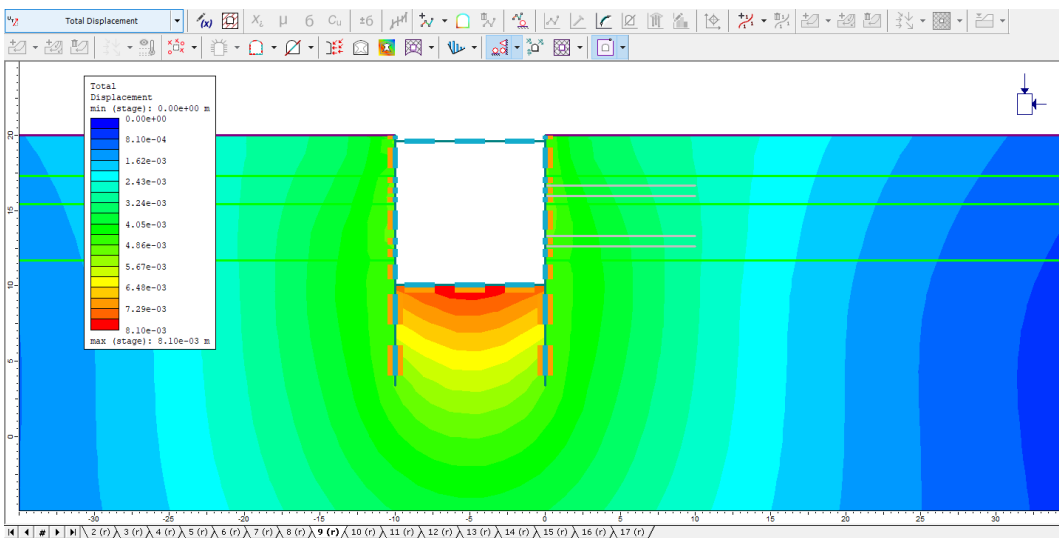
Σχήμα 5.45: Ολικές μετατοπίσεις στο 5^ο στάδιο



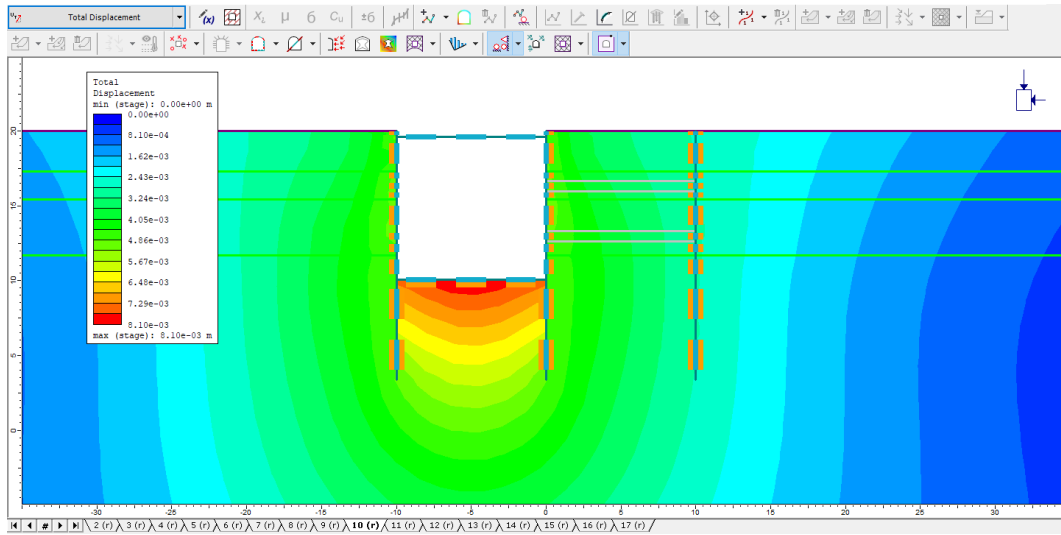
Σχήμα 5.46: Ολικές μετατοπίσεις στο 6^ο στάδιο



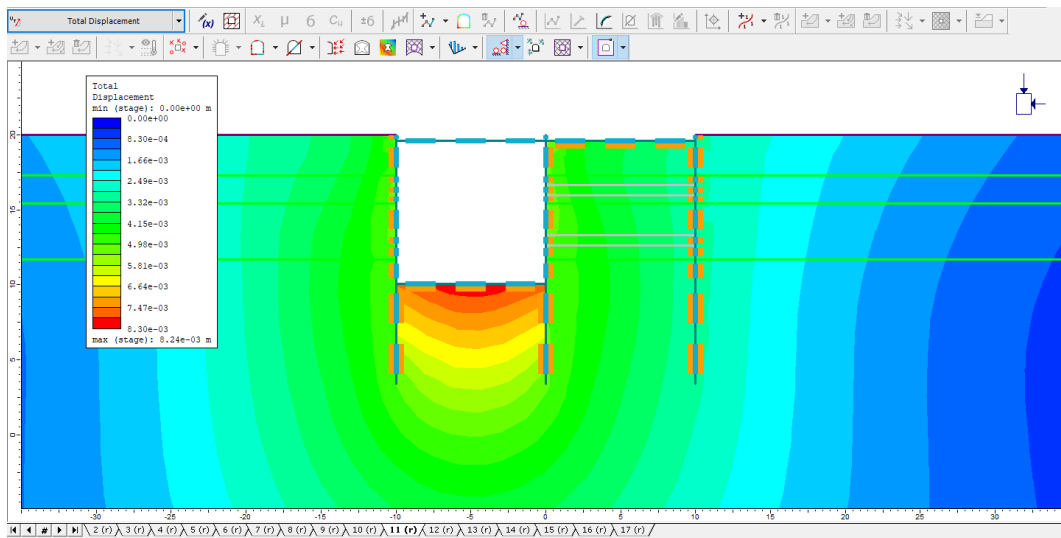
Σχήμα 5.47: Ολικές μετατοπίσεις στο 7^ο στάδιο



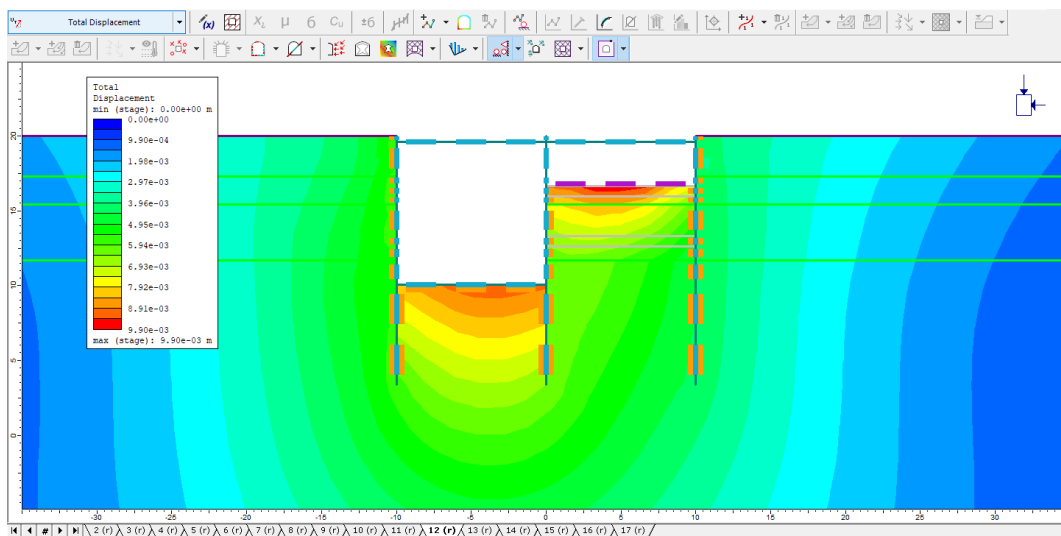
Σχήμα 5.48: Ολικές μετατοπίσεις στο 8^ο στάδιο



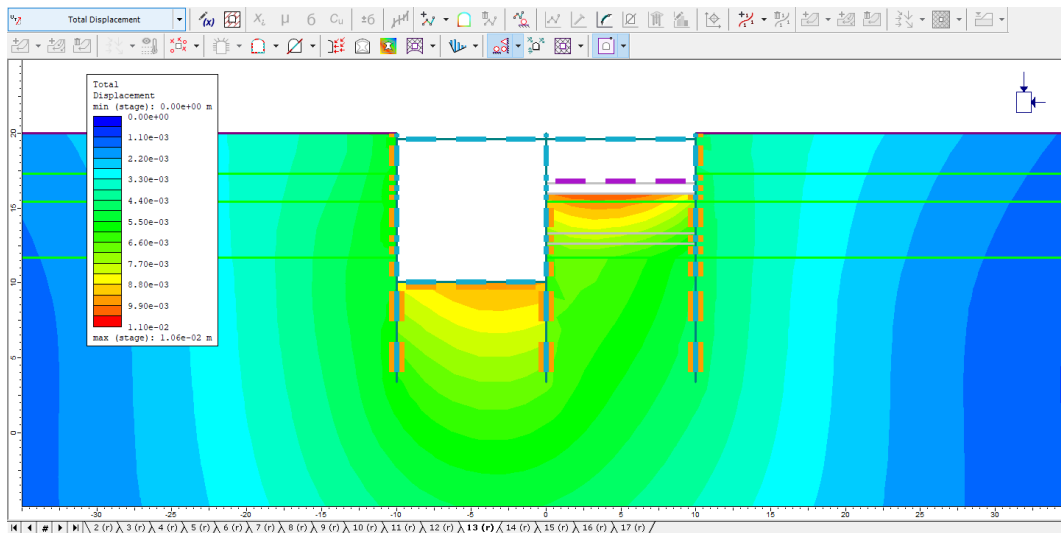
Σχήμα 5.49: Ολικές μετατοπίσεις στο 9^ο στάδιο



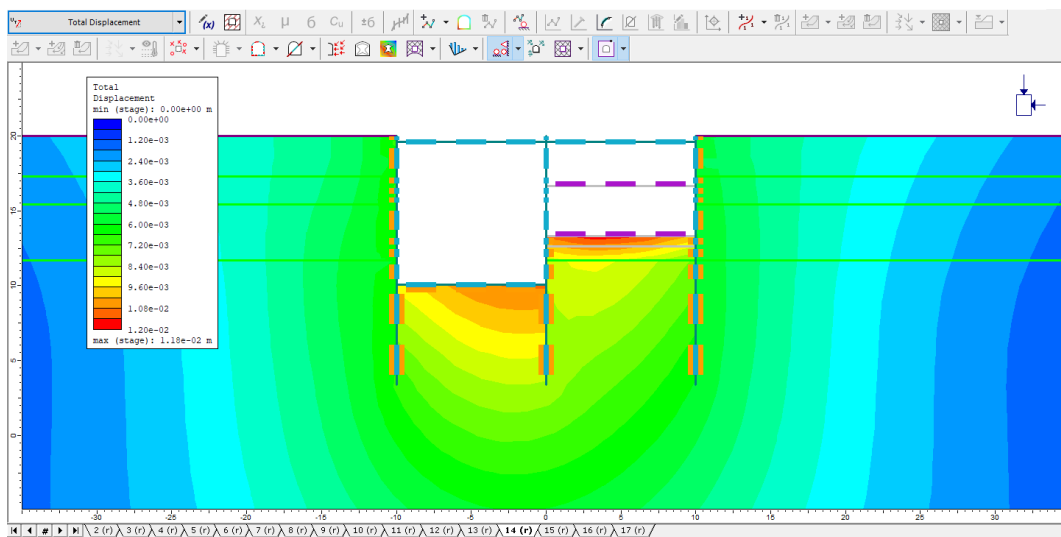
Σχήμα 5.50: Ολικές μετατοπίσεις στο 10^ο στάδιο



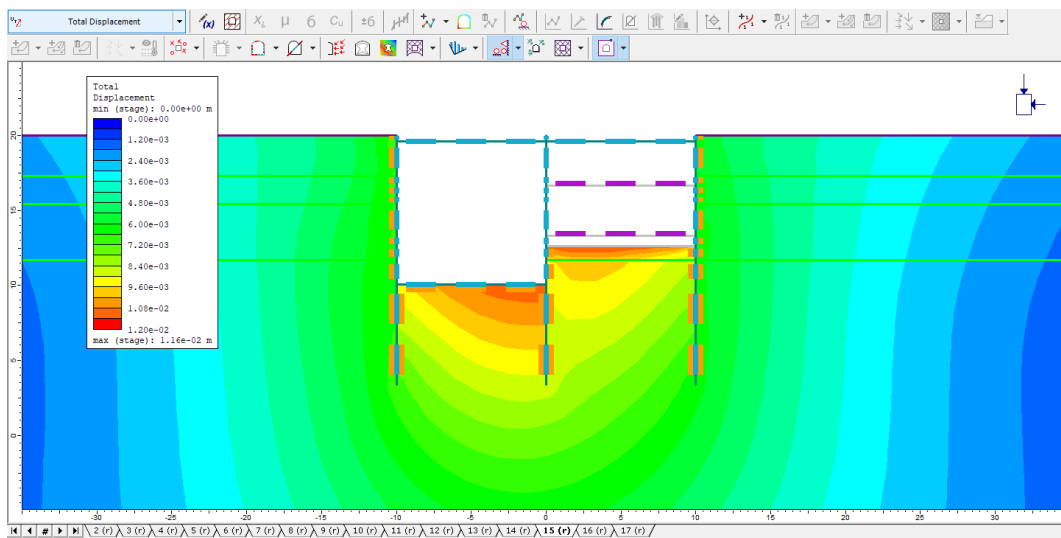
Σχήμα 5.51: Ολικές μετατοπίσεις στο 11^ο στάδιο



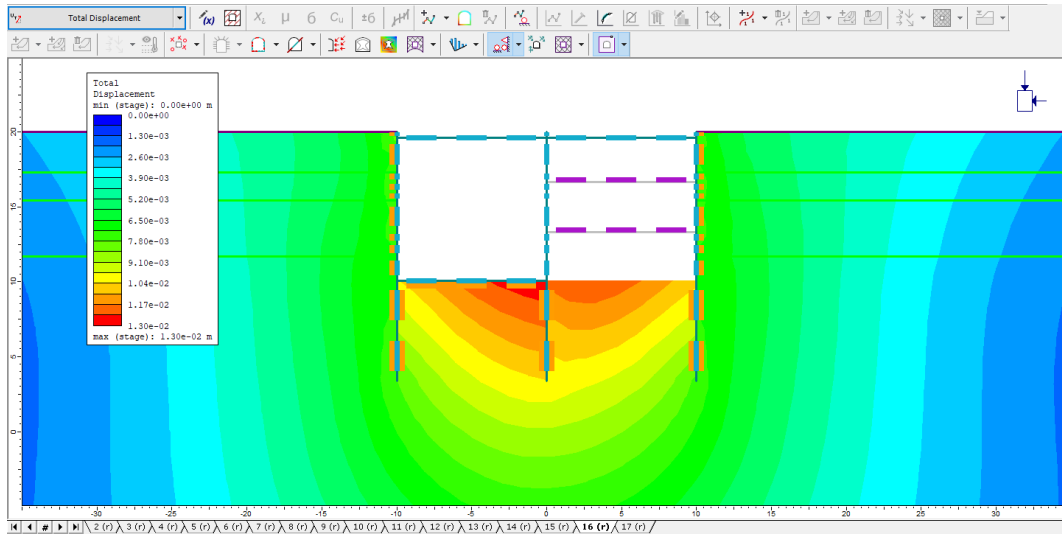
Σχήμα 5.52: Ολικές μετατοπίσεις στο 12^ο στάδιο



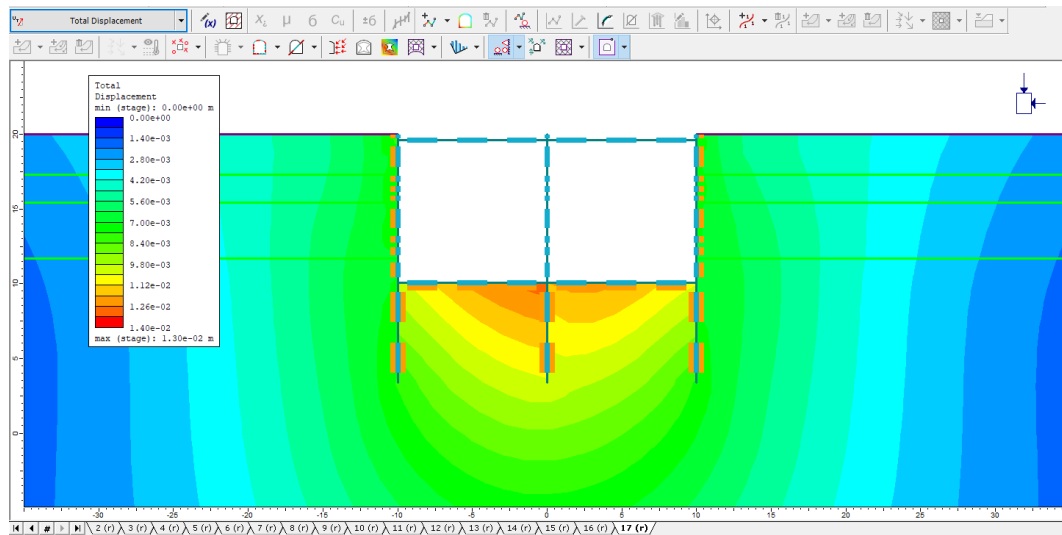
Σχήμα 5.53: Ολικές μετατοπίσεις στο 13^ο στάδιο



