



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ- ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

& ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων»

Αλληλεπίδραση Σηράγγων Παναγοπούλας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτρης Γεωργίου



Επιβλέπων Καθηγητής

Αλέξανδρος Ι. Σοφιανός

Αθήνα, Μάρτιος 2018

Φωτογραφίες εξώφυλλου: (Αριστερά) Ανατολικά Στόμια Σιδηροδρομικής Σήραγγας Παναγοπούλας/
(Δεξιά) Εσωτερικό Σιδηροδρομικής Σήραγγας Παναγοπούλας)



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ- ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

& ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων»

Αλληλεπίδραση Σηράγγων Παναγοπούλας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτρης Γεωργίου

Επιβλέπων Καθηγητής

Αλέξανδρος Ι. Σοφιανός

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις /3/2018

Αλέξανδρος Ι. Σοφιανός, Καθηγητής ΕΜΠ

Παύλος Νομικός, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ.....

Αθήνα, Μάρτιος 2018

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία, έχει ως αντικείμενο την εξέταση της αλληλεπίδρασης, που επιφέρει η κατασκευή της σιδηροδρομικής σήραγγας Παναγοπούλας, στις υπερκείμενες οδικές σήραγγες της περιοχής. Η αλληλεπίδραση αυτή, εξετάζεται μέσω αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν, με την χρήση κώδικα πεπερασμένων στοιχείων και αναφέρονται τόσο στις δύο, όσο και στις τρεις διαστάσεις του χώρου.

Η σήραγγα που αναλύεται, είναι η υπό κατασκευή δίδυμη (ένας κλάδος ανά κατεύθυνση) σιδηροδρομική σήραγγα Παναγοπούλας, της νέας σιδηροδρομικής γραμμής υψηλών ταχυτήτων Κορίνθου- Πατρών, σε σχέση με τις οδικές σήραγγες T26L+R, του νέου αυτοκινητοδρόμου Κορίνθου- Πατρών (Ολυμπία Οδός).

Στο πρώτο μέρος, γίνεται αναφορά στο έργο της σιδηροδρομικής σήραγγας της Παναγοπούλας. Γίνεται παρουσίαση στα γενικά στοιχεία του έργου, την αλληλεπίδραση με το οδικό έργο της περιοχής, τους γεωλογικούς σχηματισμούς και τις τεχνικογεωλογικές ενότητες κατά μήκος της σήραγγας, όπως προέκυψαν από τις αντίστοιχες μελέτες. Στην συνέχεια παρουσιάζεται η μέθοδος διάνοιξης της σήραγγας στην περιοχή της αλληλεπίδρασης και το πρόγραμμα γεωμηχανικής παρακολούθησης της σήραγγας.

Στο δεύτερο μέρος, γίνονται προσομοιώσεις με την χρήση κώδικα πεπερασμένων στοιχείων, ώστε να εξεταστεί η επιρροή που θα επιφέρει η κατασκευή των σιδηροδρομικών σηράγγων στις οδικές σήραγγες. Αρχικά πραγματοποιούνται αναλύσεις που αναφέρονται στις δύο διαστάσεις το χώρου και στην συνέχεια αναλύσεις στις τρεις διαστάσεις του χώρου, ώστε να αποδώσουν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια αυτή την επιρροή.

Στο τέλος της εργασίας, παρατίθενται συμπεράσματα και προτάσεις, που προέκυψαν από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν με τους κώδικες πεπερασμένων στοιχείων.

Η εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας βασίστηκε σε στοιχεία τα οποία χορηγήθηκαν από την ΕΡΓΟΣΕ Α.Ε.

ABSTRACT

The present thesis aims to analyze numerically the interaction between the under construction railway tunnel and the existing motorway tunnels of Panagopoula. The analyses were realized in two and three dimensions and based on a finite element formulation.

The railway tunnel is part of the new of high speed railway connecting Korinthos to Patra and the motorway tunnel, is part of the T26L+R Olympia Odos that connects also Korinthos to Patra.

In the first part, the tunnel works in the Panagopoula railway tunnel are described. The general tunnel works, the interaction between railway and motorway and the expected conditions along the tunnel are presented according to the geotechnical investigations. Then, the construction method in the interaction area and the monitoring of the tunnel under construction, are presented.

In the second part, simulations are carried out by employing a finite elements code in order to observe the interaction of the railway tunnel under construction with the already constructed twin motorway tunnels. Initial analyses examined the interaction in the two dimensional space, in order to observe the tunnels response. Further analyses examined the interaction in the actual three dimensional space, in order to have a better estimate of the interaction.

Finally, conclusions of the analyses and subjects for future research are presented.

This thesis was based on data granted by ERGOSE S.A.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία, με τίτλο «Αλληλεπίδραση Σηράγγων Παναγοπούλας», εκπονήθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης των σπουδών μου στο Δ.Π.Μ.Σ. «Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων» του Ε.Μ.Π., κατά το ακαδημαϊκό έτος 2017-2018. Το μάθημα πάνω στο οποίο βασίζεται η παρούσα εργασία, είναι το μάθημα του 2^{ου} εξαμήνου των σπουδών μου, με τίτλο «Μέτρα Υποστήριξη Σηράγγων». Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, απαραίτητη ήταν η λήψη των απαραίτητων δεδομένων και μελετών από τις αρμόδιες υπηρεσίες, αλλά και η συνεργασία μου με τους αρμόδιους καθηγητές και το προσωπικό των υπηρεσιών αυτών. Με την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους, βοήθησαν και συνεισέφεραν στην πραγματοποίησή της.

Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες και τον σεβασμό στον υπεύθυνο καθηγητή μου, κ. Αλέξανδρο Σοφιανό, Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, αναθέτοντας μου το συγκεκριμένο θέμα. Επίσης θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε και την άριστη συνεργασία που είχαμε, καθώς και την καθοδήγηση του και αντιμετώπιση σε όποια θέματα προέκυψαν κατά την διάρκεια της συγγραφής.

Θα ήθελα επίσης, να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον υπεύθυνο μηχανικό της ΕΡΓΟΣΕ, κ. Αθανάσιο Τσαπικούνη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας, αλλά και για την παροχή όλων των απαραίτητων δεδομένων για την εκπόνηση της εργασίας.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω το προσωπικό της εταιρείας ΑΚΤΩΡ Α.Τ.Ε και συγκεκριμένα τον κ. Μήλτο Σούλα, γεωλόγο, για την συνεργασία που είχαμε και την παραχώρηση όλων των απαραίτητων δεδομένων.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Παύλο Νομικό, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών για τις συμβουλές και την βοήθεια που μου προσέφερε στις αριθμητικές επιλύσεις, καθώς και την συμμετοχή του στην τριμελή εξεταστική επιτροπή.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κωνσταντίνο Λουπασάκη, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων- Μεταλλουργών, για την παροχή δεδομένων και τη συμμετοχή τους στην τριμελή εξεταστική επιτροπή.

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Κοινοφελές Ίδρυμα Αλέξανδρου Ωνάση, για την οικονομική στήριξη που μου παρείχε μέσω της υποτροφίας εσωτερικού, για το χρονικό διάστημα από τον Οκτώβριο 2017 έως τον Μάρτιο 2018, η οποία συνέβαλε σημαντικά για την ολοκλήρωση των σπουδών μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Χαράλαμπο και Φωτεινή που έχουν σταθεί δίπλα μου όλη αυτή την περίοδο των σπουδών μου και με στηρίζουν, καθώς και του φίλους μου και συναδέλφους μου, που ήταν δίπλα μου όλη αυτή την περίοδο.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	VII
ABSTRACT.....	IX
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	XI
1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	1
1.1. Στόχος της εργασίας.....	1
1.2. Σκοπός του έργου	2
1.3. Σήραγγα Παναγοπούλας	3
1.4. Διατομή σήραγγας	5
1.5. Οριζοντιογραφία	7
1.6. Συνοδά έργα	8
1.7. Η/Μ και υδραυλικά σήραγγας	9
2. αλληλεπιδραση σηραγγων.....	13
2.1. Οδικές Σήραγγες	13
2.2. Θέσεις αλληλεπίδρασης	19
2.3. Χ.Θ. 104+000.....	22
3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ- ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	25
3.1. Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής του έργου.....	25
3.2. Στρωματογραφία της περιοχής.....	26
3.3. Τεκτονική της περιοχής.....	33
3.4. Σεισμικότητα της περιοχής	37
3.5. Υδρογεωλογικό καθεστώς	40
3.6. Τεχνικογεωλογικές συνθήκες κατά μήκος της σήραγγας	42
3.6.1. Περιοχή cut & cover εισόδου (Χ.Θ. 101+041,50- Χ.Θ. 101+255,00) ..	44
3.6.2. Περιοχή κυρίως σήραγγας (Χ.Θ. 101+255,00 - Χ.Θ. 105+620,00)	45

3.6.3. Περιοχή cut & cover εξόδου (Χ.Θ. 105+620- Χ.Θ. 105+805).....	54
4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	57
4.1. Μέθοδος διάνοιξης.....	57
4.2. Κατηγορίες Εκσκαφής Προσωρινής Υποστήριξης.....	60
4.3. Κατηγορία Εκσκαφής E2I.....	61
4.4. Μέθοδος Κατασκευής – Προσωρινή Υποστήριξη.....	69
4.5. Μόνιμη Επένδυση	74
5. γεωμηχανική παρακολούθηση της σήραγγας.....	77
5.1. Πρόγραμμα γεωμηχανικής παρακολούθησης (ΓΠ)	77
5.2. Ενόργανη γεωμηχανική παρακολούθηση	78
5.3. Θέσεις λήψης μετρήσεων.....	79
5.4. Επιτρεπόμενες συγκλίσεις κατά την διάνοιξη της σήραγγας.....	80
6. ΔΙΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΚΣΑΦΗΣ ΜΕ ΚΩΔΙΚΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	81
6.1. Κώδικας πεπερασμένων στοιχείων	81
6.2. Παράμετροι σχεδιασμού	81
6.2.1. Γεωμετρία Εκσκαφής.....	81
6.2.2. Αποτόνωση Βραχόμαζας	82
6.2.3. Στάδια Ανάλυσης.....	83
6.2.4. Προσομοίωση Βραχόμαζας	85
6.2.5. Γεωστατικό Πεδίο.....	86
6.3. Παράμετροι προσωρινών μέτρων υποστήριξης.....	87
6.4. Λήψη μετρήσεων	90
6.5. Διδιάστατη Προσομοίωση 1 (Οριζόντια Διέλευση)	92
6.5.1. Αποτελέσματα (Κατακόρυφες Μετακινήσεις)	93
6.5.2. Αποτελέσματα (Οριζόντιες Μετακινήσεις)	94
6.6. Διδιάστατη Προσομοίωση 2 (Cross Passage).....	95

6.6.1.	Αποτελέσματα (Κατακόρυφες Μετακινήσεις)	96
6.6.2.	Αποτελέσματα (Οριζόντιες Μετακινήσεις)	98
7.	ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΚΣΑΦΗΣ ΜΕ ΚΩΔΙΚΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	99
7.1.	Κώδικας πεπερασμένων στοιχείων	99
7.2.	Παράμετροι σχεδιασμού	99
7.2.1.	Γεωμετρία Εκσκαφής.....	99
7.2.2.	Στάδια Ανάλυσης.....	100
7.2.3.	Προσομοίωση Βραχόμαζας	100
7.2.4.	Γεωστατικό Πεδίο.....	101
7.3.	Παράμετροι προσωρινών μέτρων υποστήριξης.....	102
7.4.	Λήψη μετρήσεων	105
7.5.	Τριδιάστατη Προσομοίωση 1 (Οριζόντια Διέλευση)	105
7.5.1.	Αποτελέσματα (Κατακόρυφες Μετακινήσεις)	106
7.5.2.	Αποτελέσματα (Οριζόντιες Μετακινήσεις)	108
7.6.	Τριδιάστατη Προσομοίωση 2 (Κάθετη Διέλευση)	109
7.6.1.	Αποτελέσματα (Κατακόρυφες Μετακινήσεις)	111
7.6.2.	Αποτελέσματα (Οριζόντιες Μετακινήσεις)	112
7.7.	Τριδιάστατη Προσομοίωση 3 (Cross Passage)	114
7.7.1.	Αποτελέσματα (Κατακόρυφες Μετακινήσεις)	116
7.7.2.	Αποτελέσματα (Οριζόντιες Μετακινήσεις)	117
8.	Συμπεράσματα- προτάσεις	119
8.1.	Καμπύλη σύγκλισης- αποτόνωσης.....	119
8.2.	Αξονικές δυνάμεις υποστήριξης	120
8.3.	Ροπές κάμψης υποστήριξης.....	120
8.4.	Τέμνουσες δυνάμεις υποστήριξης.....	121
8.5.	Επίδραση κεντρικού πυλώνα εκσκαφής	122

8.6.	Αλληλεπίδραση κλάδων.....	125
8.7.	Επίδραση γεωμετρίας εκσκαφής.....	126
8.8.	Προσομοίωση δοκών προπορείας.....	130
8.9.	Σύγκριση αποτελεσμάτων 2D και 3D.....	131
8.10.	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	132
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		135
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α		A
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....		F
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ.....		M

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ- ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 1.1 (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)	2
Χάρτης 1.2(Πηγή: Google Earth)	4
Σχήμα 1.1.....	7
Σχήμα 2.1	14
Σχήμα 2.2	14
Σχήμα 2.3	15
Σχήμα 2.4	16
Χάρτης 2.1	20
Χάρτης 2.2	20
Χάρτης 2.3	21
Χάρτης 2.4	21
Χάρτης 2.5	22
Σχήμα 2.1a.....	23
Σχήμα 2.1b.....	23
Σχήμα 2.....	24
Χάρτης 3.2	34
Χάρτης 3.3	35
Σχήμα 4.1	58
Σχήμα 4.2	62
Σχήμα 4.3.....	63
Σχήμα 4.4.....	64
Σχήμα 4.5.....	65
Σχήμα 4.6.....	66
Σχήμα 4.7.....	66
Σχήμα 4.8.....	67
Σχήμα 4.9.....	68
Σχήμα 4.10.....	68
Σχήμα 6.1	91
Σχήμα 6.2.....	91
Σχήμα 6.5.1.....	93
Σχήμα 6.5.2.....	95
Σχήμα 6.6.1.....	97
Σχήμα 6.5.2.....	98
Σχήμα 7.6.....	110
Σχήμα 7.7.....	115
Σχήμα 8.1.....	120

Σχήμα 8.2.....	121
Σχήμα 8.3.....	122
Σχήμα 8.4.....	123
Σχήμα 8.5.....	130
ΧΑΡΤΗΣ 1.3	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
ΧΑΡΤΗΣ 1.4	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
ΧΑΡΤΗΣ 1.5	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
ΧΑΡΤΗΣ 3.1 (Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε.)	E
Σχήμα 3.1.....	M
Σχήμα 7.5.3.....	M
Σχήμα 7.5.4.....	M
Σχήμα 7.6.3.....	N
Σχήμα 7.6.4.....	N
Σχήμα 7.7.3.....	O
Σχήμα 7.7.4	O

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1 (Πηγή: Ολυμπία Οδός)	17
Εικόνα 2.2 (Πηγή: Ολυμπία Οδός)	18
Εικόνα 2.3 (Πηγή: Ολυμπία Οδός)	19
Εικόνα 3.1 (Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε.)	28
Εικόνα 3.2	45
Εικόνα 3.3	45
Εικόνα 3.4	46
Εικόνα 3.5	47
Εικόνα 3.6	47
Εικόνα 3.7	48
Εικόνα 3.8	49
Εικόνα 3.9	49
Εικόνα 3.10	50
Εικόνα 3.11	50
Εικόνα 3.12	51
Εικόνα 3.13	52
Εικόνα 3.14	52
Εικόνα 3.15	53
Εικόνα 3.16	53
Εικόνα 3.17	54
Εικόνα 4.1 (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)	69
Εικόνα 4.2 (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)	70
Εικόνα 4.3 (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)	71
Εικόνα 4.4 (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)	72
Εικόνα 4.5 (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)	73
Εικόνα 4.6 (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)	74
Εικόνα 4.7 (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)	75
Εικόνα 4.8 (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)	75
Εικόνα 4.9 (Πηγή: ΕΡΓΟΣΕ)	76
Εικόνα 6.1	82
Εικόνα 6.2	83
Εικόνα 6.3	87
Εικόνα 6.4	89
Εικόνα 6.5	90
Εικόνα 6.6	96

Εικόνα 7.1	100
Εικόνα 7.2	102
Εικόνα 7.5.1a	107
Εικόνα 7.5.1b	107
Εικόνα 7.5.2a	108
Εικόνα 7.5.2b	109
Εικόνα 7.6.1a	111
Εικόνα 7.6.1b	112
Εικόνα 7.6.2a	113
Εικόνα 7.6.2b	113
Εικόνα 7.7.1a	116
Εικόνα 7.7.1b	116
Εικόνα 7.7.2a	117
Εικόνα 7.7.2b	118
Εικόνα 8.1	124
Εικόνα 8.2	124
Εικόνα 8.3	125
Εικόνα 8.4	126
Εικόνα 8.5	127
Εικόνα 8.6	128
Εικόνα 8.7	129
Εικόνα 8.8	131
Εικόνα 8.9	132

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1.....	42
Πίνακας 3.2.....	44
Πίνακας 3.3.....	44
Πίνακας 4.1.....	61
Πίνακας 4.2.....	76
Πίνακας 5.1.....	80
Πίνακας 6.1.....	85
Πίνακας 6.5.....	92
Πίνακας 6.5.1.....	94
Πίνακας 7.1	106
Πίνακας 7.2.....	106
Πίνακας 7.3.....	110
Πίνακας 7.4.....	115
Πίνακας 6.6a	G
Πίνακας 6.6b.....	H
Πίνακας 6.7a	I
Πίνακας 6.7b.....	J

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 3.1.....	38
Διάγραμμα 8.1	119

1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

1.1. Στόχος της εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία, χωρίζεται σε δύο βασικές ενότητες. Στην πρώτη ενότητα, στην οποία χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από τις αντίστοιχες μελέτες, γίνεται περιγραφή των γεωλογικών συνθηκών της περιοχής, των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων κατά μήκος της σήραγγας και της μεθόδου κατασκευής της σήραγγας. Συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 2, γίνεται αναφορά στις οδικές σήραγγες της περιοχής της Παναγοπούλας και τον τρόπο που αυτές αλληλοεπιδρούν στην υπό κατασκευή σιδηροδρομική σήραγγα.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται αναφορά στους γεωλογικούς σχηματισμούς της ευρύτερης περιοχής, που εντάσσονται στην γεωλογική ζώνη Ωλονού- Πίνδου, στο γεωμορφολογικό καθεστώς της περιοχής, τις επικρατούσες υδρογεωλογικές συνθήκες και την έντονη τεκτονική δραστηριότητα της περιοχής. Στην συνέχεια παρατίθενται στοιχεία από το σύνολο των ερευνητικών γεωτεχνικών εργασιών, που πραγματοποιήθηκαν για την μελέτη των γεωτεχνικών συνθηκών στην περιοχή της σήραγγας. Επίσης γίνεται λεπτομερής παράθεση των μηχανικών χαρακτηριστικών, που προέκυψαν από τις εργαστηριακές δοκιμές, για κάθε θέση της σήραγγας.

Στο κεφάλαιο 4, γίνεται αναφορά στον τρόπο κατασκευής της σήραγγας και συγκεκριμένα για τον τρόπο διάνοιξης της σήραγγας στην περιοχή αλληλεπίδρασης της σιδηροδρομικής σήραγγας με την οδική σήραγγα. Επίσης περιγράφεται η κατασκευή της μόνιμης επένδυσης της σήραγγας.