Σχήμα 5.54: Ολικές μετατοπίσεις στο 14^ο στάδιο



Σχήμα 5.55: Ολικές μετατοπίσεις στο 15^ο στάδιο

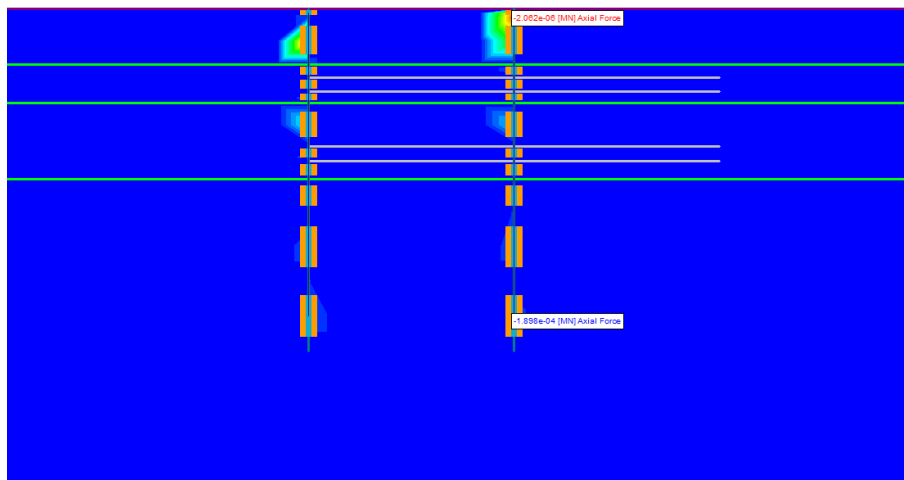


Σχήμα 5.56: Ολικές μετατοπίσεις στο 16^ο στάδιο

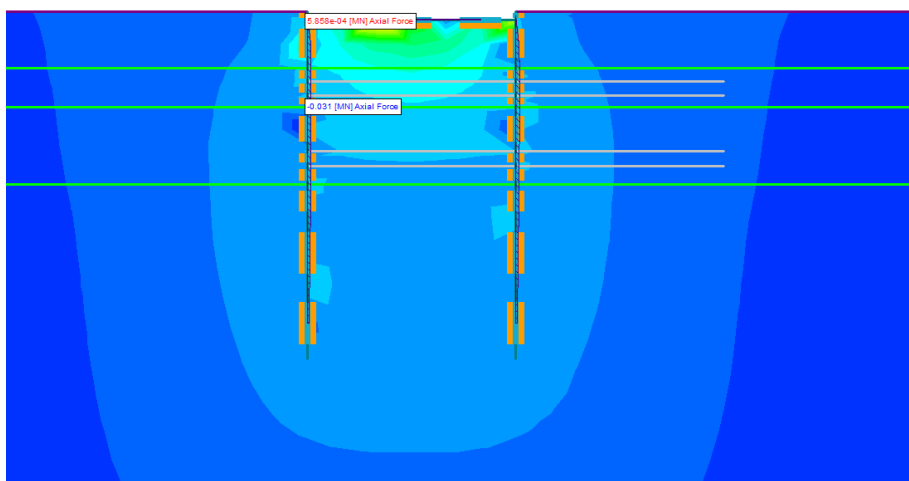
Οι ολικές μετατοπίσεις παρατηρούνται σε όλα τα στάδια της κατασκευής, ιδιαίτερα σε αυτά που περιλαμβάνουν εκσκαφή. Οι μέγιστες ολικές μετατοπίσεις εμφανίζονται στα στάδια εκσκαφής της πλάκας δαπέδου. Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής, η μέγιστη μετατόπιση είναι τα 13mm, η οποία ταυτίζεται με την κατακόρυφη μετατόπιση.

5.2.2. Εντατικά μεγέθη

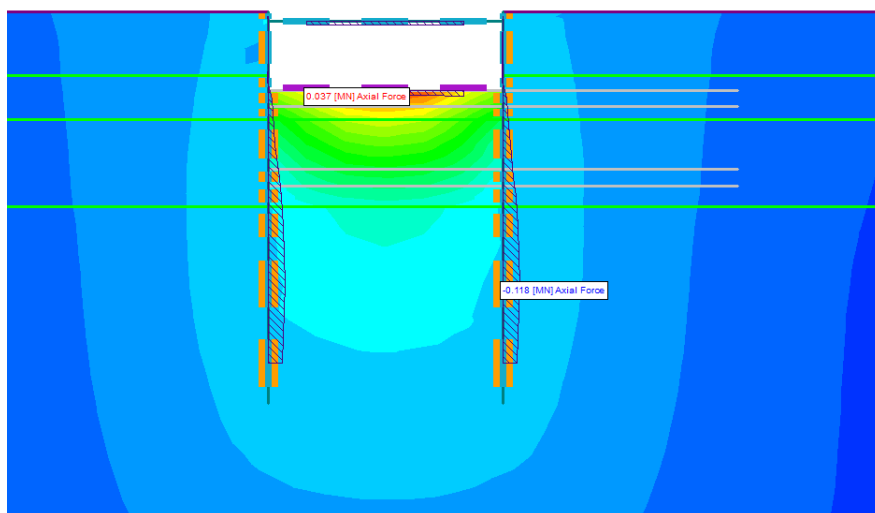
Αξονικές δυνάμεις



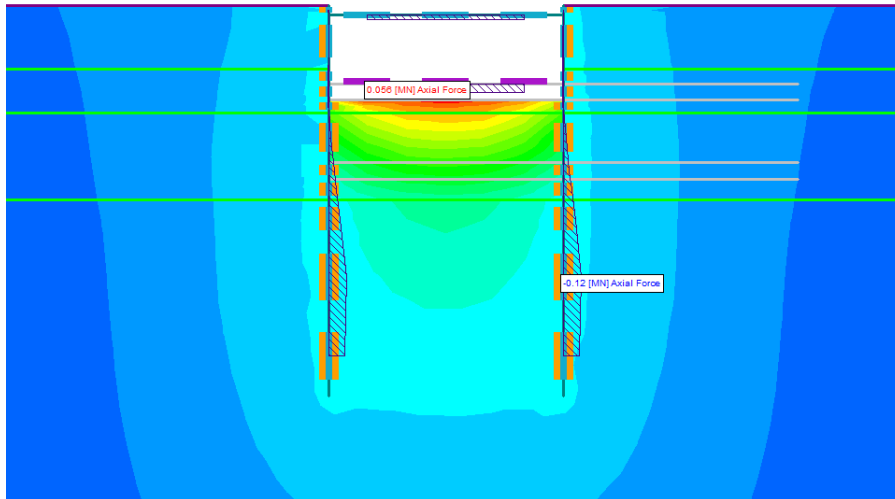
Σχήμα 5.57: Αξονικές δυνάμεις αντιστηρίξεων στο 1^ο στάδιο



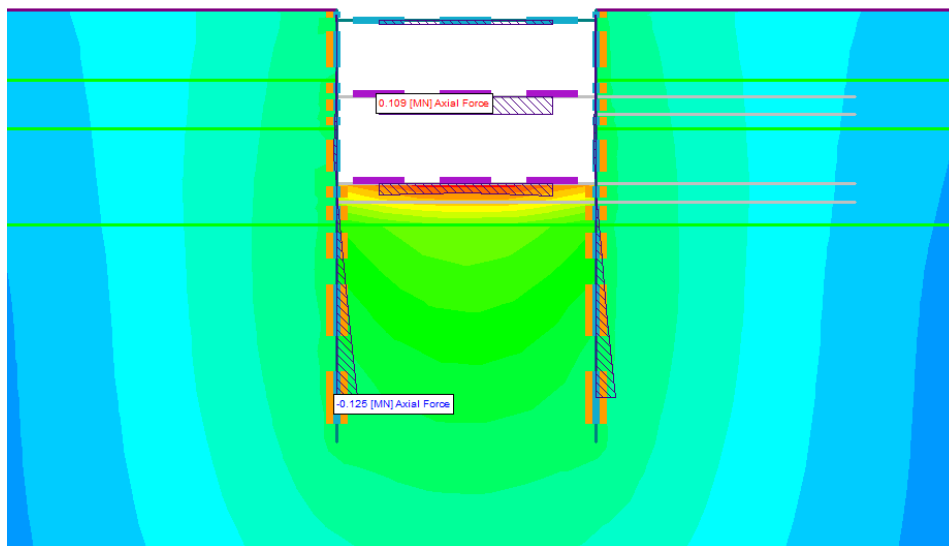
Σχήμα 5.58: Αξονικές δυνάμεις αντιστηρίξεων στο 2^ο στάδιο



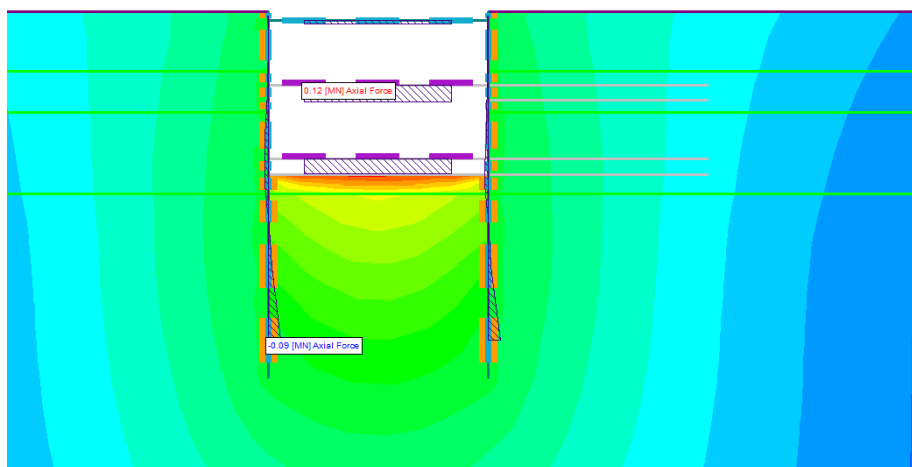
Σχήμα 5.59: Αξονικές δυνάμεις αντιστηρίξεων στο 3^ο στάδιο



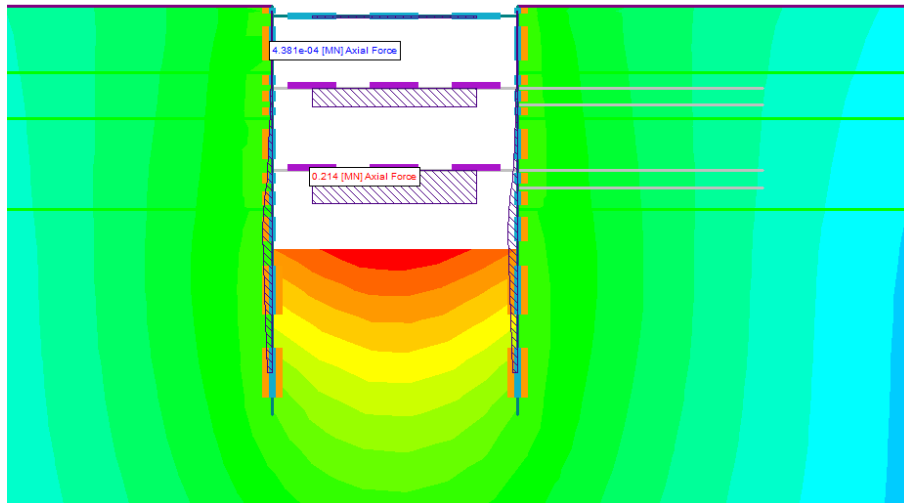
Σχήμα 5.60: Αξονικές δυνάμεις αντιστηρίξεων στο 4^ο στάδιο



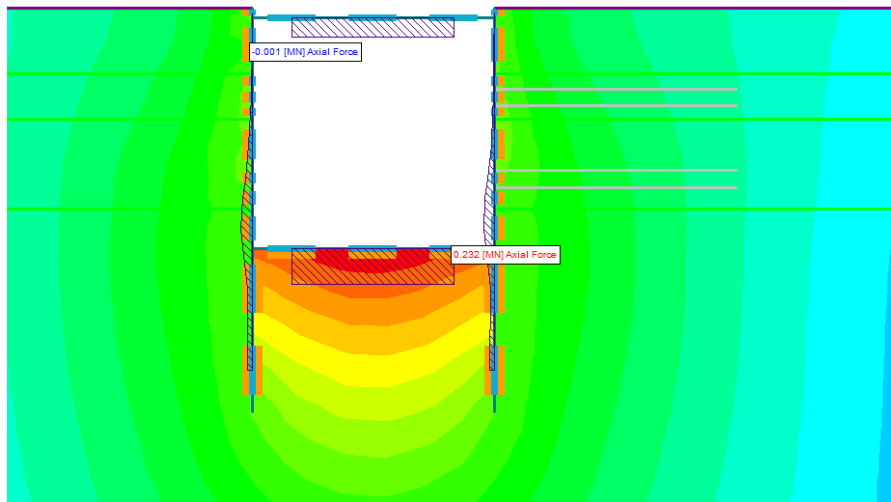
Σχήμα 5.61: Αξονικές δυνάμεις αντιστηρίξεων στο 5^ο στάδιο



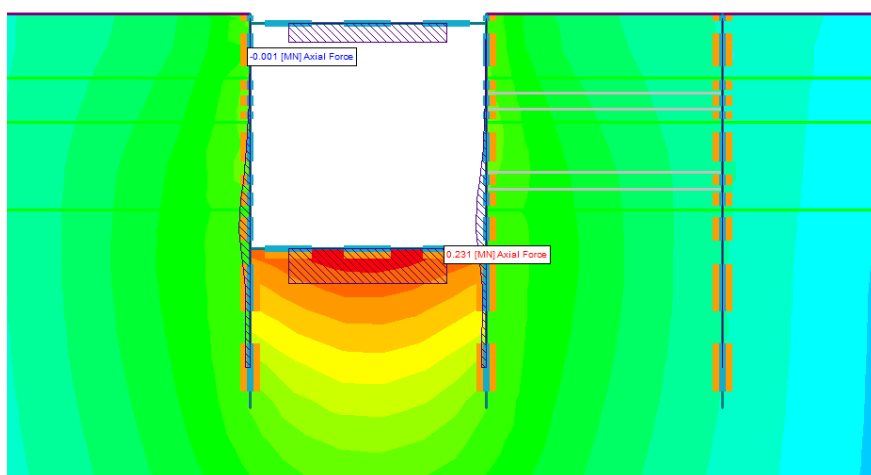
Σχήμα 5.62: Αξονικές δυνάμεις αντιστηρίξεων στο 6^ο στάδιο



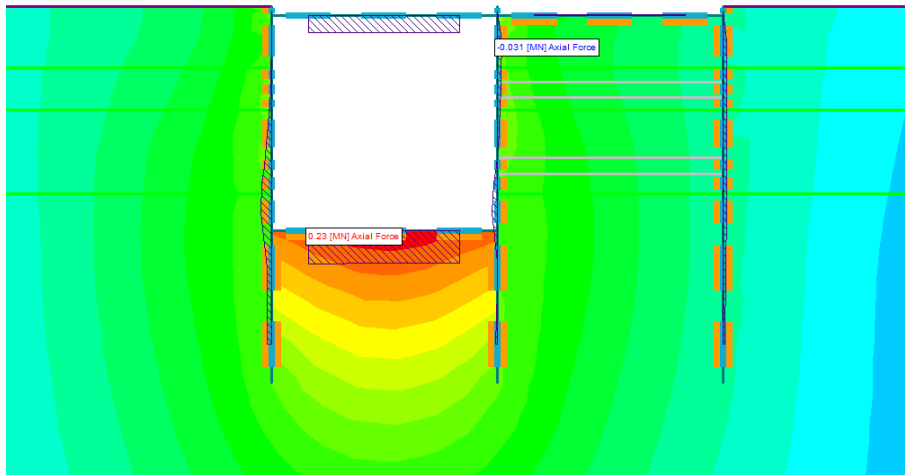
Σχήμα 5.63: Αξονικές δυνάμεις αντιστηρίξεων στο 7^ο στάδιο



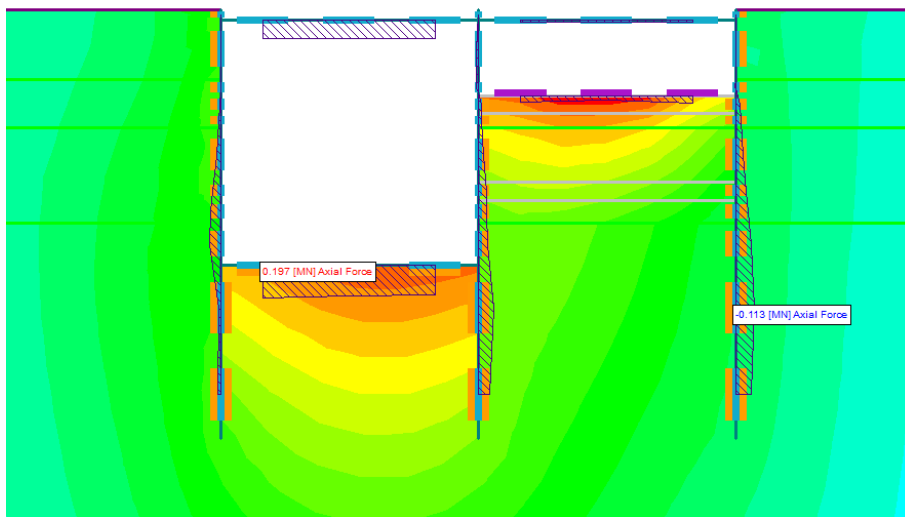
Σχήμα 5.64: Αξονικές δυνάμεις αντιστηρίξεων στο 8^ο στάδιο