Στο κεφάλαιο 5, γίνεται αναφορά στο πρόγραμμα γεωμηχανικής παρακολούθησης της σήραγγας και παρουσιάζονται οι επιτρεπόμενες παραμορφώσεις στα μέτρα προσωρινής υποστήριξης.

Η δεύτερη ενότητα, βασίζεται σε στοιχεία που προέκυψαν από την φάση κατασκευής σε συνδυασμό με σκοπό την ανάλυση με κώδικες πεπερασμένων στοιχείων της περιοχής αλληλεπίδρασης μεταξύ του οδικού και του σιδηροδρομικού έργου. Συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 6, γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων, που

προέκυψαν από δισδιάστατες αναλύσεις και γίνεται σύγκριση των τιμών με αυτών της μελέτης.

Στο κεφάλαιο 7, γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων, που προέκυψαν από τρισδιάστατες αναλύσεις και γίνεται σύγκριση των τιμών με αυτών της μελέτης.

Τέλος στο κεφάλαιο 8, παρατίθενται συμπεράσματα και προτάσεις, που προκύπτουν από τις αναλύσεις των κεφαλαίων 6 και 7.

1.2. Σκοπός του έργου

Η σιδηροδρομική σήραγγα Παναγοπούλας βρίσκεται 21km βορειοανατολικά της Πάτρας και ανήκει στη χάραξη του τμήματος Ροδοδάφνη- Ψαθόπυργος, της νέας σιδηροδρομικής γραμμής Αθήνας- Πάτρας.

Η χάραξη του έργου ξεκινάει από τον σιδηροδρομικό σταθμό Ροδοδάφνης και τελειώνει στον σιδηροδρομικό σταθμό Ψαθόπυργος (Χάρτης 1.1).



Χάρτης 1.1 (Χάραξη Έργου)

Το τμήμα αυτό της νέα σιδηροδρομικής γραμμής, έχει μήκος 21.5km και περιλαμβάνει:

- 1 σιδηροδρομική σήραγγα στην περιοχή Παναγοπούλας, μήκους 4.800m
- 3 σιδηροδρομικές γέφυρες
- 4 οδικές γέφυρες

- 27 ανισόπεδες διαβάσεις
- 4 σιδηροδρομικοί σταθμοί: Ροδοδάφνη, Σελιανίτικα, Καμάρες, Ψαθόπυργος

Για τις ανάγκες γεωγραφικής παρακολούθησης του Έργου από την ΕΡΓΑ ΟΣΕ Α.Ε., το σύνολο της χάραξης, έχει διαχωριστεί σε τρία τμήματα :

- 1^ο Τμήμα :Χ.Θ. 91+500 – 100+000
- 2^ο Τμήμα :Χ.Θ. 100+000 – 106+000
- 3^ο Τμήμα :Χ.Θ. 106+000 – 113+000

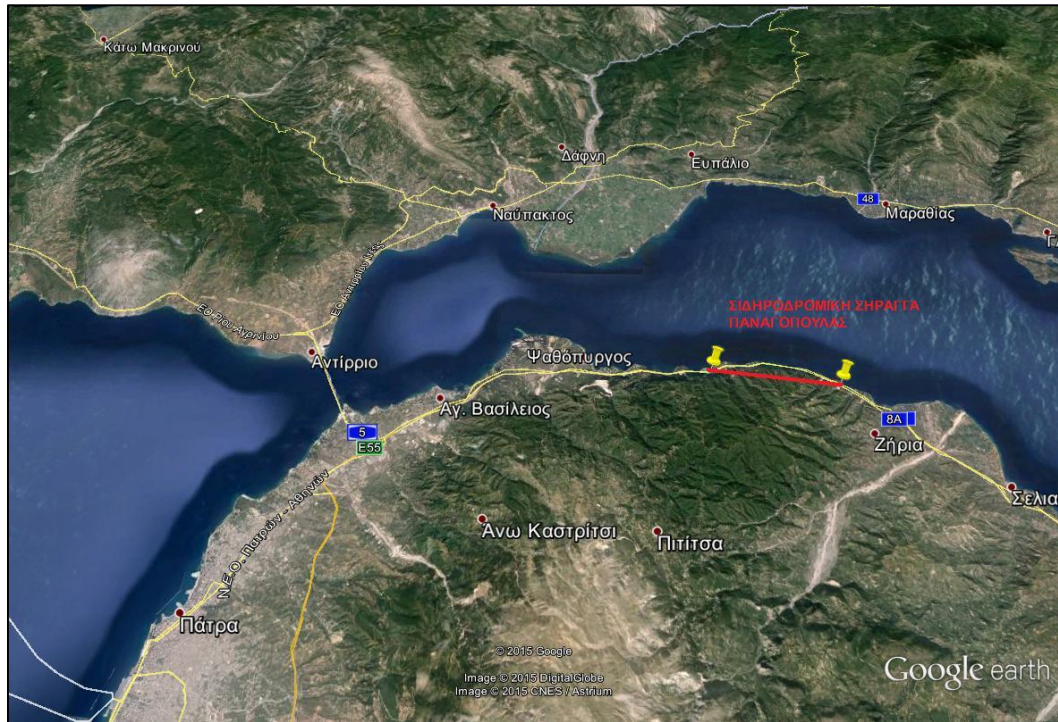
Η ταχύτητα μελέτης, στο υφιστάμενο τμήμα, είναι περί τα 100-150km/h. Το έργο θα περιλαμβάνει σηματοδότηση- τηλεδιοίκηση, τηλεπικοινωνίες και ηλεκτροκίνηση.

Στο ανοιχτό τμήμα της νέας σιδηροδρομικής γραμμής, η αξονική απόσταση μεταξύ των δυο κλάδων έχει μήκος 4,20m. Ο κάθε κλάδος θα φέρει σιδηροτροχίες κανονικού εύρους (1.435mm) Σε απόσταση 5,10m εκατέρωθεν του κεντρικού άξονα χάραξης προβλέπεται θέση στύλων ηλεκτροκίνησης ενώ το συνολικό πλάτος του καταστρώματος της υποδομής, θα είναι 13,00m.

Ο κύριος του έργου είναι η ΕΡΓΟΣΕ Α.Ε, ενώ η κατασκευή χρηματοδοτήθηκε από το ΕΣΠΑ 2007-2013 με κόστος 315 εκ. ευρώ. Ύστερα από δημοπράτηση, την κατασκευή του έργου ανέλαβε το Μάιο του 2012 η κοινοπραξία ΑΚΤΩΡ- J&P ΑΒΑΞ- ΤΕΡΝΑ. Το έργο σήμερα (Μάρτιος 2018), έχει ολοκληρωθεί πλήρως.

1.3. Σήραγγα Παναγοπούλας

Η δίδυμη σιδηροδρομική σήραγγα Παναγοπούλας, βρίσκεται στην περιοχή της Παναγοπούλας Αχαΐας (Χάρτης 1.2).



Χάρτης 1.2(Δορυφορική Εικόνα της περιοχής του Έργου)

Στην περιοχή αυτή, αποφασίστηκε η κατασκευή σήραγγας, με σκοπό να αποφευχθεί αφενός ο ορεινός όγκος της Παναγοπούλας, που εμποδίζει την κατασκευή σιδηροδρομικής γραμμής υψηλών ταχυτήτων, αφετέρου η κατολίθηση που βρίσκεται στην περιοχή και ενεργοποιήθηκε το 1971 (Εικόνα 1.1), δημιουργώντας δυσμενείς γεωτεχνικές συνθήκες.



Εικόνα 1.1 (Κατολίσθηση Παναγοπούλας 1971)

Επίσης στην ίδια περιοχή ευρίσκοντο και οι οδικές σήραγγες T24-T26, της νέας εθνικής οδού Κορίνθου- Πατρών. Για τον λόγο αυτό η σιδηροδρομική σήραγγα, διέρχεται σε χαμηλότερο υψόμετρο από αυτό των οδικών.

Στην μελέτη κατασκευής του έργου, εξετάστηκαν δύο περιπτώσεις για την κατασκευή του έργου:

Το τεχνικό έργο της σήραγγας Παναγοπούλας βρίσκεται μεταξύ των Χ.Θ. 101+000 και 106+000 και για την κατασκευή του εξετάζονται οι ακόλουθες περιπτώσεις - λύσεις:

A) Δίδυμη σήραγγα με ενδιάμεσους συνδετήριους διαδρόμους, από δύο κλάδους, όπου κάθε ένας θα περιλαμβάνει μια σιδηροδρομική γραμμή.

B) Μονή σήραγγα με κάθετες σήραγγες διαφυγής, διπλού κλάδου με δύο σιδηροδρομικές γραμμές, μια ανά κατεύθυνση.

Τελικά επιλέχθηκε η περίπτωση A.