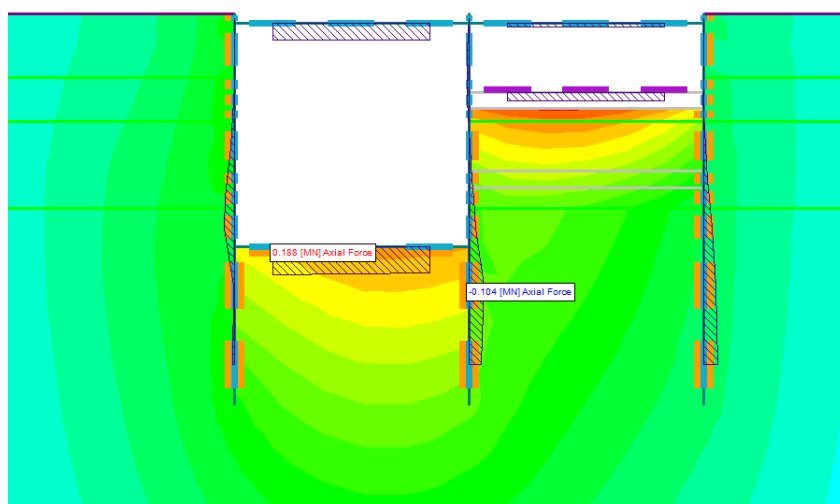
Σχήμα 5.65: Αξονικές δυνάμεις αντιστηρίξεων στο 9^ο στάδιο



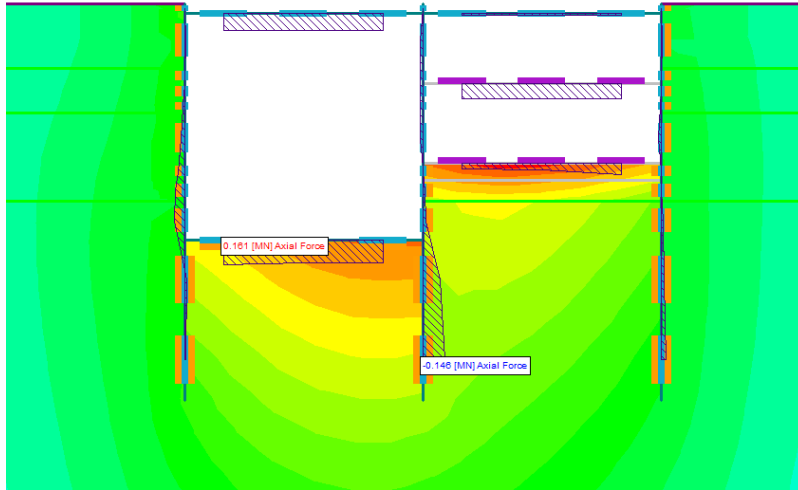
Σχήμα 5.66: Αξονικές δυνάμεις αντιστηρίξεων στο 10^ο στάδιο



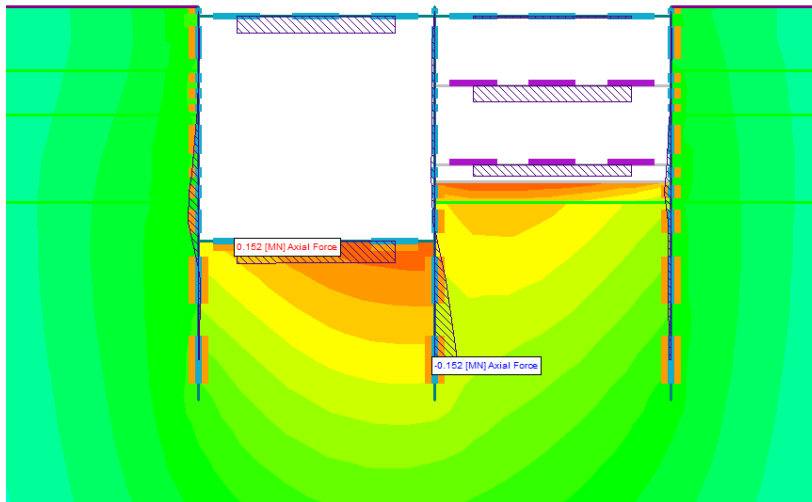
Σχήμα 5.67: Αξονικές δυνάμεις αντιστηρίξεων στο 11^ο στάδιο



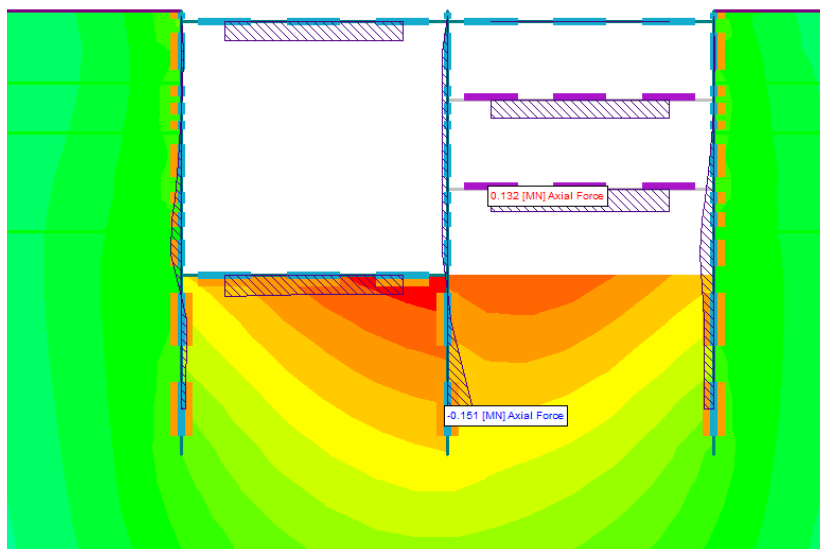
Σχήμα 5.68: Αξονικές δυνάμεις αντιστηρίξεων στο 12^ο στάδιο



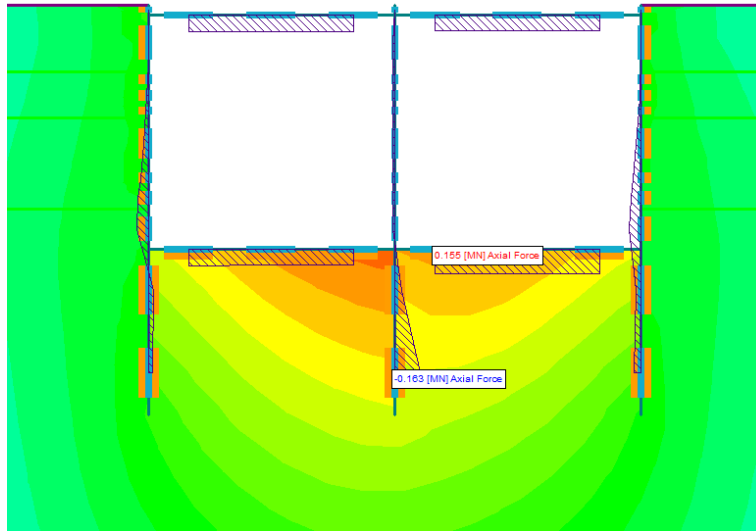
Σχήμα 5.69: Αξονικές δυνάμεις αντιστηρίξεων στο 13^ο στάδιο



Σχήμα 5.70: Αξονικές δυνάμεις αντιστηρίξεων στο 14^ο στάδιο



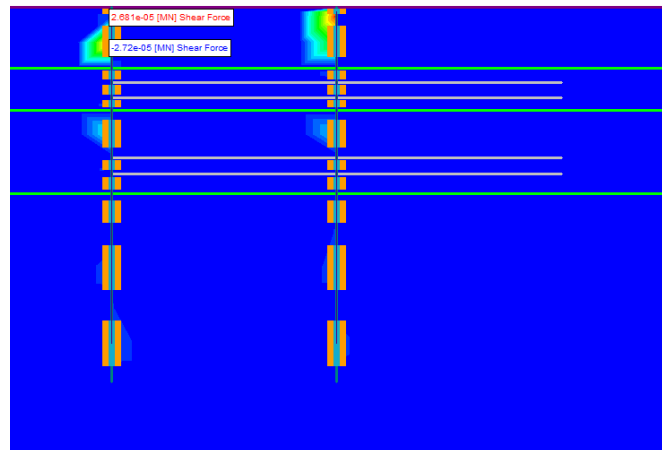
Σχήμα 5.71: Αξονικές δυνάμεις αντιστηρίξεων στο 15^ο στάδιο



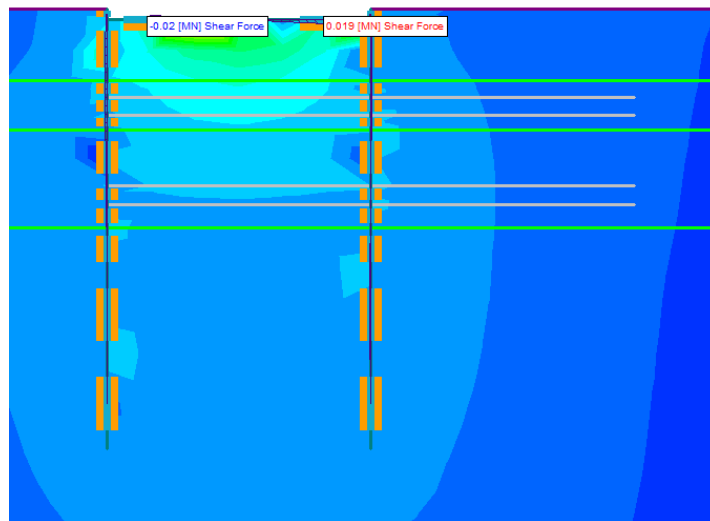
Σχήμα 5.72: Αξονικές δυνάμεις αντιστηρίξεων στο 16^ο στάδιο

Οι μεγαλύτερες φορτίσεις λόγω αξονικών δυνάμεων στα στοιχεία αντιστήριξης, παρατηρούνται κατά τη φάση εκσκαφής στη δεύτερη σειρά αντηρίδων. Με την ολοκλήρωση της εκσκαφής και την τοποθέτηση της πλάκας δαπέδου, οι αξονικές δυνάμεις της αντηρίδας μεταφέρονται σε αυτή.

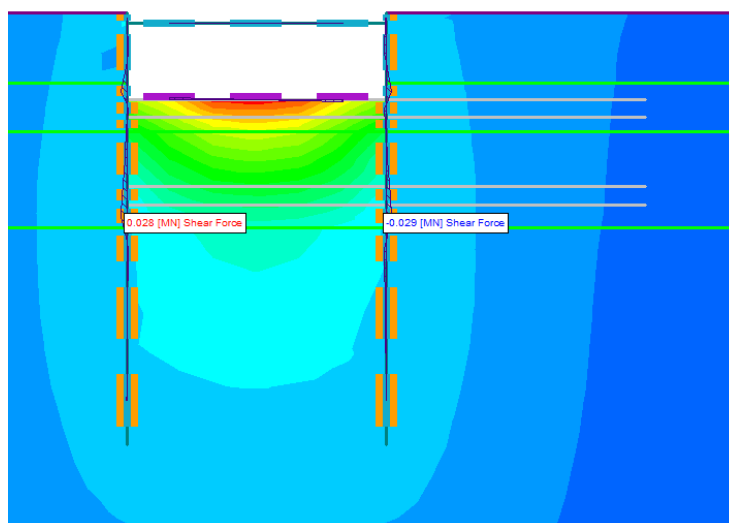
Τέμνουσα δύναμη



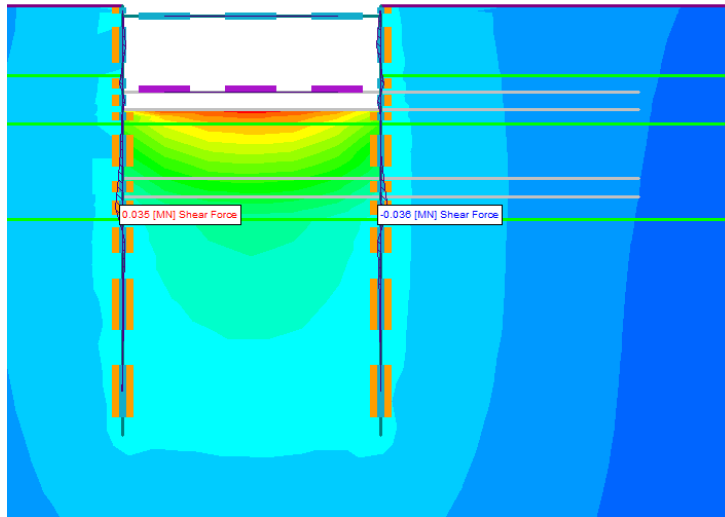
Σχήμα 5.73: Τέμνουσα δύναμη αντιστηρίξεων στο 1^ο στάδιο



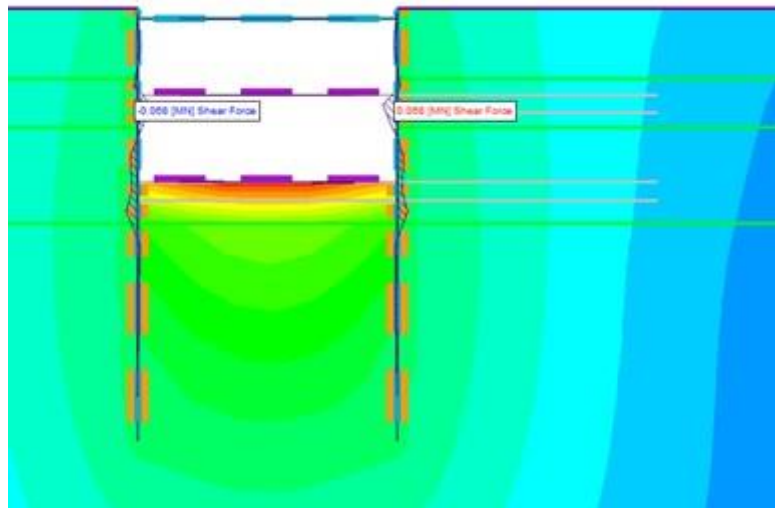
Σχήμα 5.74: Τέμνουσα δύναμη αντιστηρίξεων στο 2^ο στάδιο



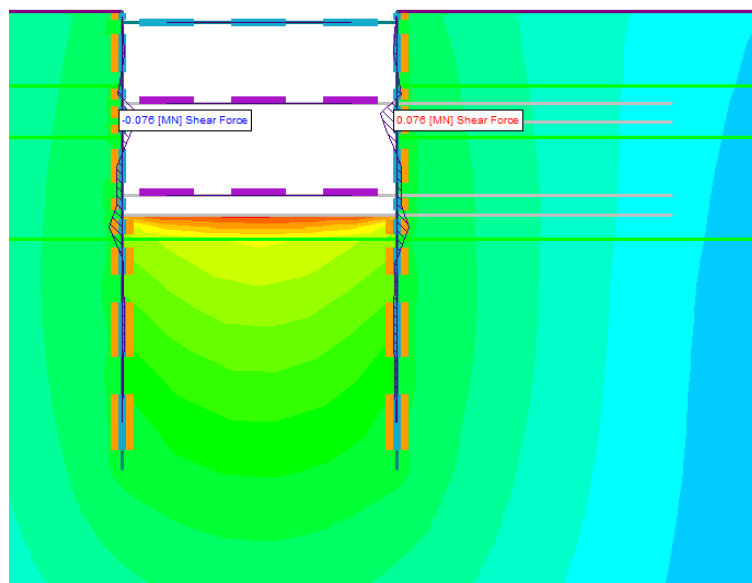
Σχήμα 5.75: Τέμνουσα δύναμη αντιστηρίξεων στο 3^ο στάδιο



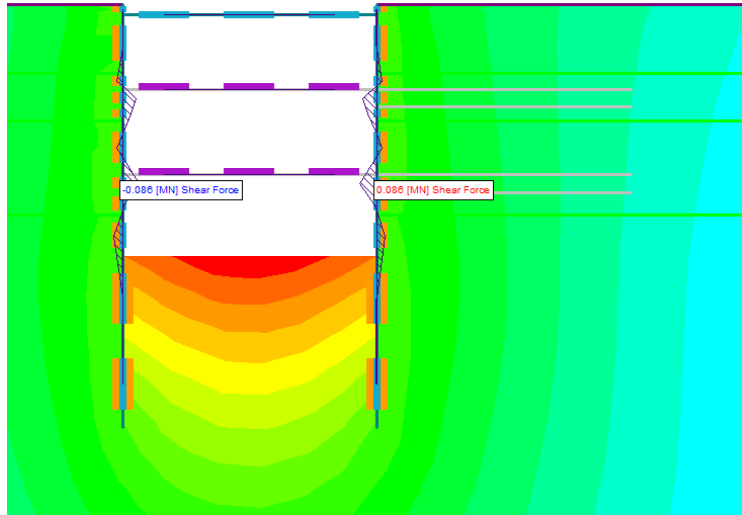
Σχήμα 5.76: Τέμνουσα δύναμη αντιστηρίξεων στο 4^ο στάδιο



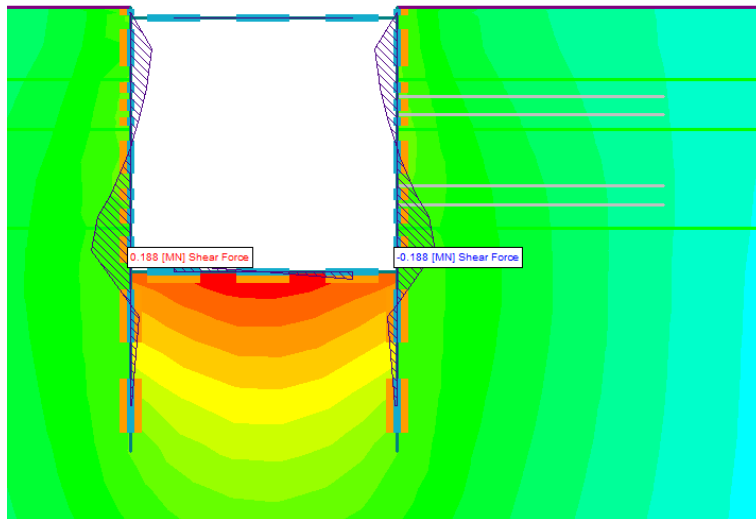
Σχήμα 5.77: Τέμνουσα δύναμη αντιστηρίξεων στο 5^ο στάδιο



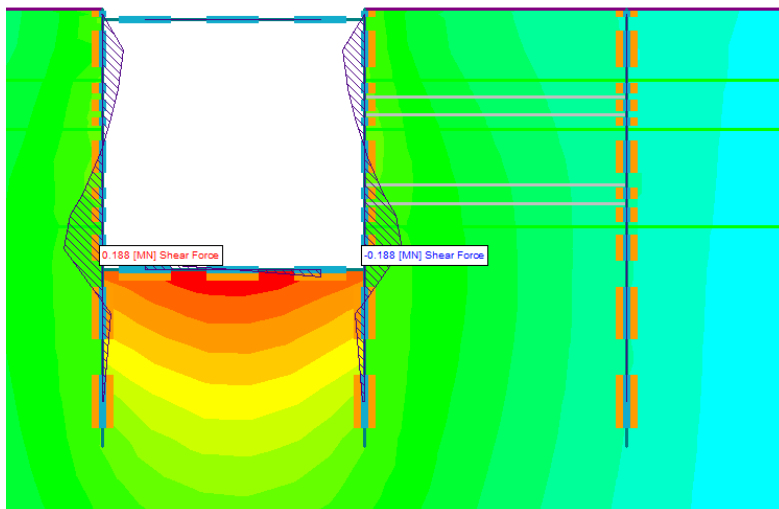
Σχήμα 5.78: Τέμνουσα δύναμη αντιστηρίξεων στο 6^ο στάδιο



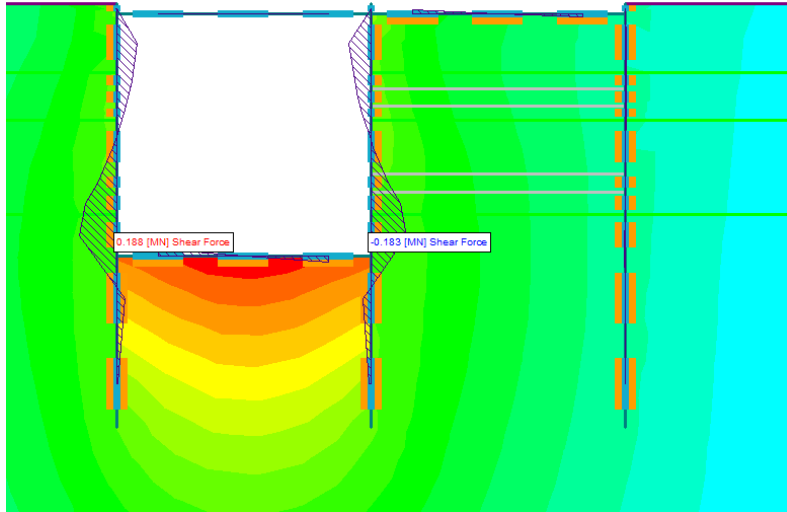
Σχήμα 5.79: Τέμνουσα δύναμη αντιστηρίξεων στο 7^ο στάδιο



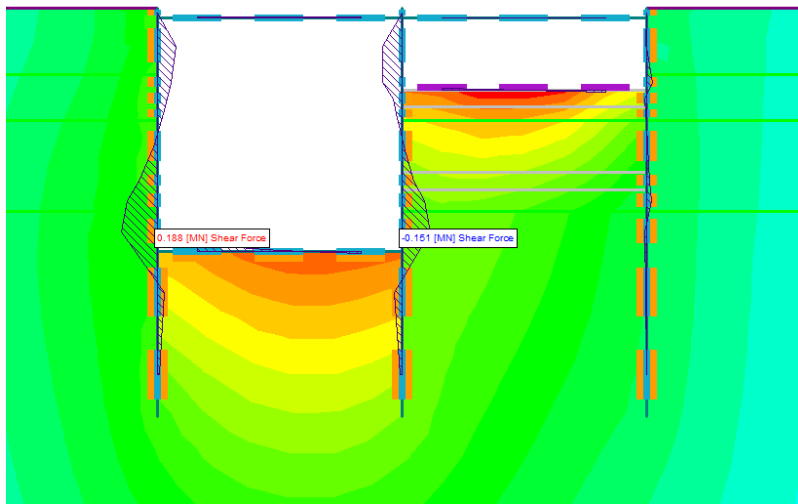
Σχήμα 5.80: Τέμνουσα δύναμη αντιστηρίξεων στο 8^ο στάδιο



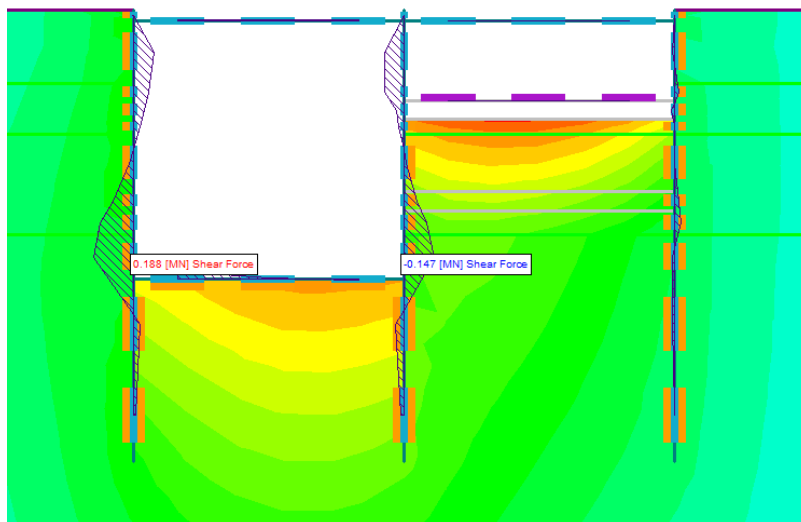
Σχήμα 5.81: Τέμνουσα δύναμη αντιστηρίξεων στο 9^ο στάδιο



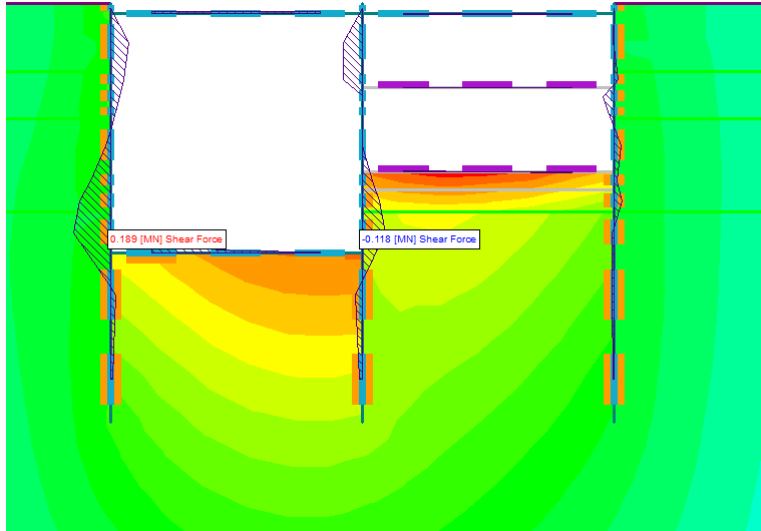
Σχήμα 5.82: Τέμνουσα δύναμη αντιστηρίξεων στο 10^ο στάδιο



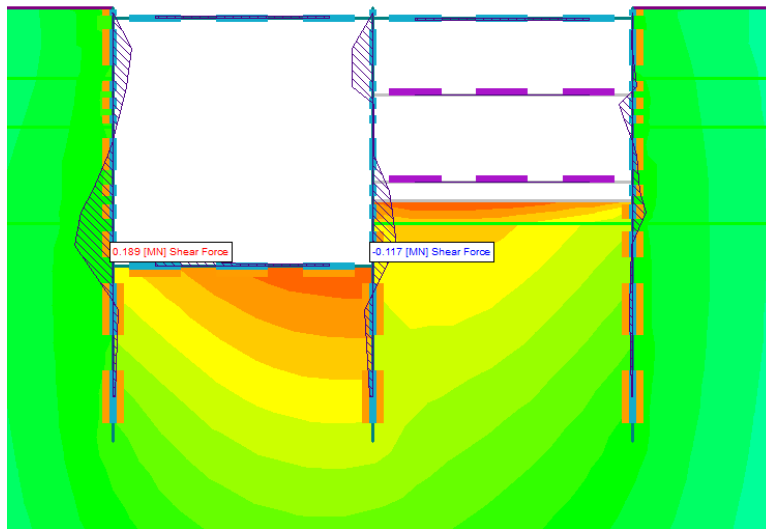
Σχήμα 5.83: Τέμνουσα δύναμη αντιστηρίξεων στο 11^ο στάδιο



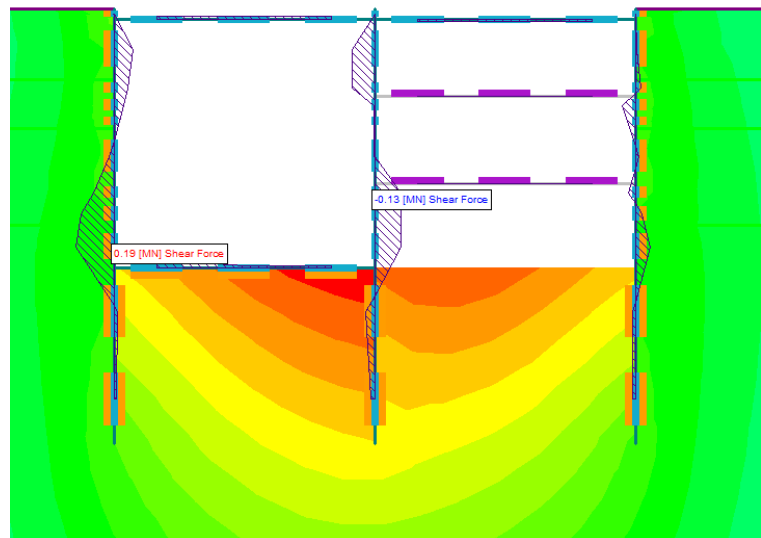
Σχήμα 5.84: Τέμνουσα δύναμη αντιστηρίξεων στο 12^ο στάδιο



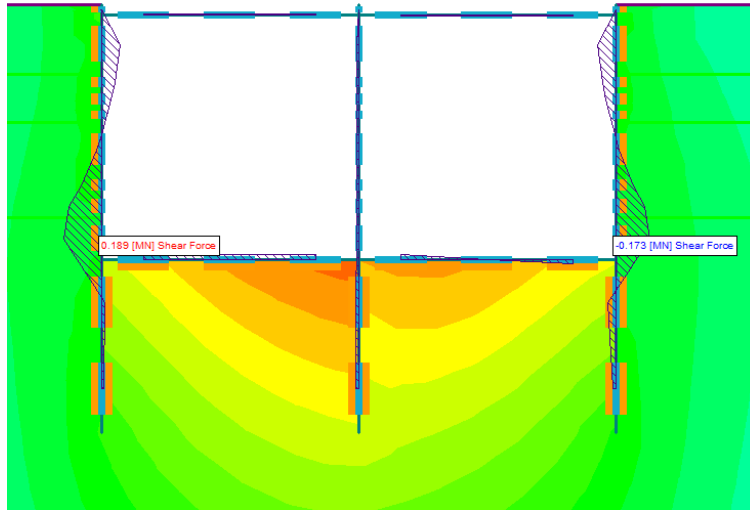
Σχήμα 5.85: Τέμνουσα δύναμη αντιστηρίξεων στο 13^ο στάδιο



Σχήμα 5.86: Τέμνουσα δύναμη αντιστηρίξεων στο 14^ο στάδιο



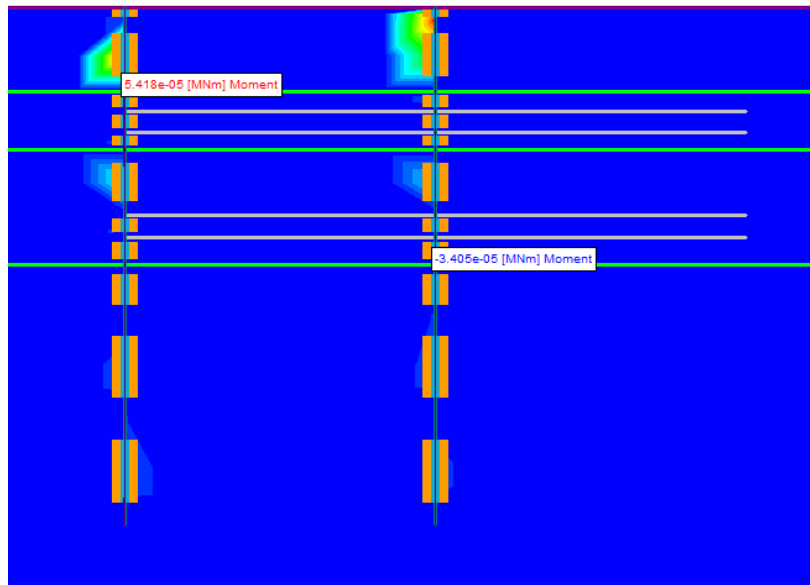
Σχήμα 5.87: Τέμνουσα δύναμη αντιστηρίξεων στο 15^ο στάδιο



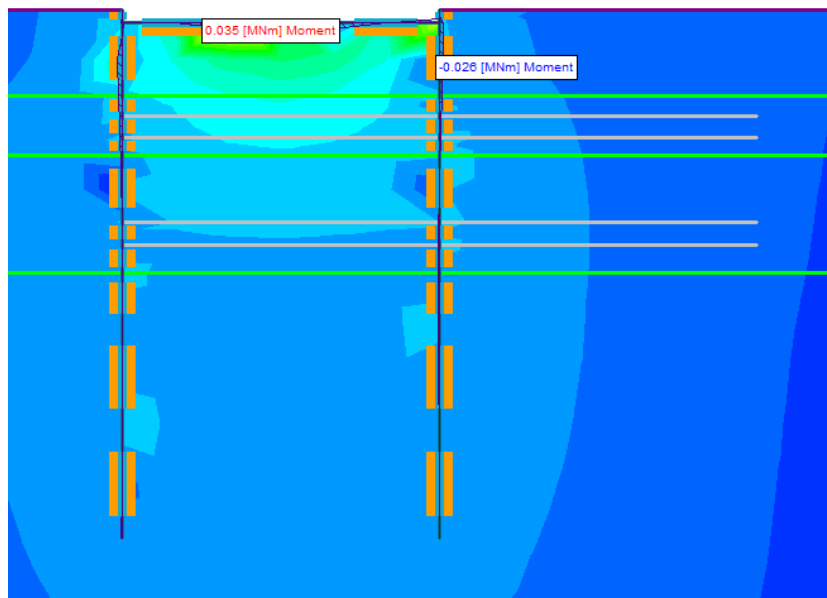
Σχήμα 5.88: Τέμνουσα δύναμη αντιστηρίξεων στο 16^ο στάδιο

Οι μέγιστες τέμνουσες δυνάμεις στην αντιστήριξη του έργου, παρατηρούνται στους διαφραγματικούς τοίχους και συγκεκριμένα στο ύψος της πλάκας δαπέδου.