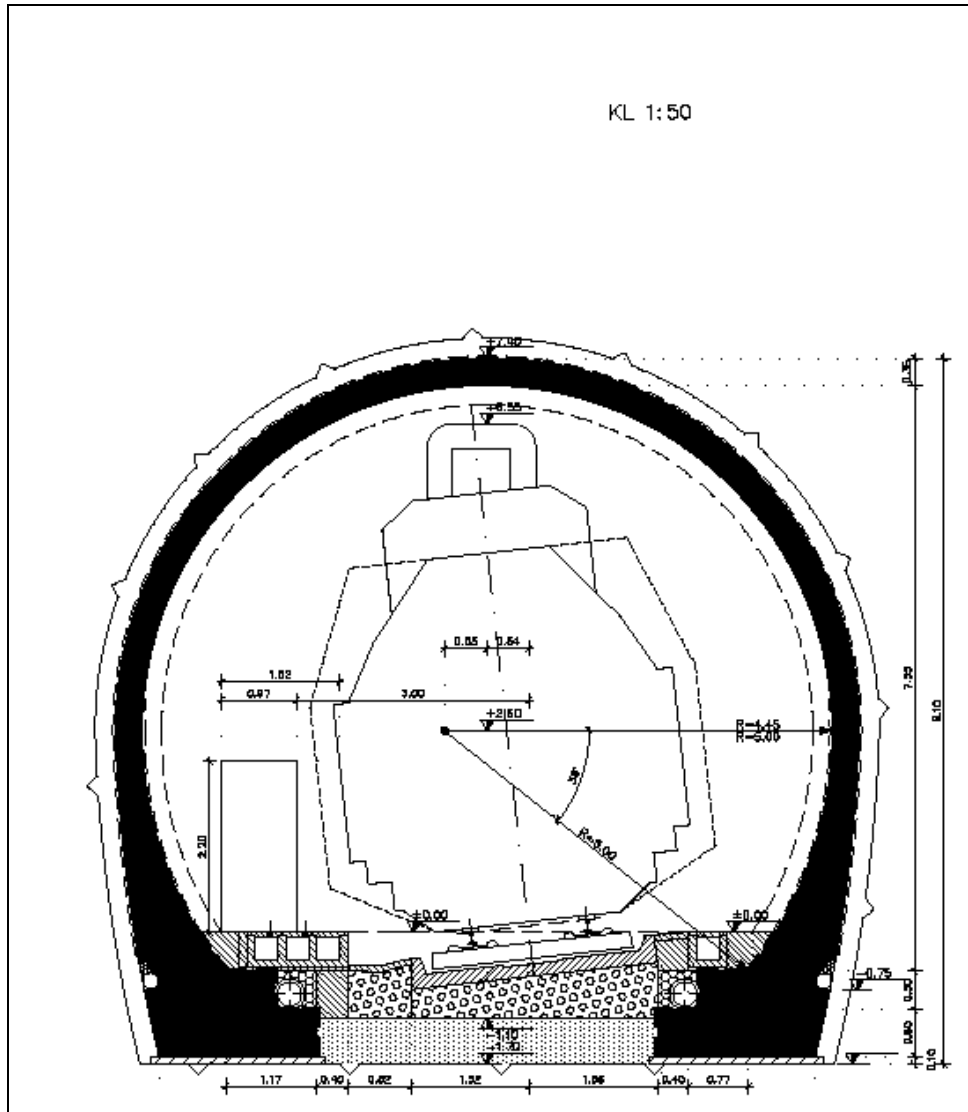
1.4. Διατομή σήραγγας

Η ΕΡΓΟΣΕ Α.Ε στο σχεδιασμό των σηράγγων, χρησιμοποιεί τις προδιαγραφές των γερμανικών κανονισμών και συγκεκριμένα την προδιαγραφή (Ril 853, 2002).

Στο σχεδιασμό της διατομής λήφθηκε υπόψη ως μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα τα 160km/h. Η διατομή της κάθε σήραγγας έχει ελεύθερο πλάτος 8,90 m και ελεύθερο ύψος από 7,50 έως 9,20 m ανάλογα τον τύπο της διατομής. Το ελεύθερο ύψος πάνω από το άνω άκρο της σιδηροτροχιάς είναι 7,05 m.

Κάθε κλάδος της σήραγγας έχει πλάτος καταστρώματος υποδομής 4,40m και προβλέπεται μονό πεζοδρόμιο. Επίσης προβλέπεται επισφαλής περιοχή 3,0m, ασφαλής περιοχή (είτε διάδρομος προσωπικού υπηρεσίας) 0,83m και πρόσθετος χώρος 0,25m για μελλοντική χρήση από την υπηρεσία (περιλαμβάνει 5cm κατασκευαστική ανοχή της μόνιμης επένδυσης).

Η διατομή χρήσης και το πειριτύπωμα τους συρμού για τον κάθε κλάδο της σήραγγας, φαίνεται στο ΣΧΗΜΑ 1.1.



Σχήμα 1.1 (Περιτόπωμα Σιδηροδρομικής Σήραγγας)

1.5. Οριζοντιογραφία

Στην οριζοντιογραφία της σήραγγας (Χάρτης 1.3/ Παράρτημα Α), αποτυπώνεται η χάραξη των δύο κλάδων της σιδηροδρομικής σήραγγας Παναγοπούλας, η θέση έναρξης και πέρατος της υπόγειας διάνοιξης (μοβ χρώμα), οι θέσεις των cut & cover εισόδου και εξόδου, οι οδικές σήραγγες T24-T26 (γκρι χρώμα) που διέρχονται από την περιοχή, καθώς και η γεωμορφολογία της περιοχής.

1.6. Συνοδά έργα

- **Σήραγγα ενδιάμεσης προσβολής**

Στα πλαίσια κατασκευής των δύο κλάδων της σήραγγας, κατασκευάστηκε μία στοά ενδιάμεσης προσβολής, μήκους 550m. Η διατομή της στοάς έχει ελεύθερο πλάτος 6,80m και ελεύθερο ύψος 5,10m.

Για τη διάνοιξη της σήραγγας ενδιάμεσης προσβολής απαιτήθηκε η κατασκευή εργοταξιακού δρόμου παράλληλα της Ν.Ε.Ο. και ανάντη αυτής. Η εργοταξιακή οδός, λόγω του έντονου ανάγλυφου της περιοχής, είχε ελάχιστο πλάτος 5m χρησιμοποιήθηκε μόνο από τα φορτηγά και τα μηχανήματα για την κατασκευή της σήραγγας διαφυγής. Λόγω της παραπάνω ιδιαιτερότητας, η οδός μηκοτομικά ακουμπά στο φυσικό έδαφος για την αποφυγή διατάραξης του ορεινού όγκου και εξυπηρετεί βαρέα οχήματα που κινούνται με χαμηλές ταχύτητες δίχως, εν γένει, να επιτρέπεται η προσπέραση.

Η οδός έχει μήκος 626m και η αρχή της βρίσκεται στη Χ.Θ. 0+632,34 της σήραγγας διαφυγής. Η συγκεκριμένη θέση διαμορφώθηκε κατάλληλα, ώστε να δημιουργηθεί χώρος αναμονής και ελιγμών των φορτηγών.

Για τα πρώτα 105m η οδός κινείται σε ευθυγραμμία ακολουθώντας το ανάγλυφο της περιοχής όσο γίνεται περισσότερο ώστε να αποφεύγονται τα ορύγματα ανάντη και τα επιχώματα κατόντη λόγω του υφιστάμενου τοίχου της Ν.Ε.Ο. Στη συνέχεια κινείται ακολουθώντας πορεία γειτνίασης με τον υφιστάμενο τοίχο της Ν.Ε.Ο. Ακολουθώντας απομακρύνεται από την Ν.Ε.Ο. περνώντας πάνω από ρέμα στη Χ.Θ. 0+250,49. Από τη Χ.Θ. 0+255 έως τη Χ.Θ. 0+305 περίπου διαμορφώνεται ανάντη χώρος αναμονής των φορτηγών. Στη συνέχεια η οδός γειτνιάζει με υφιστάμενο τοίχο της Ν.Ε.Ο. Από τη Χ.Θ. 0+438 έως τη Χ.Θ. 0+468 στην ανάντη πλευρά, κατασκευάστηκε τοιχίο μήκους 30m και μέσου ύψους 2,0 m. Στα τελευταία 60m η οδός κατεβαίνει υψομετρικά περίπου 4,50m για να συμβάλει στην υφιστάμενη κάτω διάβαση της Ν.Ε.Ο. πλάτους 4,00m και ύψους 3,00m.

- **Συνδετήριες σήραγγες**

Σύμφωνα με την μελέτη της σήραγγας, κατασκευάστηκαν συνδετήριες στοές για τους κλάδους της κύριας σήραγγας, κάθε 500m περίπου. Η διατομή της κάθε στοάς έχει ελεύθερο πλάτος 5,50m και ελεύθερο ύψος 4,50m.

1.7. Η/Μ και υδραυλικά σήραγγας

- **Πυρόσβεση**

Τοποθετείται πυροσβεστικό δίκτυο νερού, που περιλαμβάνει κατάλληλους πυροσβεστικούς κρουνοί στην μία πλευρά της σήραγγας. Το πυροσβεστικό δίκτυο κατασκευάζεται με σωλήνες από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HIGH DENSITY) 10 atm, που τοποθετούνται υπόγεια κάτω από το πεζοδρόμιο της σήραγγας.

- **Η/Μ σήραγγας**

Στα Η/Μ της σήραγγας, προβλέπεται η κατασκευή και τοποθέτηση των απαραίτητων σωληνώσεων, καναλιών και οχετών καλωδίων που εξυπηρετούν τις Η/Μ εγκαταστάσεις ισχυρών και ασθενών ρευμάτων. Συγκεκριμένα

- ✓ **Εξωτερικός φωτισμός**

Κατασκευάζονται φρεάτια 40x40cm και σωλήνες πολυαιθυλενίου PE-HD Φ110mm εγκιβωτισμένες σε σκυρόδεμα των εγκαταστάσεων οδοφωτισμού των προβλητών στις εισόδους και εξόδους των σηράγγων.

- ✓ **Παροχή μέσης και χαμηλής τάσης στις σήραγγες**

Κατασκευάζονται φρεάτια διακλαδώσεως υπογείων καλωδίων διαστάσεων 100X100cm, και σωλήνες πολυαιθυλενίου PE-HD Φ110mm εγκιβωτισμένες σε σκυρόδεμα για την παροχέτευση των δικτύων μέσης και χαμηλής τάσης στις σήραγγες.

- ✓ **Υποδομή για την διασύνδεση συνδετήριων διαδρομών και σηράγγων**

Κατασκευάζονται σωληνώσεις διασύνδεσης των συνδετηρίων διαδρόμων με τις παρειές των κυρίων σηράγγων και τα κανάλια που τις διατρέχουν καθώς και των καναλιών μεταξύ τους για την διέλευση κάθε είδους καλωδίων. Η σωλήνωση αποτελείται από σωλήνες πολυαιθυλένιο (PE - HD), Φ110mm, πίεσης λειτουργίας 6atm.

- ✓ **Γειώσεις – ισοδύναμη προστασία σήραγγας**

Εγκαθίσταται η γείωση όπου απαιτείται στην σήραγγα για την ηλεκτροκίνηση των συρμών. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει:

- Δύο χαλύβδινες, θερμά επιψευδαργυρωμένες λάμες γείωσης, κάθε μία διαστάσεων 30 x 3,5mm, που τοποθετούνται σ' όλο το μήκος, και στις δύο πλευρές, της σήραγγας, χαμηλά στα πέδιλα.
- Δύο ζεύγη χαλύβδινων, θερμά επιψευδαργυρωμένων ράβδων Φ16mm, που τοποθετούνται σ' όλο το μήκος, και στις δύο πλευρές της σήραγγας σε ύψος 70cm από το πεζοδρόμιο και στην άκρη του καναλιού καλωδίων.
- Γεφυρώσεις των παραπάνω στοιχείων μεταξύ τους πλησίον των αρμών, στην αρχή και το τέλος κάθε τμήματος 12,5m, με θερμά επιψευδαργυρωμένη ράβδο Φ16mm (ή ταινία 30 x 3,5mm) που τοποθετείται εγκάρσια, παράλληλα με τους αρμούς και περιμετρικά στην διατομή της σήραγγας στον θόλο και κάτωθεν της γραμμής.
- Γεφύρωση των ράβδων οπλισμού της σήραγγας στο θόλο και κάτωθεν της γραμμής με πυκνότητα ανά 2m και με τους εγκάρσιους αγωγούς γείωσης της σημ. (γ), (2 συνδέσεις σε κάθε τμήμα σκυροδέτησης μήκους 12,5m στην αρχή και στο τέλος).
- Τέσσερις (4) αναμονές από μπάρα χαλκού επικασσιτερωμένη σε κάθε τμήμα σκυροδέτησης 12,5m με αγωγό Cu 70 mm².
- Εύκαμπτους αγωγούς διασύνδεσης (2 σε κάθε αρμό) των παραπάνω αναμονών (ε) με αγωγό Cu 70 mm².
- Με αγωγό Cu 70 mm² γείωσης συνδέονται τοπικά και οι ακροδέκτες γείωσης όλων των Ανεμιστήρων Jet – Fans, οι υποπίνακες τα μεταλλικά κανάλια των ηλεκτρικών καλωδίων και γενικώς κάθε μεταλλικό αντικείμενο.
- Γεφύρωση των σιδηροτροχιών με τους αγωγούς γείωσης ανά 100m με ταινία ή ράβδο χαλύβδινη θερμά επιψευδαργυρωμένη Φ16mm.

- **Υδραυλικά σήραγγας**

Σε κάθε πλευρά της διατομής της σήραγγας, κάτω από τα πεζοδρόμια, τοποθετούνται οι αγωγοί διέλευσης καλωδίων. Στο κάτω μέρος των φρεατίων καλωδιώσεων και από τις δύο πλευρές της σήραγγας κατασκευάζονται συλλεκτήριοι αγωγοί αποχέτευσης οι

οποίοι συνδέονται με σωλήνες αποστράγγισης κάθε 50m μέσω επίπεδων φρεατίων ελέγχου και διοχετεύουν τα ύδατα στις εξόδους της σήραγγας.

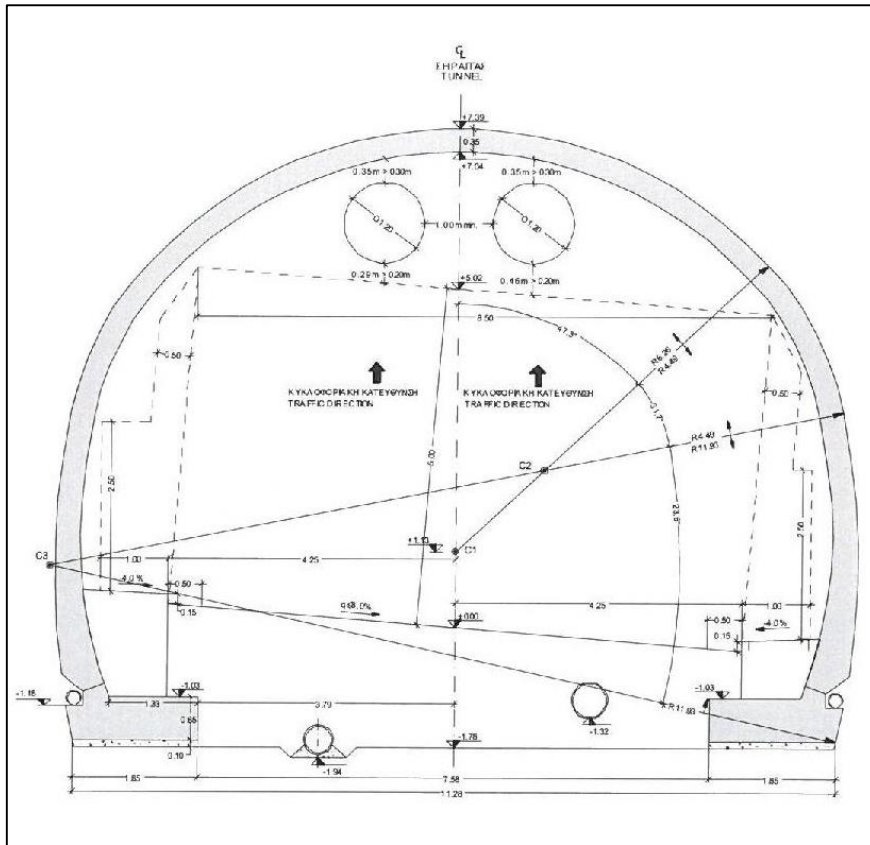
Κατά μήκος των σηράγγων κάθε 125m εκατέρωθεν τοποθετούνται ερμάρια, ενώ κάθε 50m εκατέρωθεν κατασκευάζεται φρεάτιο επίσκεψης για τον σωλήνα αποχέτευσης και τον σωλήνα αποστράγγισης.

2. ΑΛΛΗΛΕΠΙΡΑΣΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

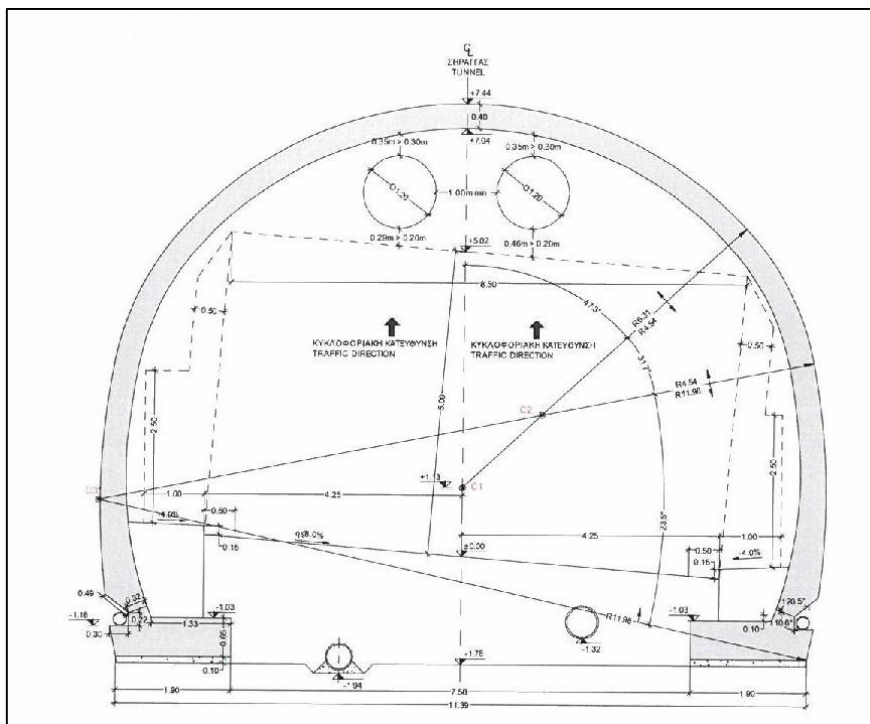
2.1. Οδικές Σήραγγες

Η σιδηροδρομική σήραγγα Παναγοπούλας, διέρχεται οριζοντογραφικά σε κατώτερο επίπεδο σε σχέση με τις οδικές σήραγγες T24 και T26, όπου βρίσκονται στην περιοχή του έργου. Το σύμπλεγμα των οδικών σηράγγων Παναγοπούλας T24, T25 και T26 κατασκευάστηκε στα πλαίσια της κατασκευής της Ν.Ε.Ο Κορίνθου- Πατρών (Ολυμπία Οδός). Η κατασκευή τους άρχισε το 2009 ενώ παραδόθηκαν σε κυκλοφορία τον Απρίλιο του 2017.