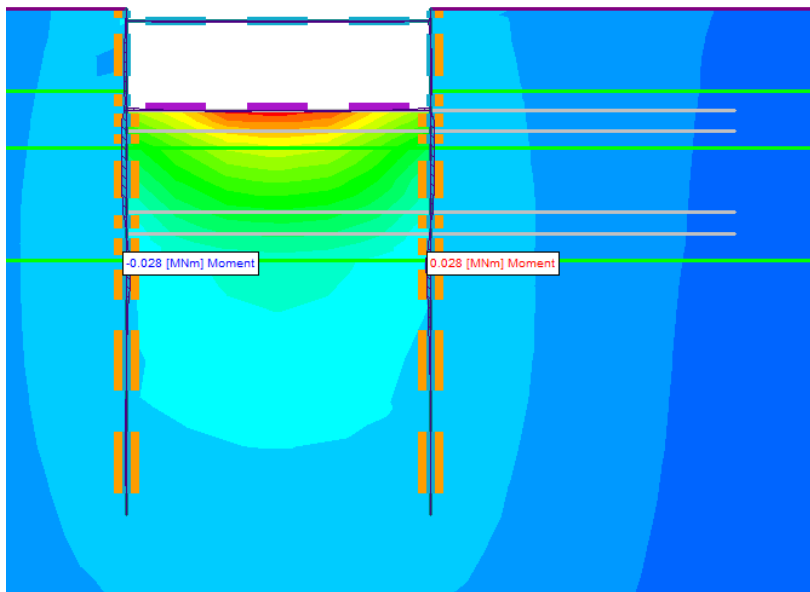
Ροπές κάμψης



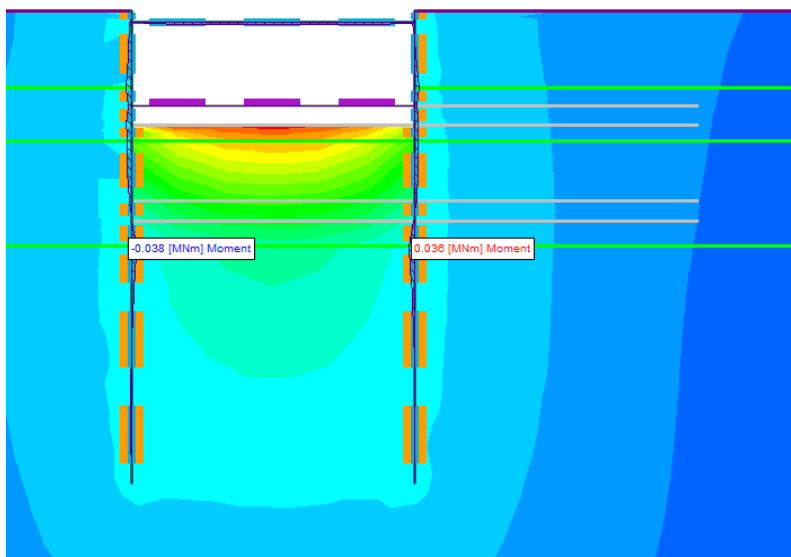
Σχήμα 5.89: Ροπές κάμψης στο 1^ο στάδιο



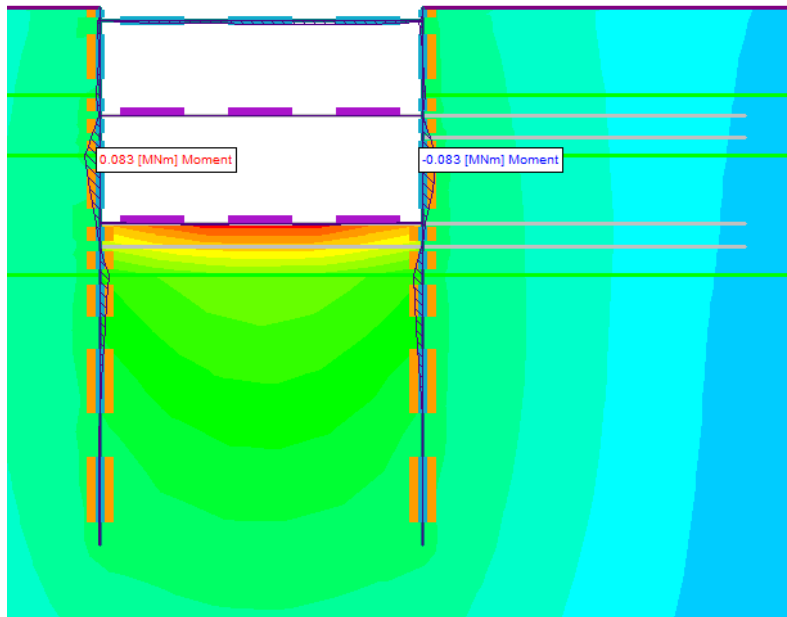
Σχήμα 5.90: Ροπές κάμψης στο 2^ο στάδιο



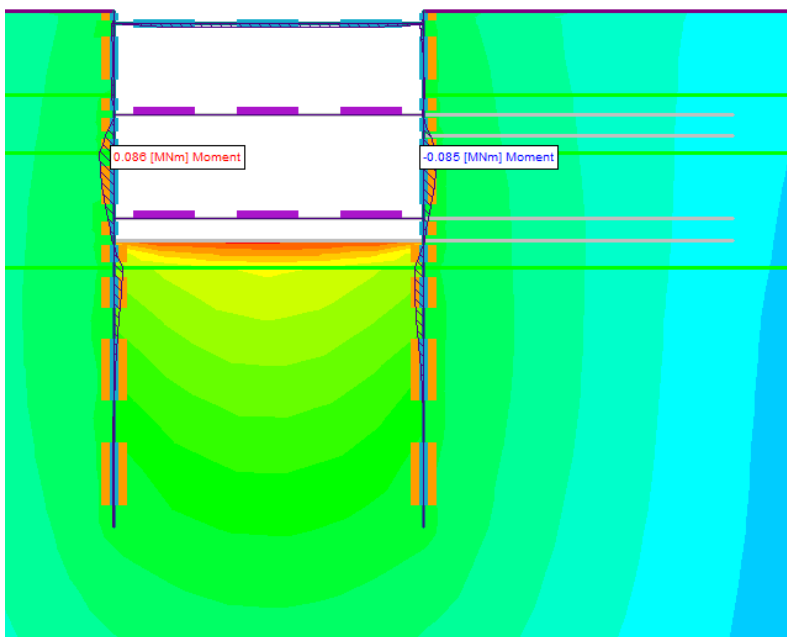
Σχήμα 5.91: Ροπές κάμψης στο 3^ο στάδιο



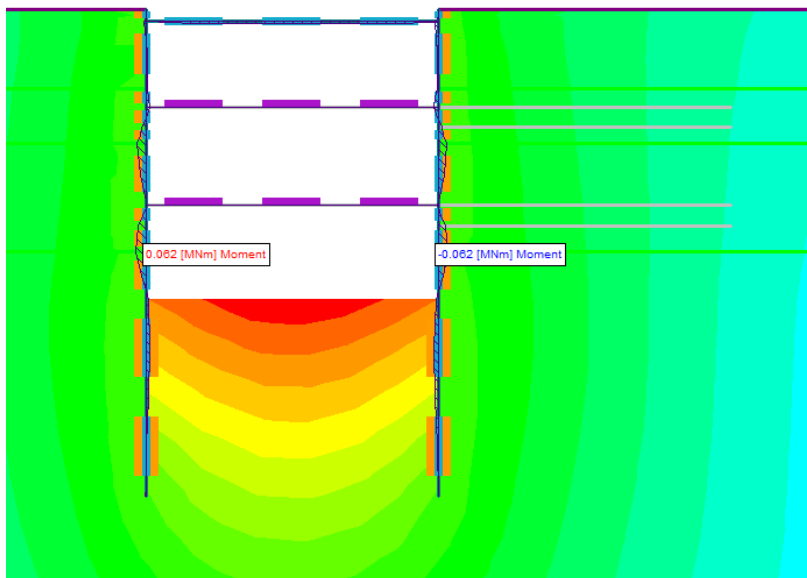
Σχήμα 5.92: Ροπές κάμψης στο 4^ο στάδιο



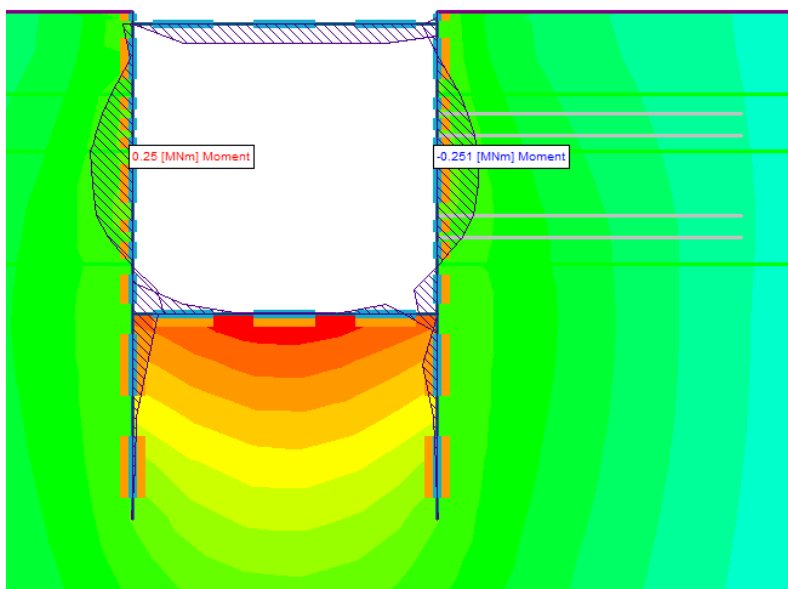
Σχήμα 5.93: Ροπές κάμψης στο 5^ο στάδιο



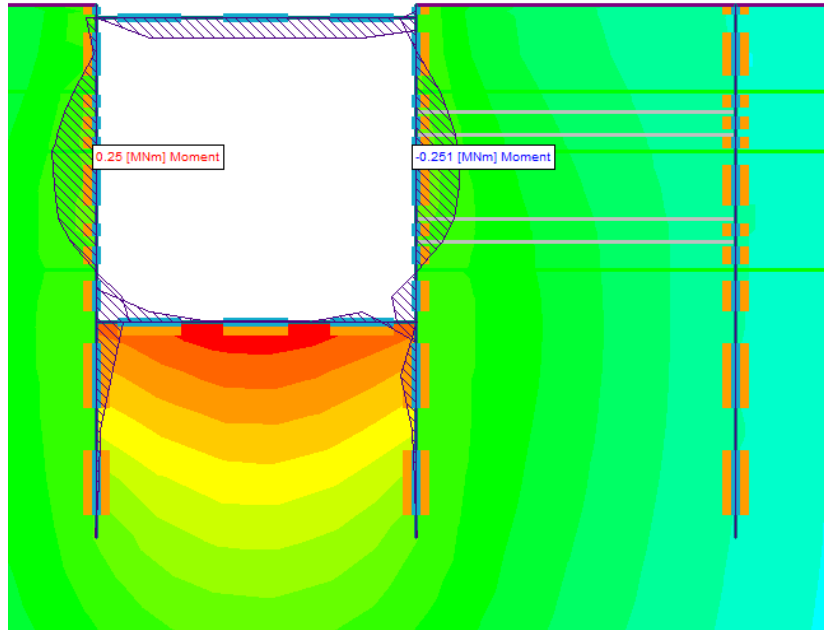
Σχήμα 5.94: Ροπές κάμψης στο 6^ο στάδιο



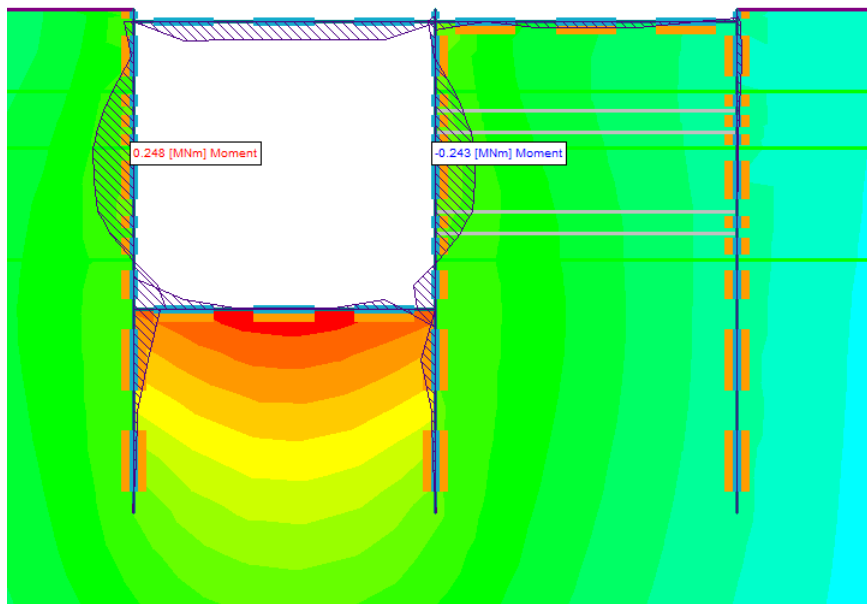
Σχήμα 5.95: Ροπές κάμψης στο 7^ο στάδιο



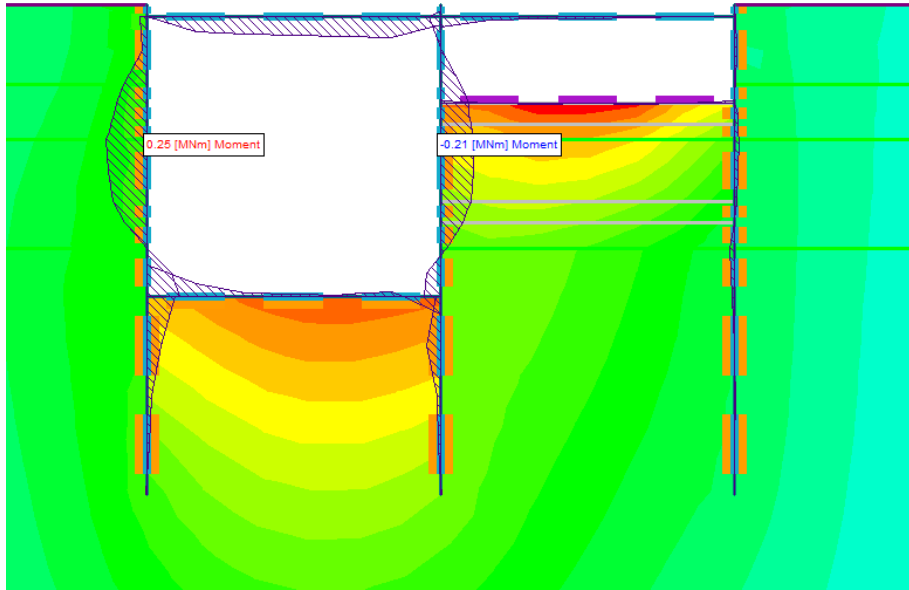
Σχήμα 5.96: Ροπές κάμψης στο 8^ο στάδιο



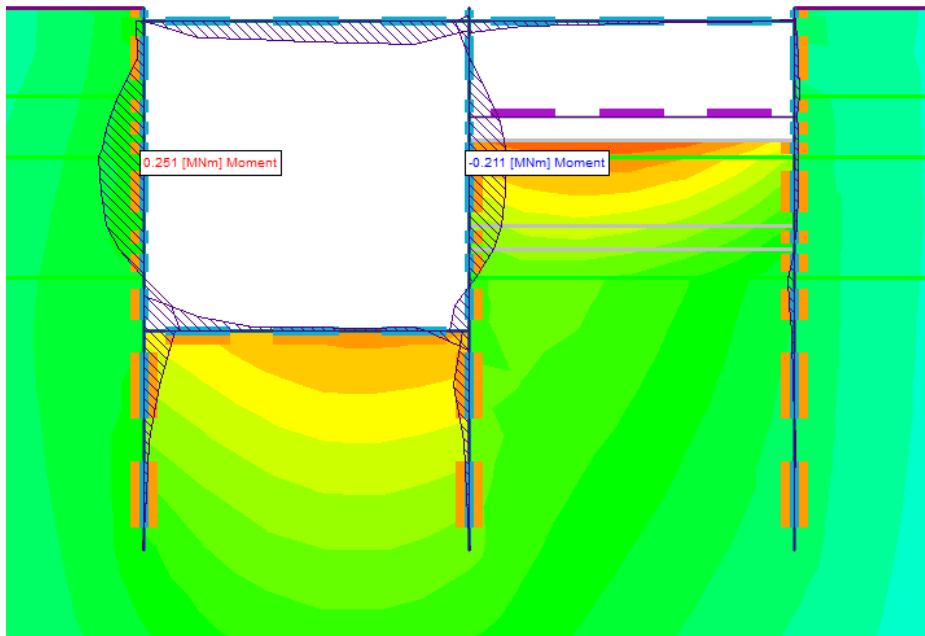
Σχήμα 5.97: Ροπές κάμψης στο 9^ο στάδιο



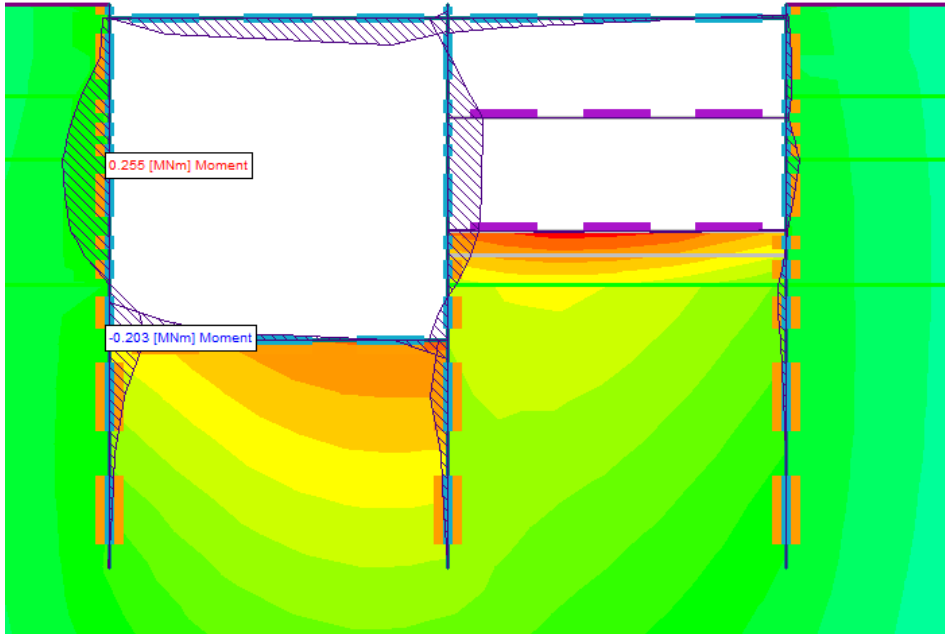
Σχήμα 5.98: Ροπές κάμψης στο 10^ο στάδιο