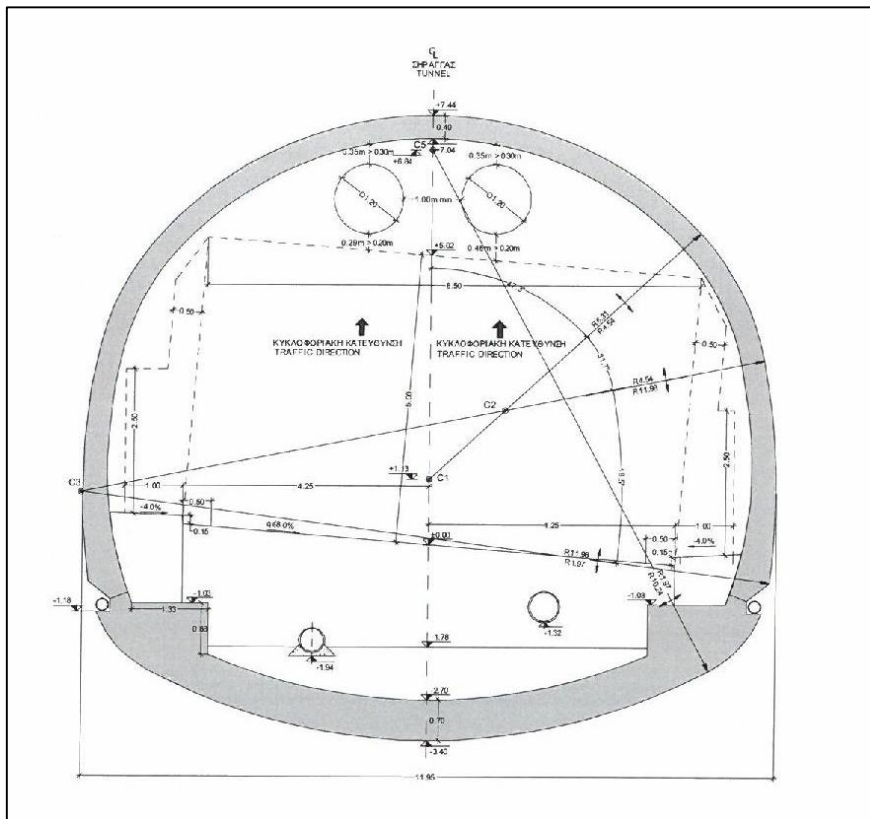
Όλες οι οδικές σήραγγες, αποτελούνται από δύο λωρίδες κυκλοφορίας, εκάστη πλάτους 3,75m, ενώ φέρουν και πλευρικά πεζοδρόμια πλάτους 1m. Το ελεύθερο ύψος των σηράγγων πάνω από το οδόστρωμα, είναι 5m. Ανάλογα με τις γεωτεχνικές συνθήκες της περιοχής, προκύπτουν τέσσερις κατηγορίες τελικής επένδυσης, που αποτελούν και το τελικό περιτύπωμα των σηράγγων, για πάχη επένδυσης 35,40,50cm και παρουσία ή μη τελικού ανάστροφου τόξου (Σχήματα 2.1, 2.2 ,2.3, 2.4).



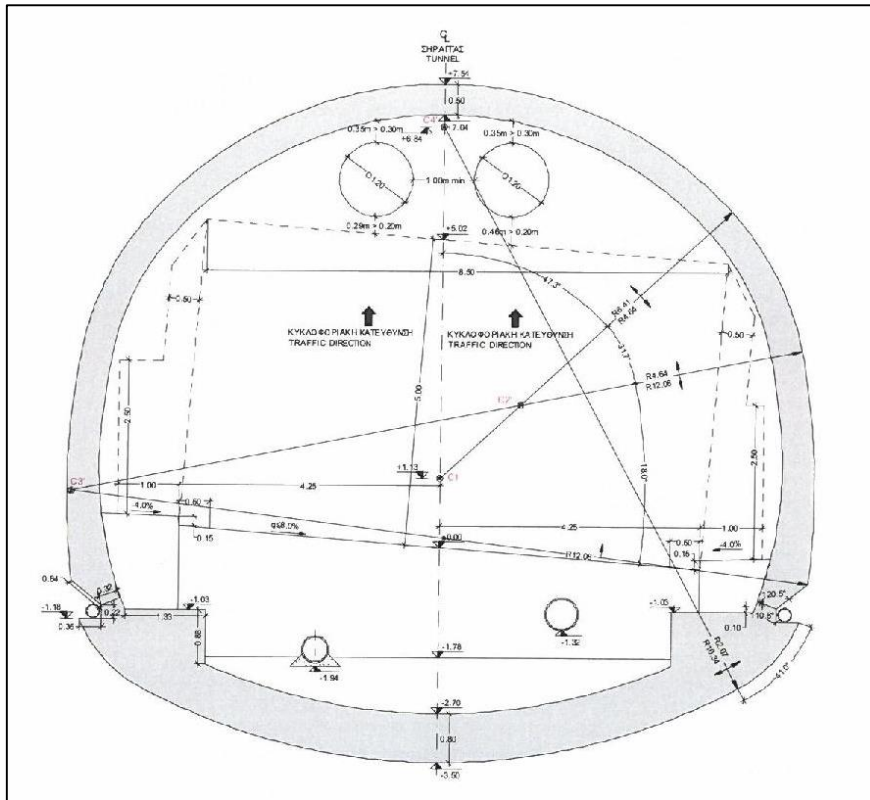
Σχήμα 2.1 (Περιτόπωμα Οδικής Σήραγγας, Πάχος Σκυροδέματος 35cm)



Σχήμα 2.2 (Περιτόπωμα Οδικής Σήραγγας, Πάχος Σκυροδέματος 40cm)



Σχήμα 2.3 (Περιτόπωμα Οδικής Σήραγγας, Πάχος Σκυροδέματος 40cm + invert)



Σχήμα 2.4 (Περιτόπωμα Οδικής Σήραγγας, Πάχος Σκυροδέματος 45cm + invert)

- **Σήραγγα T24**

Η οδική σήραγγα T24 (Εικόνα 2.1), αποτελείται από ένα κλάδο με κατεύθυνση προς Κόρινθο.

Η σήραγγα, έχει συνολικό μήκος 548m, από τα οποία τα 536m, αποτελούν την υπόγεια διάνοιξη, ενώ στα στόμια εισόδου και εξόδου, έχει κατασκευαστεί τεχνικό cut & cover, έκαστο 6.50m.

Περί την Χ.Θ. 101+000 της σήραγγας, υπάρχει σήραγγα διαφυγής συνολικού μήκους 133m, όπου εξέρχεται πλησίον της Ν.Ε.Ο Κορίνθου- Πατρών.



Εικόνα 2.1 (Σήραγγα T24)

- **Σήραγγα T25**

Η οδική σήραγγα T25 (Εικόνα 2.2), αποτελείται από ένα κλάδο με κατεύθυνση προς Κόρινθο.

Η σήραγγα , έχει συνολικό μήκος 572m, από τα οποία τα 518m αποτελούν την υπόγεια διάνοιξη, ενώ στο δυτικό στόμιο, έχει κατασκευαστεί τεχνικό cut & cover μήκους 47,5m, ενώ στο ανατολικό στόμιο, έχει κατασκευαστεί τεχνικό cut & cover μήκους 6,5m

Περί την Χ.Θ. 101+675 της σήραγγας, υπάρχει σήραγγα διαφυγής συνολικού μήκους 82m, όπου εξέρχεται πλησίον της Ν.Ε.Ο Κορίνθου- Πατρών.



Εικόνα 2.2 (Σήραγγα T25)

- **Σήραγγα T26**

Οι οδικές σήραγγες T26L+R (Εικόνα 2.3), αποτελούνται από δύο κλάδους, με αξονική απόσταση 35m. Ο κλάδος L, έχει κατεύθυνση προς Κόρινθο, ενώ ο κλάδος R, έχει κατεύθυνση προς Πάτρα.

Ο κλάδος L, έχει συνολικό μήκος 4.016,52m, από τα οποία τα 4.003,52m, αποτελούν την υπόγεια διάνοιξη, ενώ στα στόμια εισόδου και εξόδου, έχει κατασκευαστεί τεχνικό cut & cover, έκαστο 6.50m.

Ο κλάδος R, έχει συνολικό μήκος 3.173,00m, από τα οποία τα 3.160,00m, αποτελούν την υπόγεια διάνοιξη, ενώ στα στόμια εισόδου και εξόδου, έχει κατασκευαστεί τεχνικό cut & cover, έκαστο 6.50m.

Οι σήραγγες φέρουν δέκα (10) συνδετήριους διαδρόμους, ανά 300m και μία σήραγγα εκκαπνισμού – διαφυγής, συνολικού μήκους 480m, όπου βρίσκεται περί την Χ.Θ. 104+220. Επίσης ανά δύο (2) συνδετήριους διαδρόμους, διαμορφώνεται πλάτυσμα προσωρινής στάθμευσης, όπου ο κλάδος L φέρει έξι (6), ενώ ο κλάδος R πέντε (5).

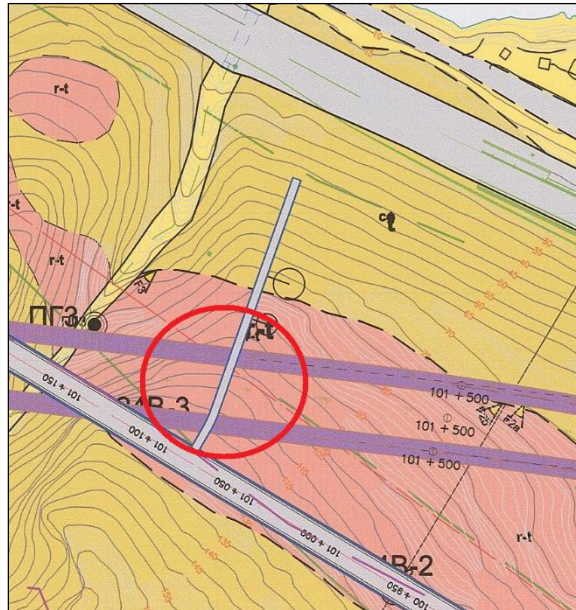


Εικόνα 2.3 (Σήραγγες T26)

2.2. Θέσεις αλληλεπίδρασης

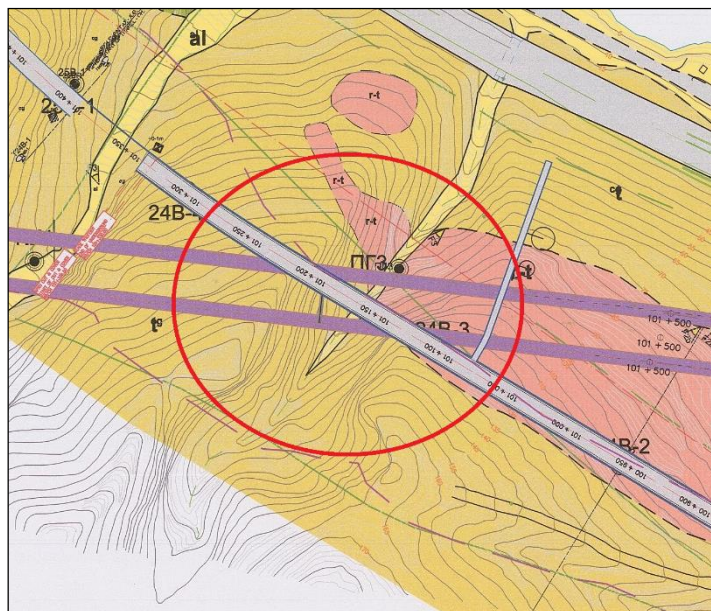
Όπως προαναφέρθηκε η κατασκευή των οδικών σήραγγων στη περιοχή της Παναγοπούλας, προηγήθηκε από την κατασκευή της σιδηροδρομικής σήραγγας. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα κατά την συγκοινωνιακή χάραξη του σιδηροδρομικού έργου, αυτό να διέρχεται σε ορισμένες περιοχές σε επίπεδο χαμηλότερο από το οδικό έργο. Συγκεκριμένα:

- Περί την Χ.Θ. 101+070 της οδικής σήραγγας T24 εμφανίζεται η σήραγγα διαφυγής 24L, η οποία και διασταυρώνεται με την σιδηροδρομική σήραγγα περί την Χ.Θ. 101+610 (Χάρτης 2.1). Η υψομετρική διαφορά μεταξύ της στέψης της σιδηροδρομικής σήραγγας και του δαπέδου της οδικής είναι της τάξης των 30m.



Χάρτης 2.1 (Αλληλεπίδραση Χ.Θ. 101+610)

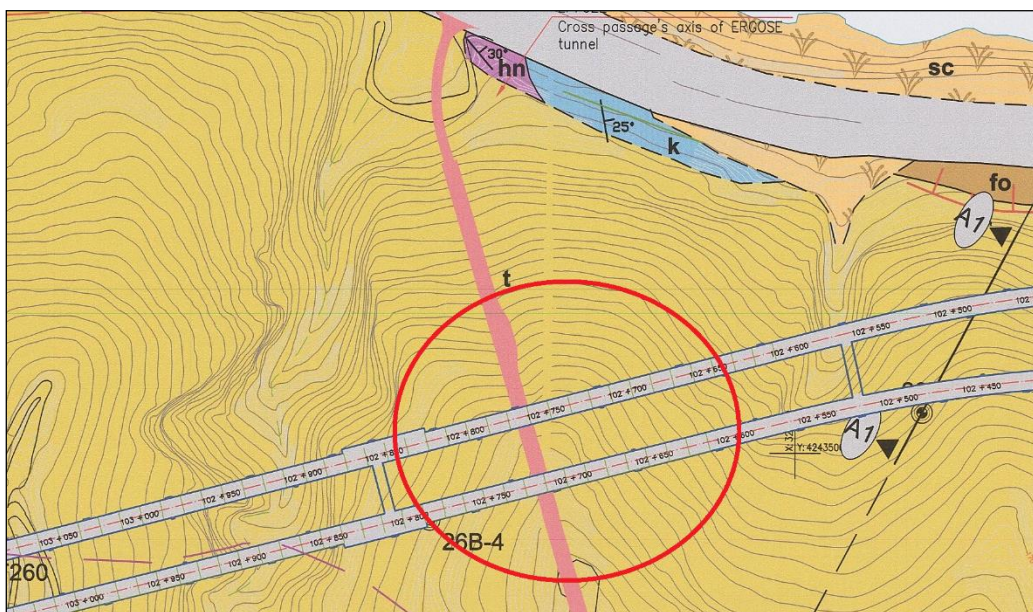
- Περί την Χ.Θ. 101+166,64 της οδικής σήραγγας T24 υπάρχει διασταύρωση με την σιδηροδρομική σήραγγα περί την Χ.Θ. 101+700, όπου διαμορφώνεται και ο συνδετήριος διάδρομος ΣΔ1 (Χάρτης 2.2). Η υψομετρική διαφορά μεταξύ της στέψης της σιδηροδρομικής σήραγγας και του δαπέδου της οδικής είναι της τάξης των 25m.



Χάρτης 2.2 (Αλληλεπίδραση Χ.Θ. 101+700)

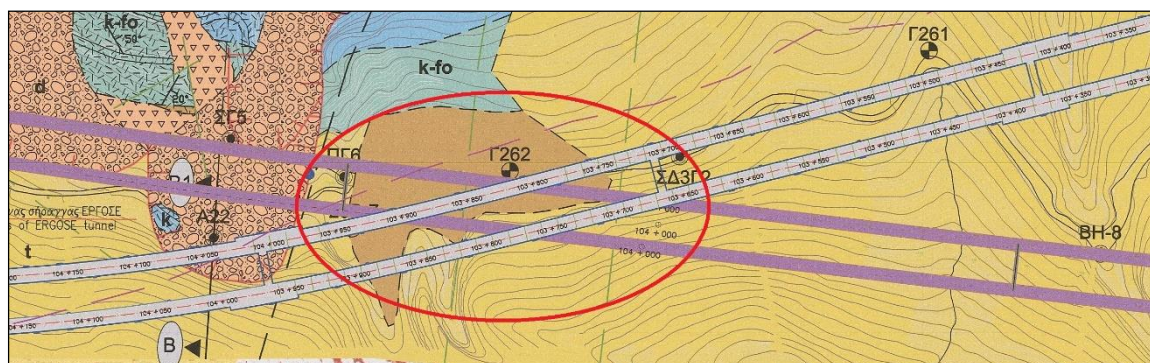
- Η οδική σήραγγα T26L περί την Χ.Θ. 102+710 και η οδική σήραγγα T26R περί την Χ.Θ. 102+750, διασταυρώνονται με την σήραγγα ενδιάμεσης προσβολής της σιδηροδρομικής σήραγγας (Χάρτης 2.3). Η υψομετρική διαφορά μεταξύ

της στέψης της σήραγγας ενδιάμεσης προσβολής και του δαπέδου της οδικής είναι της τάξης των 12m.



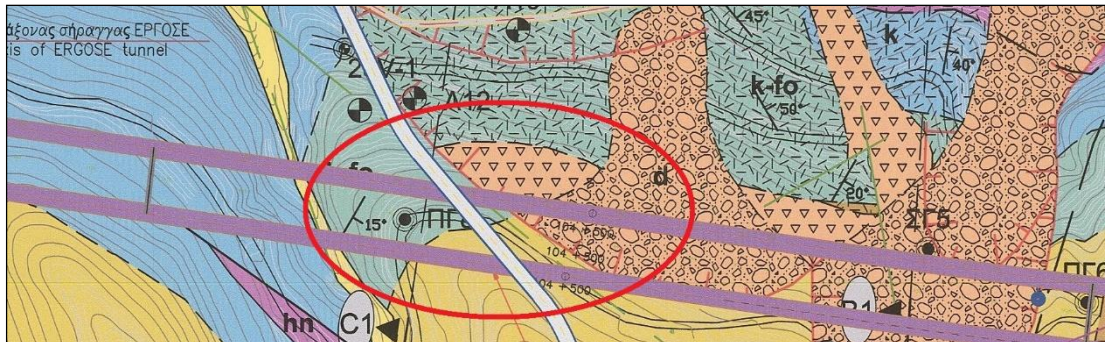
Χάρτης 2.3 (Αλληλεπίδραση Σήραγγα Ενδιάμεσης Προσβολής)

- Οι οδικές σήραγγες T26L+R περί την Χ.Θ. 103+700 διασταυρώνονται λοξά και για σημαντικό μήκος και με τους δύο κλάδους της σιδηροδρομικής σήραγγας περί την Χ.Θ. 104+050. Εγγύς τη θέσης αυτής διαμορφώνεται και ο συνδετήριος διάδρομος της οδικής σήραγγας (Χάρτης 2.4). Η υψομετρική διαφορά μεταξύ της στέψης της σιδηροδρομικής σήραγγας και του δαπέδου της οδικής είναι της τάξης των 8m.



Χάρτης 2.4 (Αλληλεπίδραση Χ.Θ. 104+050)

- Περί την Χ.Θ. 104+270 της οδικής σήραγγας T26R υπάρχει η σήραγγα εκαπνισμού, η οποία διασταυρώνεται με την σιδηροδρομική σήραγγα περί την Χ.Θ. 104+585 (Χάρτης 2.5).



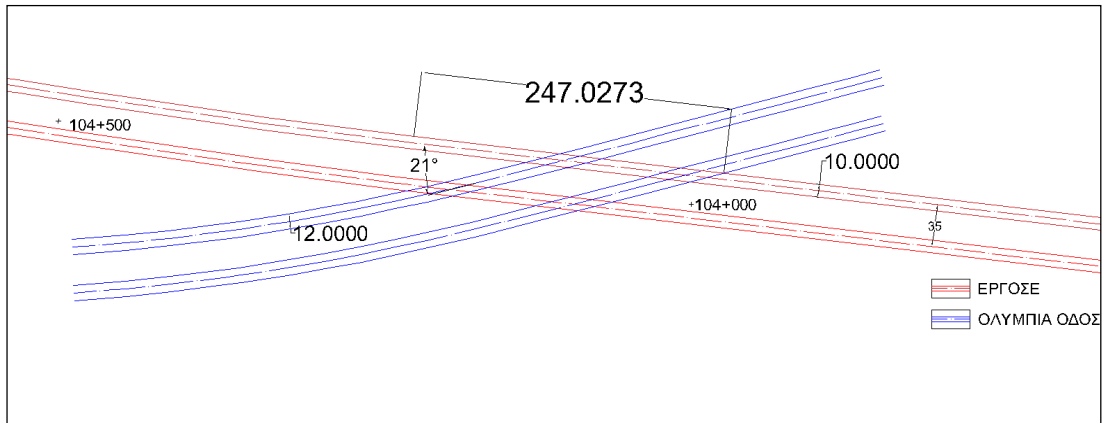
Χάρτης 2.5 (Αλληλεπίδραση Χ.Θ. 104+585)