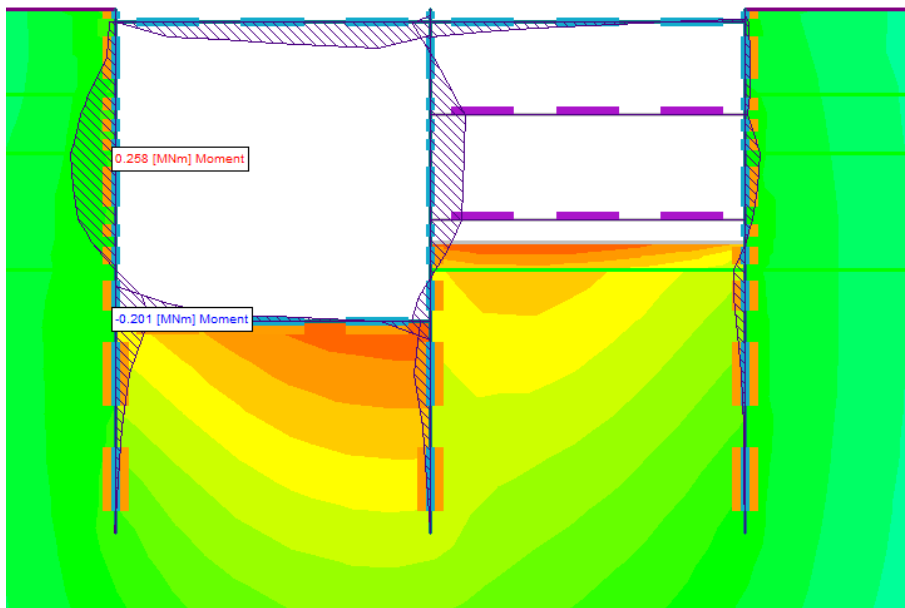
Σχήμα 5.99: Ροπές κάμψης στο 11^ο στάδιο



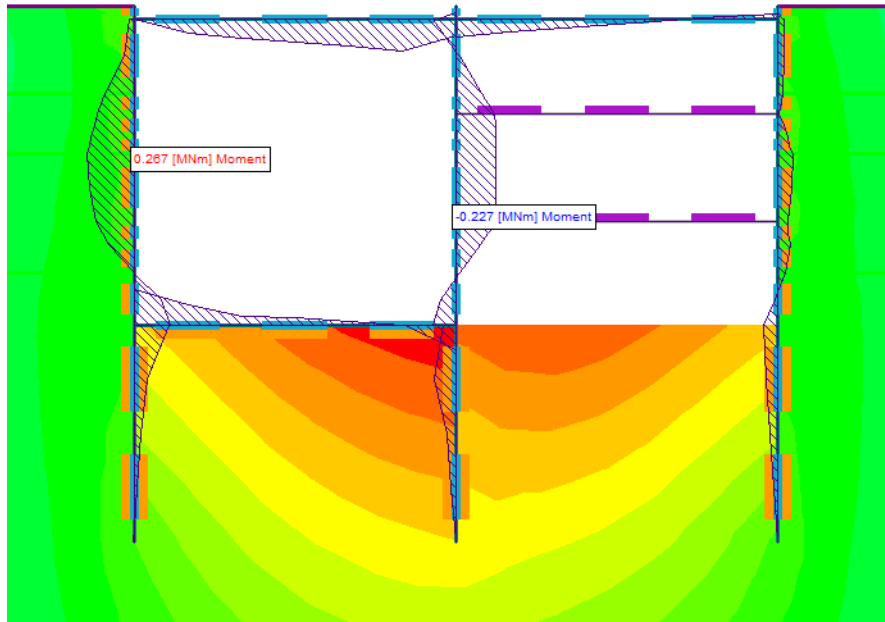
Σχήμα 5.100: Ροπές κάμψης στο 12^ο στάδιο



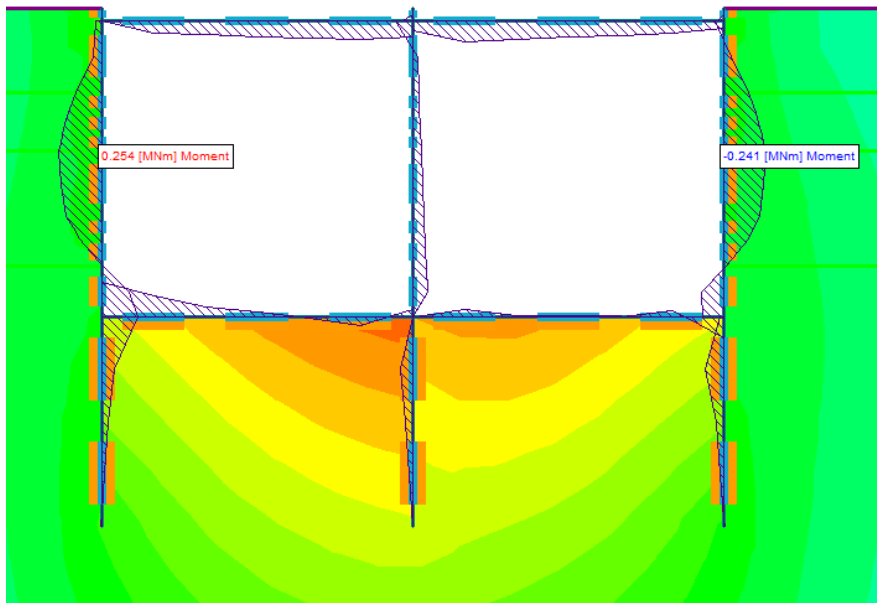
Σχήμα 5.101: Ροπές κάμψης στο 13^ο στάδιο



Σχήμα 5.102: Ροπές κάμψης στο 14^ο στάδιο

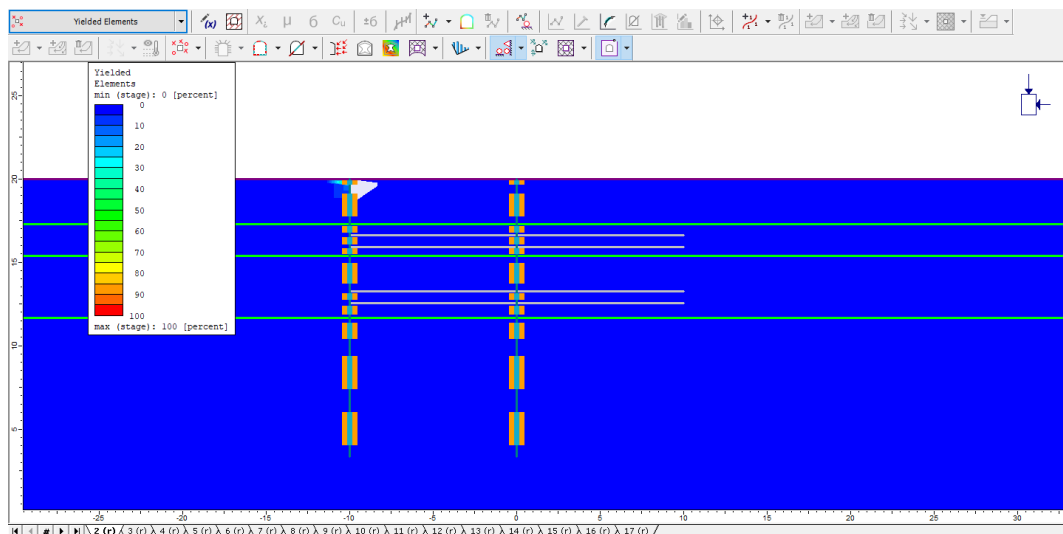


Σχήμα 5.103: Ροπές κάμψης στο 15^ο στάδιο

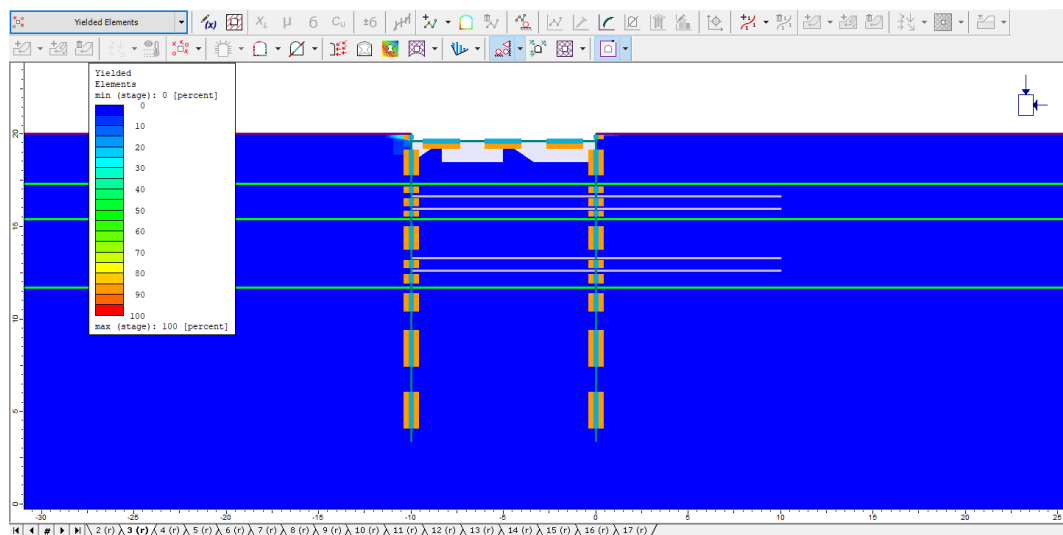


Σχήμα 5.104: Ροπές κάμψης στο 16^ο στάδιο

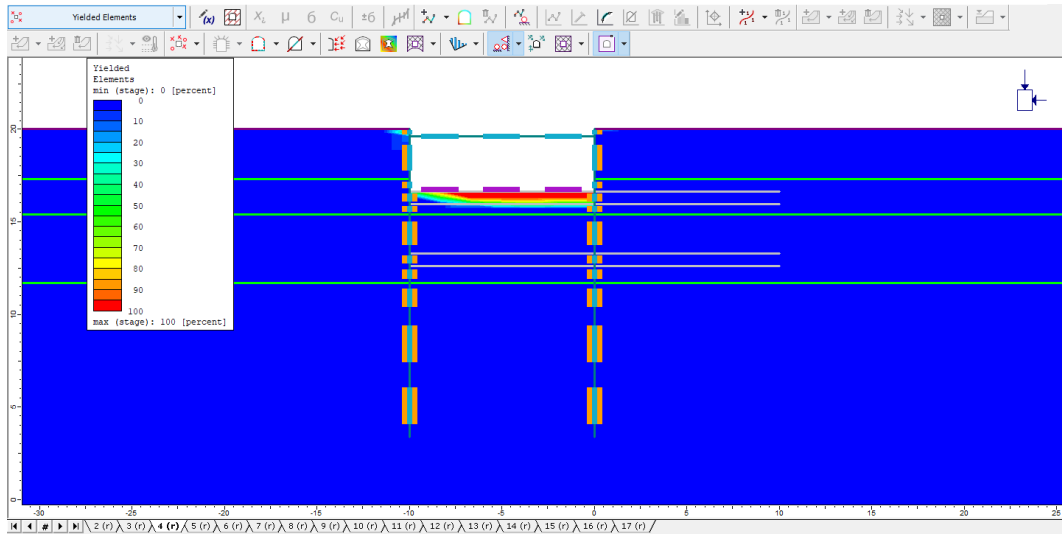
5.2.2. Διαρροή της γεωμάζας



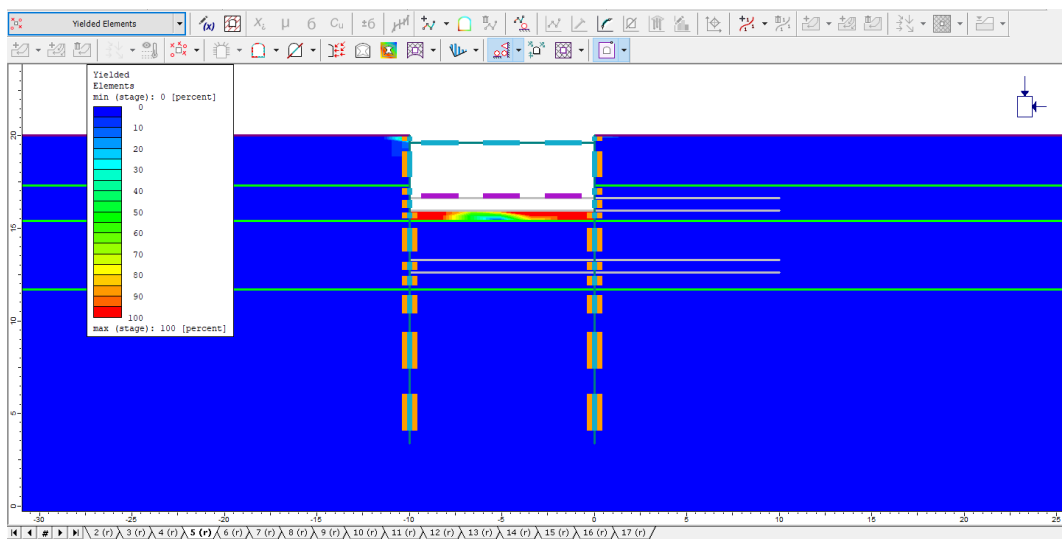
Σχήμα 5.105: Διαρροή γεωμάζας στο 1^ο στάδιο



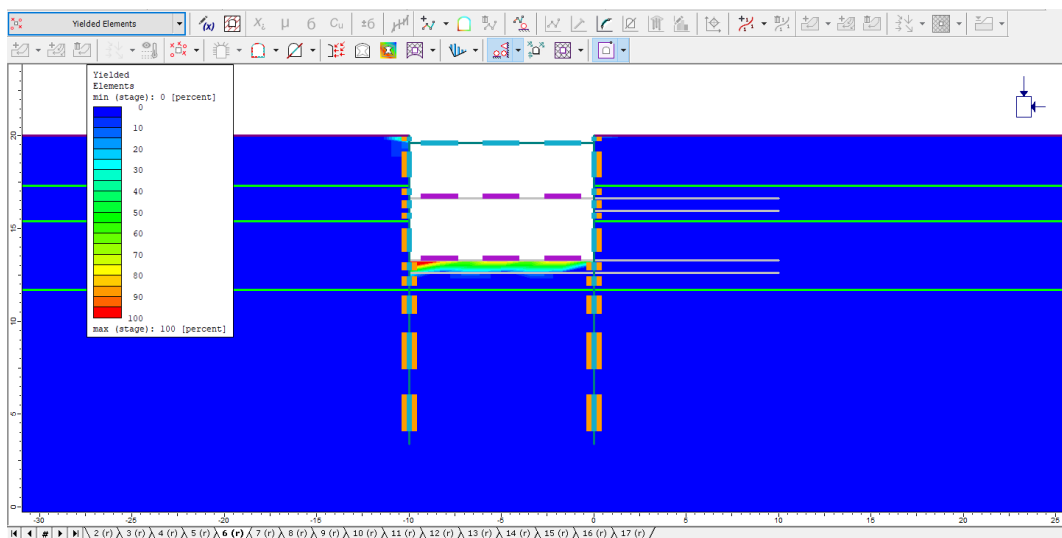
Σχήμα 5.106: Διαρροή γεωμάζας στο 2^ο στάδιο



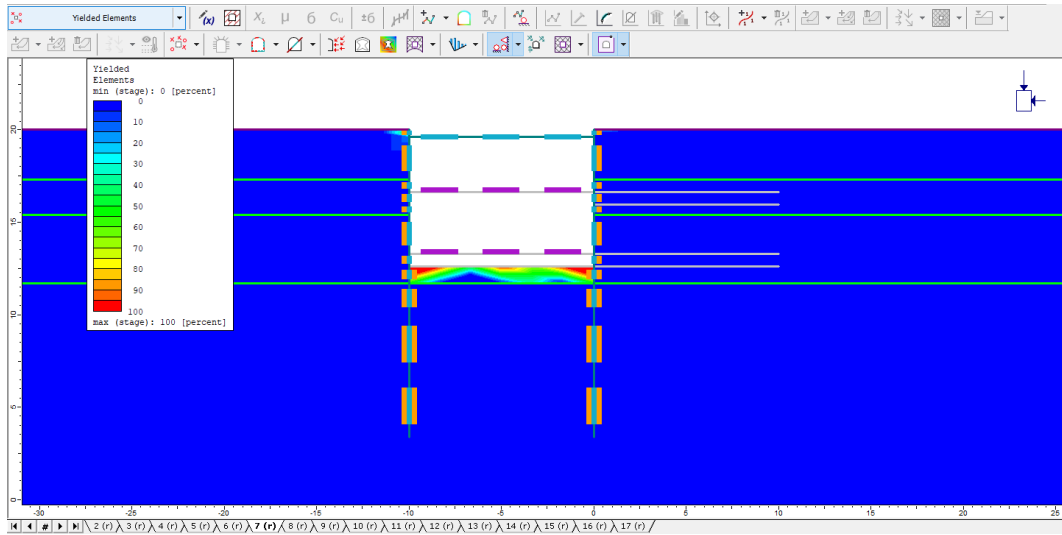
Σχήμα 5.107: Διαρροή γεωμάζας στο 3^ο στάδιο



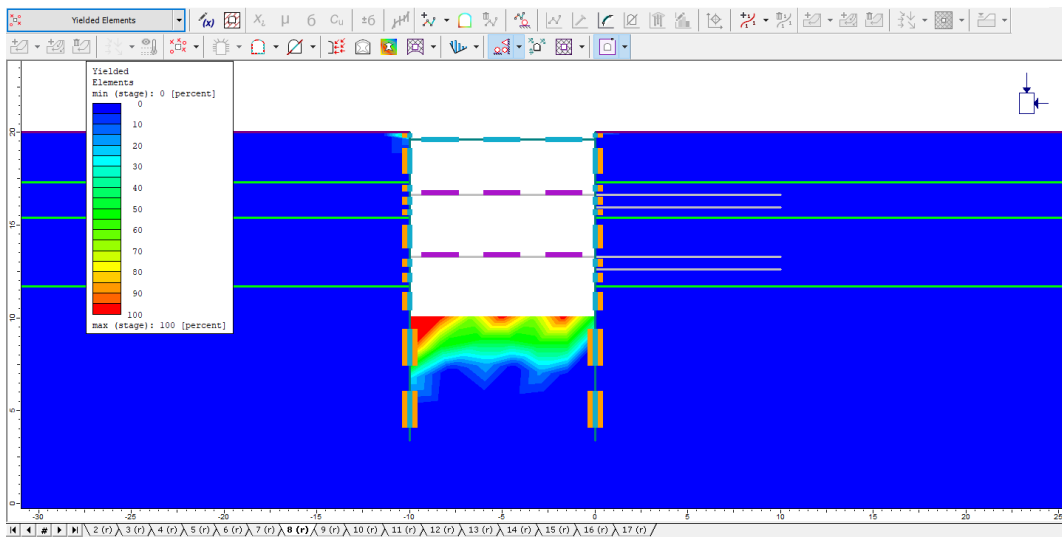
Σχήμα 5.108: Διαρροή γεωμάζας στο 4^ο στάδιο



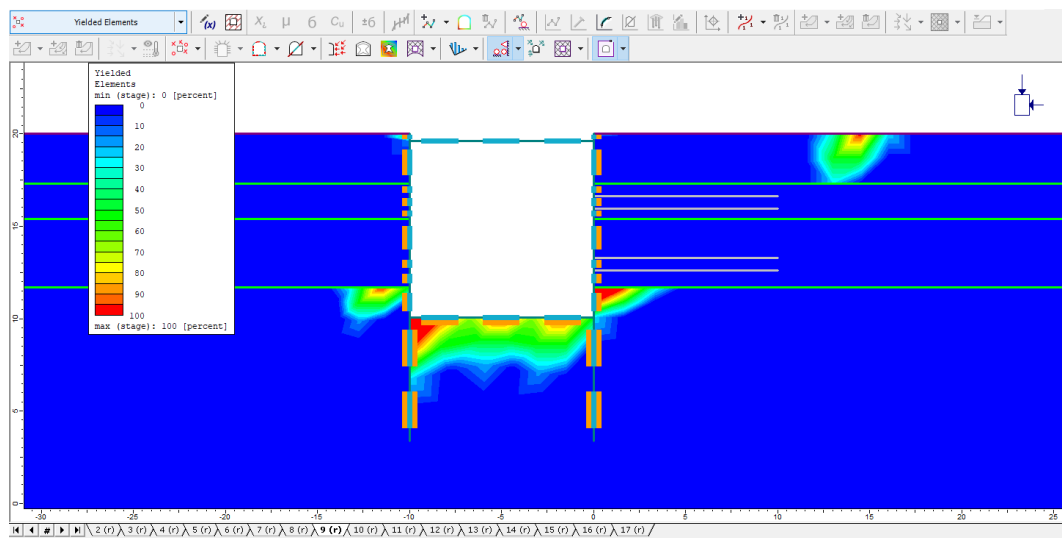
Σχήμα 5.109: Διαρροή γεωμάζας στο 5^ο στάδιο



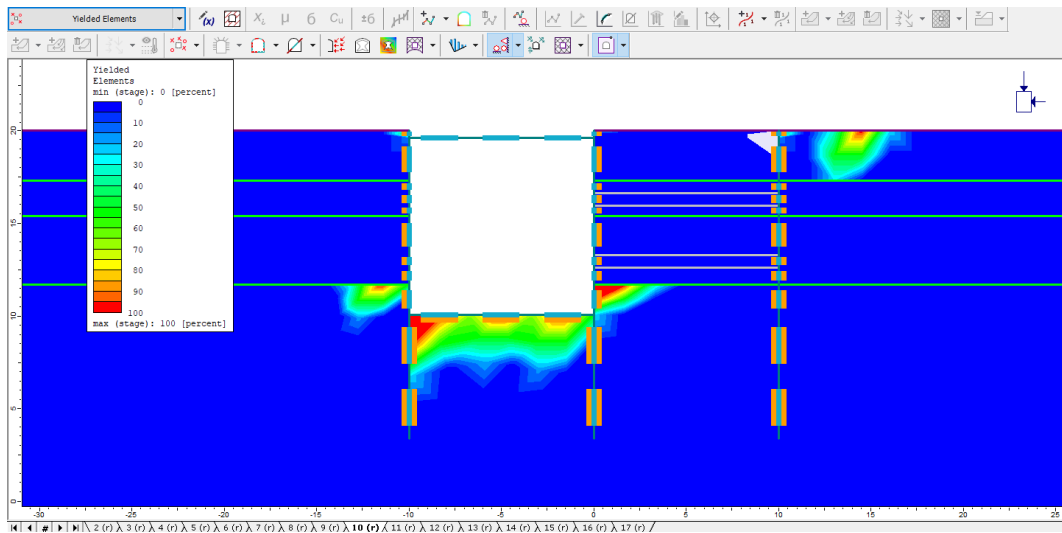
Σχήμα 5.110: Διαρροή γεωμάζας στο 6^ο στάδιο



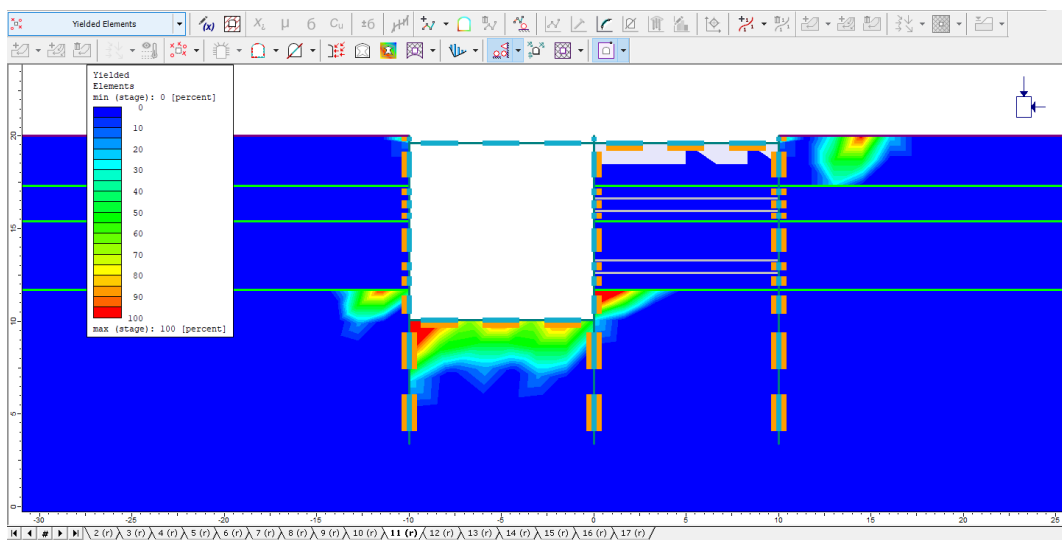
Σχήμα 5.111: Διαρροή γεωμάζας στο 7^ο στάδιο



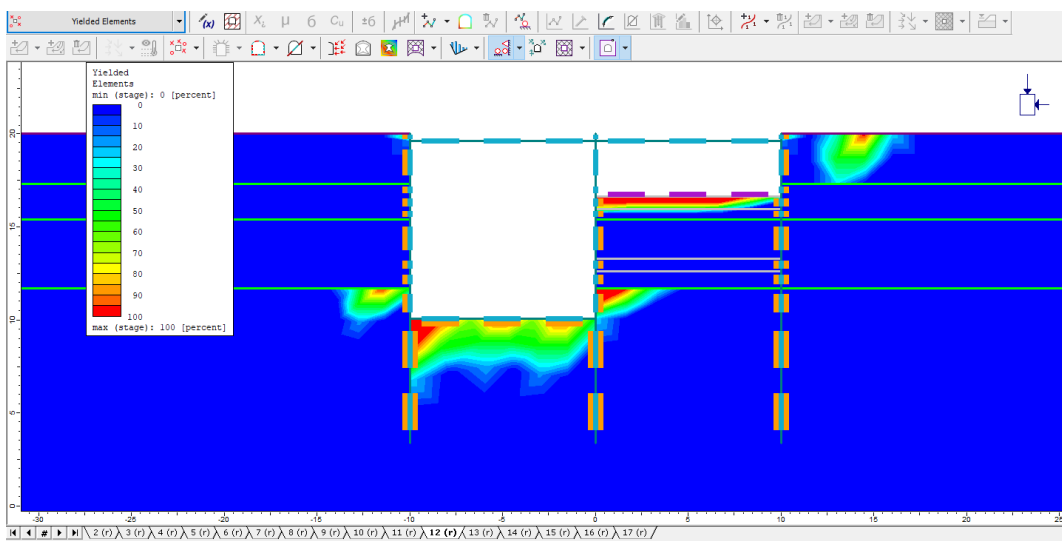
Σχήμα 5.112: Διαρροή γεωμάζας στο 8^ο στάδιο



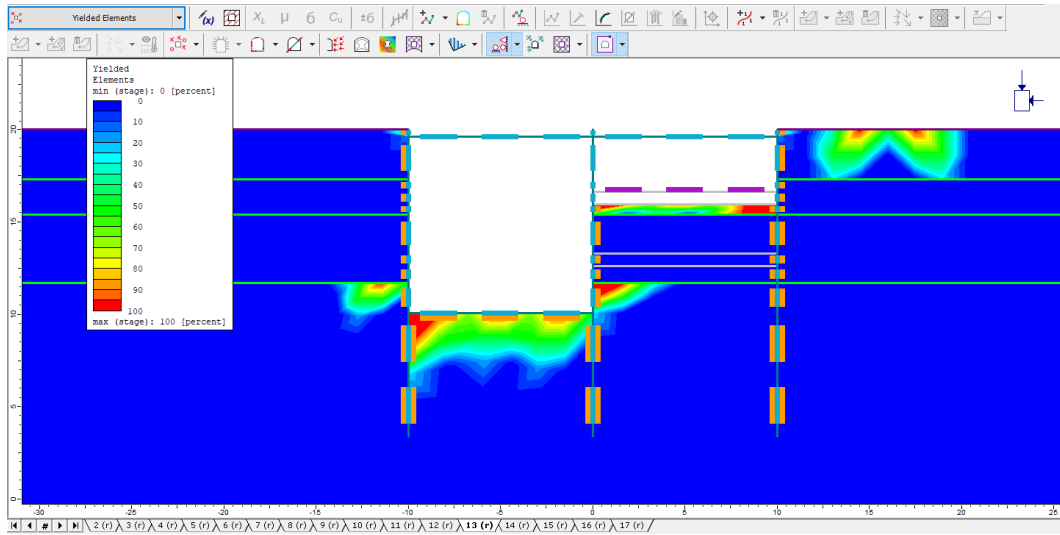
Σχήμα 5.113: Διαρροή γεωμάζας στο 9^ο στάδιο



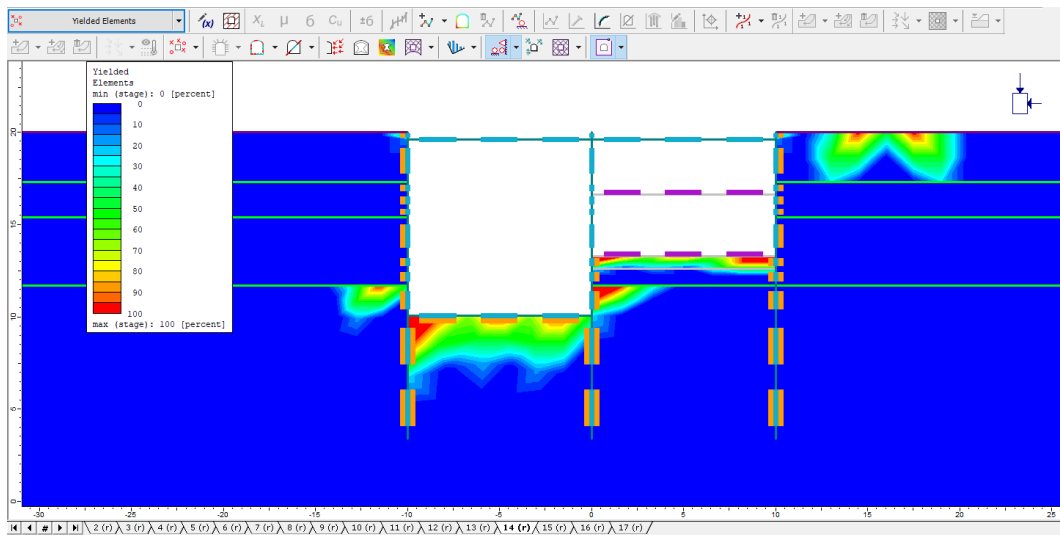
Σχήμα 5.114: Διαρροή γεωμάζας στο 10^ο στάδιο



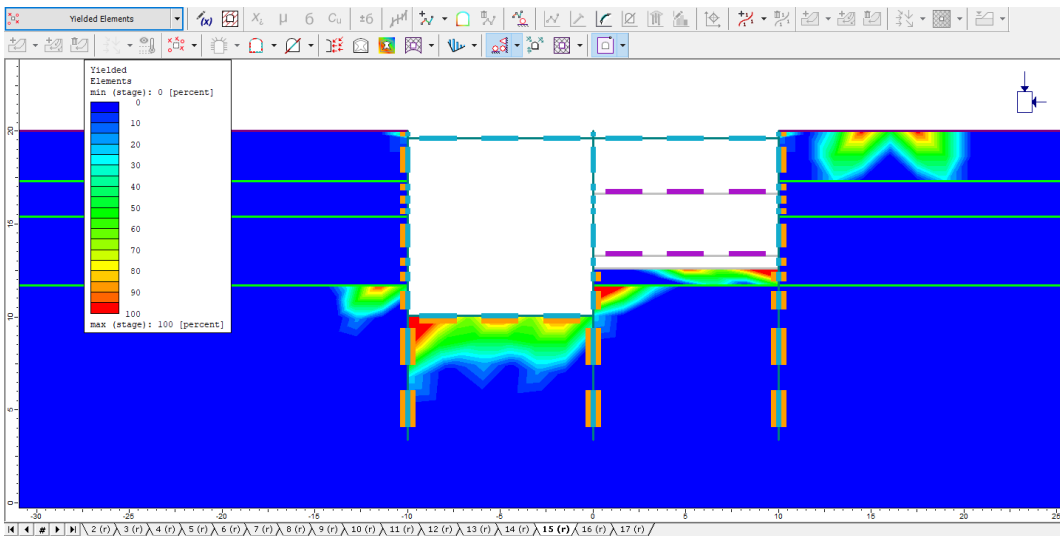
Σχήμα 5.115: Διαρροή γεωμάζας στο 11^ο στάδιο



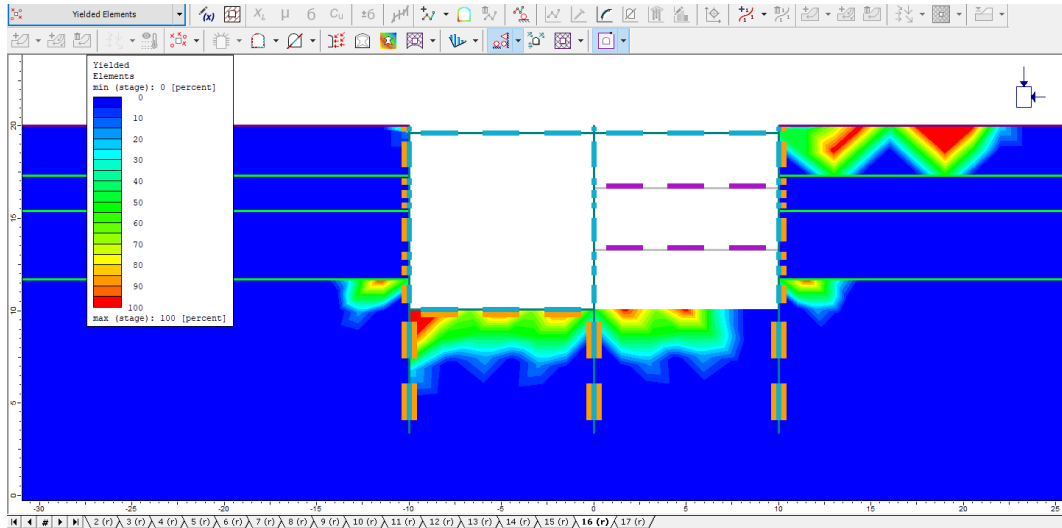
Σχήμα 5.116: Διαρροή γεωμάζας στο 12^ο στάδιο



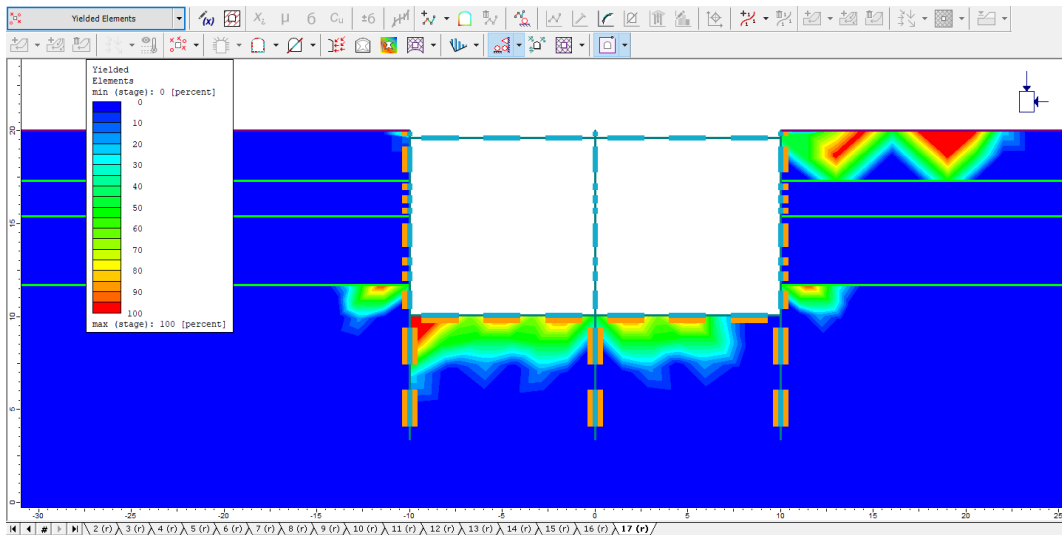
Σχήμα 5.117: Διαρροή γεωμάζας στο 13^ο στάδιο



Σχήμα 5.118: Διαρροή γεωμάζας στο 14^ο στάδιο



Σχήμα 5.119: Διαρροή γεωμάζας στο 15^ο στάδιο



Σχήμα 5.120: Διαρροή γεωμάζας στο 16^ο στάδιο

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, παρατηρείται η δημιουργία πλαστικών ζωνών κατά τις εκσκαφές, αλλά και μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής. Οι ζώνες παρατηρούνται στις πλάκες δαπέδου, ανατολικά του ανατολικού διαφραγματικού τοίχου, καθώς και στην διεπαφή των στρώσεων sch4-6 και sch2-4.

Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα

Η ανάπτυξη των πόλεων έχει εγείρει το ζήτημα της περαιτέρω ανάπτυξης των υποδομών και της κάλυψης των αναγκών των κατοίκων τους. Ένα από τα βασικά ζητήματα που έχουν γίνει επίκαιρα τα τελευταία χρόνια είναι η απόδοση ελεύθερων χώρων και χώρων πρασίνου εντός των αστικών κέντρων, με σκοπό την βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων. Έχοντας λοιπόν αυτό υπόψη, οι επιλογές για κατασκευή υπογείων έργων αυξάνονται συνεχώς. Μέσω της κατασκευής υπογείων έργων ή υπογειοποιήσεων ήδη υφιστάμενων κατασκευών αναμένεται να καλυφθούν σε κάποιο βαθμό οι προαναφερθείσες ανάγκες.

Μια τέτοια περίπτωση είναι και αυτή που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία, στην περιοχή των Σεπολίων, όπου η σιδηροδρομική γραμμή διέρχεται μέσα από κατοικημένη περιοχή στο κέντρο της Αθήνας. Με την υπογειοποίηση της σιδηροδρομικής γραμμής, αναμένεται σε πρώτο βαθμό να υπάρχει άμεση και σημαντική βελτίωση στις συνθήκες διαβίωσης και στην καθημερινότητα των κατοίκων, μέσω της μείωσης της ηχορύπανσης και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Αναμένεται επίσης, σημαντική αναβάθμιση του τοπίου και βελτίωση της συνολικής εικόνας της περιοχής, η οποία μέχρι πρότινος δείχνει χωρισμένη στα δύο από την ύπαρξη των γραμμών και της κυκλοφορίας των τρένων.

Επιπροσθέτως, με τον επιφανειακό χώρο που θα προκύψει από την υπογειοποίηση αναμένεται να αποκατασταθεί η κυκλοφορία στις κάθετες οδούς που διακόπτονται από την ύπαρξη της σιδηροδρομικής γραμμής. Με σημαντικότατο όφελος την εξάλειψη των ατυχημάτων που οφείλονται στην παρουσία των σιδηροδρομικών γραμμών. Ο χώρος θα αποδοθεί ως ελεύθερος χώρος πρασίνου και αναψυχής. Τέλος, όσον αφορά τον σιδηρόδρομο, αναμένεται σημαντική αναβάθμιση, διότι από διπλή γραμμή, κατασκευάζεται τετραπλή γραμμή, εξυπηρετώντας ξεχωριστά τα υπεραστικά και προαστικά δρομολόγια, με ταυτόχρονα καλύτερο προγραμματισμό και μείωση των χρόνων αναμονής.

Μελετήθηκε το γεωλογικό και υδρογεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής αναλύοντας εκτενώς τη στρωματογραφία της. Έτσι, έγινε πιο εύκολα κατανοητό οι λόγοι που οδήγησαν στην επιλογή της μεθόδου κατασκευής Cover & Cut, αλλά και για την

επιλογή των μέτρων υποστήριξης και των υλικών κατασκευής της σήραγγας του τεχνικού υπογειοποίησης

Η επιλεγμένη μέθοδος κατασκευής σήραγγας Cover & Cut με διαφραγματικούς τοίχους αποτελεί την πρώτη εφαρμογή αυτής της μεθοδολογίας κατασκευής στην Ελλάδα. Η επιλογή έγινε με βασικό κριτήριο την κατασκευή εντός κατοικημένης περιοχής στον αστικό ιστό. Αυτό έχει ως άμεση συνέπεια την ελαχιστοποίηση των μετατοπίσεων που οφείλονται στην κατασκευή, καθώς επίσης η όχληση από τους θορύβους των μηχανημάτων και η οπτική ρύπανση θα πρέπει να είναι η λιγότερη δυνατή.

Η υπογειοποίηση γίνεται με την κατασκευή τριών βασικών διατομών, της ανοικτής διατομής, της κλειστής διατομής και της κλειστής διατομής με ενδιάμεση πλάκα. Επίσης στην περιοχή της σήραγγας μετρό, κατασκευάζεται ένα τεχνικό γεφύρωσης διαφορετικό από τις υπόλοιπες διατομές.

Επιλέγοντας τη χιλιομετρική θέση 11+800 η οποία αντιστοιχεί σε τεχνικό κλειστής διατομής χωρίς ενδιάμεση πλάκα, προσομοιώθηκε η κατασκευή χρησιμοποιώντας τη στρωματογραφία από τα ήδη γνωστά δεδομένα. Από την προσομοίωση προέκυψαν συμπεράσματα που αφορούν τις οριζόντιες, τις κατακόρυφες και τις ολικές μετατοπίσεις. Οι ολικές μετατοπίσεις μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής αναμένονται να είναι περί τα 13 χιλιοστά. Τέτοιες μετατοπίσεις είναι αναμενόμενες και δεν επηρεάζουν την κατασκευή και το τελικό αποτέλεσμα σε σημαντικό βαθμό. Τέλος, μετά την ολοκλήρωση του έργου, η περιοχή που έλαβε χώρα η κατασκευή, θα συνεχίσει να παρακολουθείται με τα ίδια συστήματα γεωμηχανικής και δομτικής παρακολούθησης.

Κλείνοντας, η υπογειοποίηση στα Σεπόλια αποτελεί ένα έργο με ιδιαίτερες κατασκευαστικές απαιτήσεις και υψηλό κόστος, αλλά ταυτόχρονα και ένα σημαντικό παράδειγμα και έναυσμα για την αναζήτηση λύσεων και την αντιμετώπιση παρόμοιων προβλημάτων και σε άλλες κατοικημένες περιοχές που διασχίζονται από σιδηροδρομικές γραμμές ή κεντρικές οδικές αρτηρίες.

Κεφάλαιο 7 Βιβλιογραφία

Γενική περιγραφή της Γραμμής 4 – ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. Ανακτήθηκε 26 Ιούνιος

2024, από https://www.emetro.gr/?page_id=8444

ΔΕΛΤΙΟ ΤΥΠΟΥ – Παρουσίαση της υπογειοποίησης των Σεπολίων. (2018, Νοέμβριος

21). ΕΡΓΟΣΕ. [https://www.ergose.gr/deltio-tyrou-paroysi-tis-](https://www.ergose.gr/deltio-tyrou-paroysi-tis-ypogeiopoiisis-ton-sepolion/)

ypogeiopoiisis-ton-sepolion/

Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε, & SALFO. (2015). Υπολειπόμενες μελέτες για την

υπογειοποίηση του τετραπλού Σιδηροδρομικού διαδρόμου στο τμήμα απο

την έξοδο του Σιδηροδρομικού Σταθμού Αθηνών (ΣΣΑ) έως τις Τρεις Γέφυρες,

Τεχνικό Υπογειοποίησης, Γεωτεχνική Μηκοτομή.

Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε, & SALFO. (2015). Υπολειπόμενες μελέτες για την

υπογειοποίηση του τετραπλού Σιδηροδρομικού διαδρόμου στο τμήμα απο

την έξοδο του Σιδηροδρομικού Σταθμού Αθηνών (ΣΣΑ) έως τις Τρεις Γέφυρες,

Τεχνικό Υπογειοποίησης, Μηκοτομή.

Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε, & SALFO. (2015). Υπολειπόμενες μελέτες για την

υπογειοποίηση του τετραπλού Σιδηροδρομικού διαδρόμου στο τμήμα απο

την έξοδο του Σιδηροδρομικού Σταθμού Αθηνών (ΣΣΑ) έως τις Τρεις Γέφυρες,

Τεχνικό Υπογειοποίησης, Φάσεις κατασκευής ανοικτής διατομής.

Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε, & SALFO. (2015d). Υπολειπόμενες μελέτες για την

υπογειοποίηση του τετραπλού Σιδηροδρομικού διαδρόμου στο τμήμα απο

την έξοδο του Σιδηροδρομικού Σταθμού Αθηνών (ΣΣΑ) έως τις Τρεις Γέφυρες,

Τεχνικό Υπογειοποίησης, Φάσεις κατασκευής κλειστής διατομής με

ενδιάμεση πλάκα.

Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε, & SALFO. (2015e). Υπολειπόμενες μελέτες για την υπογειοποίηση του τετραπλού Σιδηροδρομικού διαδρόμου στο τμήμα απο την έξοδο του Σιδηροδρομικού Σταθμού Αθηνών (ΣΣΑ) έως τις Τρεις Γέφυρες, Τεχνικό Υπογειοποίησης, Φάσεις κατασκευής κλειστής διατομής χωρίς ενδιάμεση πλάκα.

Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε, & SALFO. (2015f). Υπολειπόμενες μελέτες για την υπογειοποίηση του τετραπλού Σιδηροδρομικού διαδρόμου στο τμήμα απο την έξοδο του Σιδηροδρομικού Σταθμού Αθηνών (ΣΣΑ) έως τις Τρεις Γέφυρες, Τεχνικό Υπογειοποίησης, Φάσεις κατασκευής στην περιοχή του Μετρό (Από την 1η έως την 12η φάση κατασκευής).

Δομοστατικές Μελέτες Α.Ε, & SALFO. (2015g). Υπολειπόμενες μελέτες για την υπογειοποίηση του τετραπλού Σιδηροδρομικού διαδρόμου στο τμήμα απο την έξοδο του Σιδηροδρομικού Σταθμού Αθηνών (ΣΣΑ) έως τις Τρεις Γέφυρες, Τεχνικό Υπογειοποίησης, Φάσεις κατασκευής στην περιοχή του Μετρό (Από την 13η έως την 22η φάση κατασκευής).

ΕΡΓΟΣΕ. (2014). Γεωτεχνικές έρευνες και μελέτες. Παρουσίαση και αξιολόγηση αποτελεσμάτων ερευνών. Τεύχος 1. ΕΡΓΟΣΕ.

ΕΡΓΟΣΕ. (2017). Τεχνική Περιγραφή, Τεύχος 1 από 2. Κατασκευή τετραπλού σιδηροδρομικού διαδρόμου στο τμήμα Έξοδος Σ.Σ. Αθηνών (Σ.Σ.Α.)—Τρεις Γέφυρες' με υπογειοποίηση στην περιοχή Σεπολίων.

Ζιαμπάκας, Σ. (2023, Μάρτιος 14). Παγίδες θανάτου οι διαβάσεις του ΟΣΕ στην Αθήνα. ΕΦΣΥΝ. https://www.efsyn.gr/ellada/koinonia/382023_pagides-thanatoy-oi-diabaseis-toy-ose-stin-athina

- Κάζος, Χ., & Σωτηρόπουλος, Ν. (2011). *Διερεύνηση υπογειοποίησης κόμβου Ιεράς Οδού και Πειραιώς*. ΕΜΠ.
- Καλιαμπάκος, Δ., & Μπενάρδος, Α. (2010). *Υπόγεια Έργα (Σημειώσεις Μαθήματος)*. ΕΜΠ.
- Κεντρική Σελίδα ΕΛΣΤΑΤ - ELSTAT. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 26 Ιούνιος 2024, από <https://www.statistics.gr/>
- Λιλιπούλου, Μ. (2021, Νοέμβριος 27). *Τρένα - «Ακτινογραφία» στα ατυχήματα: Αφύλακτες διαβάσεις «παγίδες θανάτου» και δρομολόγια τρόμου*. ΕΘΝΟΣ. <https://www.ethnos.gr/greece/article/184813/trenaaktinografiastaatyxhmat aafylaktesdiabaseispagidesthanatoykaidromologiatromoy>
- Μπεντονίτης. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 5 Απρίλιος 2024, από <https://www.orykta.gr/oryktes-protos-yles-tis-ellados/latomika-orykta/biomihanika-orykta/56-mpedonitis>
- Μπράτσος, Ν. (2022, Σεπτέμβριος 19). *Εγκαινιάστηκε η υπογειοποίηση των οδών Π. Κωνσταντίνου & Φωκών στο γήπεδο της ΑΕΚ*. *ertnews.gr*. <https://www.ertnews.gr/eidiseis/ellada/egkainiastike-i-ypogeiopeiisi-ton-odon-p-konstantino-y-amp-fokon-sto-gipedo-tis-aek/>
- Πουλίδη, Φ.-Ν. (2017). *Τεχνικοοικονομική διερεύνηση υπογειοποίησης της λεωφόρου Ποσειδώνος στα πλαίσια του έργου αξιοποίησης του Μητροπολιτικού πάρκου του Ελληνικού*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Πράσινες Πόλεις | Greece in Figures. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 17 Ιούνιος 2024, από <https://greeceinfigures.com/prasines-poleis>
- Ρόζος, Δ. (2007). *Βελτίωση Γεωτεχνικής Συμπεριφοράς Γεωλογικών Σχηματισμών (Σημειώσεις Μαθήματος)*. ΕΜΠ.

- ΣΚΑ – 3 Γέφυρες. (2018, Μάρτιος 19). *ΕΡΓΟΣΕ*. <https://www.ergose.gr/project/ska-aerodromio-2-2/>
- Σοφιανός, Α. (2018). *Διάνοιξη Σηράγγων*. ΕΜΠ.
- Φωλας, Α. (2008, 2009). *Εδραση Σιδηροδρομικής Γραμμής σε Πλάκα Σκυροδέματος*. <https://docplayer.gr/2557867-Edrasi-sidirodromikis-grammis-se-plaka-skyrodematos.html>
- Χώροι πρασίνου στις γειτονιές της Αθήνας*. (χ.χ.). Δήμος Αθηναίων. Ανακτήθηκε 26 Ιούνιος 2024, από <https://www.cityofathens.gr/choroi-prasinoystis-geitonies-tis-athi-2/>
- Broere, W. (2016). Urban underground space: Solving the problems of today's cities. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 55, 245–248. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2015.11.012>
- Διαφραγματικοί τοίχοι - Υδροφρέζα | Trevi*. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 3 Απρίλιος 2024, από <https://www.trevispa.com/en/Technologies/diaphragm-walls-hydromill>
- INTRAKAT, & ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΑ ΕΡΓΑ. (2020). *Οδηγία εργασίας για την κατασκευή Διαφραγματικών Τοίχων*.
- Lane, K. (2024, Φεβρουάριος 15). *Tunnels and underground excavations—Tunneling techniques | Britannica*. <https://www.britannica.com/technology/tunnel>
- Martin, N. (χ.χ.). *The only way is... Down! Why underground urban development is on the rise*. UNSW Sites. Ανακτήθηκε 7 Απρίλιος 2024, από <https://www.unsw.edu.au/newsroom/news/2022/01/the-only-way-is----down--why-underground-urban-development-is-on>
- Mouratidis, A. (2008). *The 'Cut-and-Cover' and 'Cover and-Cut' Techniques in Highway Engineering*. 13.

Newsroom. (2024, Μάρτιος 26). *Ελληνικό: Πώς προχωρά η υπογειοποίηση της*

Ποσειδώνος - Πότε θα παραδοθεί το έργο. CNN.gr.

[https://www.cnn.gr/ellada/story/411812/elliniko-pos-proxora-i-](https://www.cnn.gr/ellada/story/411812/elliniko-pos-proxora-i-ypogeioiisi-tis-poseidonos-pote-tha-paradothei-to-ergo)

[ypogeioiisi-tis-poseidonos-pote-tha-paradothei-to-ergo](https://www.cnn.gr/ellada/story/411812/elliniko-pos-proxora-i-ypogeioiisi-tis-poseidonos-pote-tha-paradothei-to-ergo)