2.3. Χ.Θ. 104+000

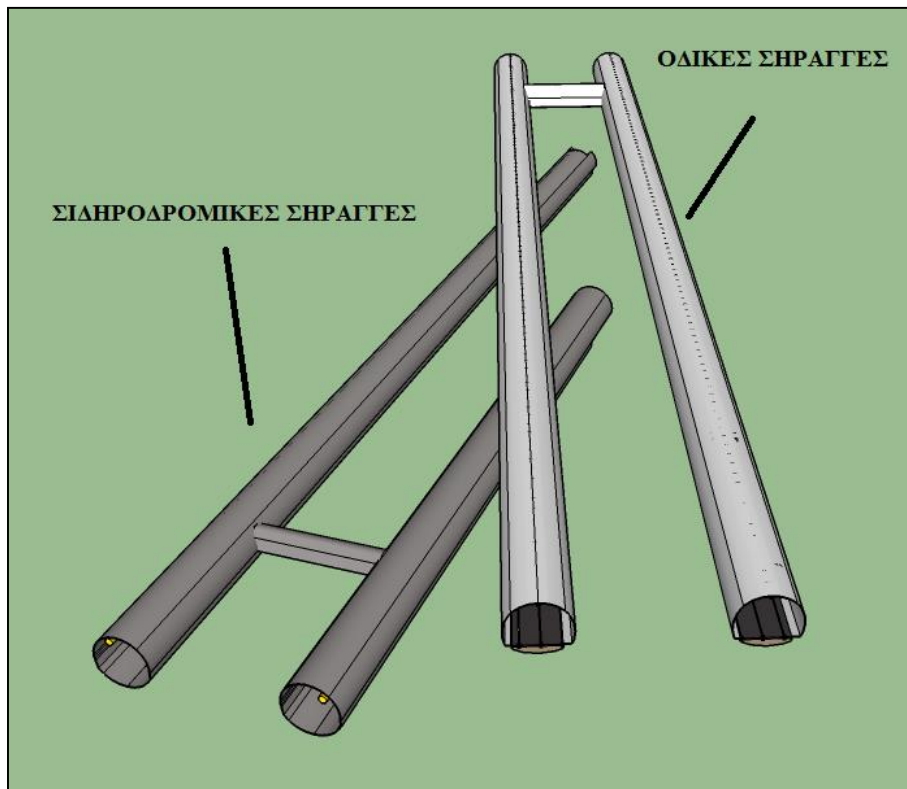
Η διάνοιξη της σιδηροδρομικής σήραγγας, έχει την μεγαλύτερη επιρροή στις οδικές σήραγγες T26L+R περί την Χ.Θ. 104+000. Στην θέση αυτή το δάπεδο των οδικών σηράγγων με την στέψη της σιδηροδρομικής σήραγγας, είναι μόνο 8m. Στην θέση αυτή η σιδηροδρομική σήραγγα θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως αβαθής σήραγγα, διότι 8m πάνω από αυτή η επιρροή λόγω της διάνοιξης της θα είναι μεγάλη και θα προκαλέσει μεγάλες μετακινήσεις. Επίσης στην περιοχή αυτή υπάρχει και συνδετήριος διάδρομος μεταξύ των οδικών σηράγγων, που καθιστά την διάνοιξη της σιδηροδρομικής σήραγγας πολύ προσεκτική.

Η σιδηροδρομική σήραγγα (ΕΡΓΟΣΕ) με τις οδικές σήραγγες T26L+R (Ολυμπία Οδός), οριζοντιογραφικά διασταυρώνονται υπό γωνία 21° (Σχήμα 2.1a,b). Το μήκος της διασταύρωσης αυτής είναι ~247m.

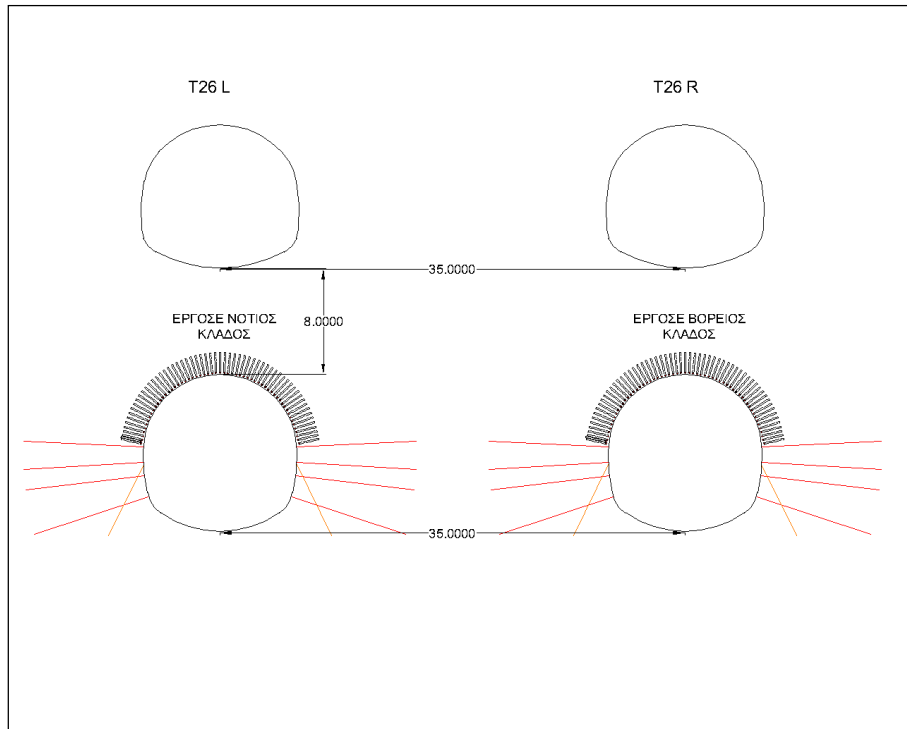
Επίσης, εκτός από την υψομετρική διαφορά των 8m, μεταξύ των δύο έργων, τόσο η αξονική απόσταση των σιδηροδρομικών σηράγγων όσο και των οδικών σηράγγων, είναι 35m (Σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.1a (Οριζοντιογραφία Αλληλεπίδρασης)



Σχήμα 2.1b (Προοπτική Απεικόνιση Αλληλεπίδρασης)



Σχήμα 2.2 (Τομή Αλληλεπίδρασης)

3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ- ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

3.1. Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής του έργου

Η ευρύτερη περιοχή της Παναγοπούλας, εντάσσεται στην περιοχή των νοτίων ακτών του Κορινθιακού κόλπου, όπου καθορίστηκαν κυρίως από την τεκτονική δραστηριότητα και τις ιζηματογενείς διεργασίες αλλά και από τη δράση των εξωτερικών παραγόντων της διάβρωσης. Η διαμόρφωση του σημερινού ανάγλυφου είναι αποτέλεσμα της ανταγωνιστικής δράσης των παραπάνω παραγόντων.

Ο κυριότερος ορεινός όγκος στην περιοχή της ΒΔ Πελοποννήσου είναι το Όρος Παναχαϊκό (+1926) και στην ευρύτερη περιοχή του έργου, το μέγιστο υψόμετρο συναντάται στην κορυφή του Προφήτη Ηλία (+754). Μεταξύ του ορεινού όγκου του Παναχαϊκού και της ακτογραμμής της Βόρειας Πελοποννήσου παρεμβάλλεται μια στενή ζώνη ηπιότερου ανάγλυφου που δομείται από Πλειο-Τεταρτογενείς αποθέσεις. Η ζώνη αυτή αποτελεί τμήμα της ευρύτερης ρηξιγενούς ζώνης Κορίνθου – Πάτρας η οποία έχει διεύθυνση ανάπτυξης Α-Δ, μήκος περί τα 140km και πλάτος περί τα 40km και διαχωρίζει τους αλπικούς σχηματισμούς της Στερεάς Ελλάδας και της Πελοποννήσου, μέσω μια σειράς από τεκτονικές τάφρους (graben), της Κορίνθου στο ανατολικό τμήμα, του Ρίου στο κεντρικό και της Πάτρας στο δυτικό.

Η ευρύτερη περιοχή του έργου οριοθετείται στα ανατολικά από τον ποταμό Φοίνικα όπου συναντώνται οι οικισμοί Σελιανίτικα, Καμάρες και Λαμπίρι και στα δυτικά από τον ποταμό Βολιναίο και τους οικισμούς Ψαθόπυργος και Αραχωβίτικα.

Η κυρίαρχη τεκτονική δομή του ρήγματος της Ροδινής – Ψαθόπυργου στην ευρύτερη περιοχή, καθόρισε τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά αυτής. Η ρηξιγενής αυτή ζώνη, στο ανατολικό της άκρο, αναπτύσσεται στην περιοχή της Παναγοπούλας και διαχωρίζει την στενή παράκτια ζώνη, υποοριζόντιας μορφολογίας από τη λοφώδη έως ημιορεινή στο νότο.

Το υδρογραφικό δίκτυο χαρακτηρίζεται από κλάδους Β-Ν διεύθυνσης που τέμνουν εγκάρσια τη ρηξιγενή ζώνη. Η διευθέτηση του προσανατολισμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου είναι αποτέλεσμα της τεκτονικής δράσης, καθώς οι κλάδοι ακολουθούν τα εγκάρσια ως προς το κύριο ρήγμα δευτερεύοντα ρήγματα

μετασχηματισμού. Οι κλάδοι του δικτύου παρουσιάζουν σημαντική στερεοπαροχή, έντονη κατά βάθος διάβρωση δίδοντας απότομα πρηνή και σχηματίζοντας ζώνες αστάθειας και καταπτώσεων κατά μήκος τους.

Στην ευρύτερη περιοχή του έργου διακρίνονται τρεις γεωμορφολογικές ενότητες. Η πρώτη παράκτια ενότητα χαρακτηρίζεται από χαμηλά, πεδινά υποοριζόντια ανάγλυφα και συναντάται κυρίως στις περιοχές των οικισμών Σελιανίτικα, Καμάρες και Λαμπίρι στα ανατολικά και Ψαθόπυργου και Αραχωβίτικων στα δυτικά. Η ενότητα αυτή αναπτύσσεται παράλληλα με την γενικότερη ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση της ακτογραμμής, μεταξύ των υψομέτρων ± 0 και +20, με ήπιες μορφολογικές κλίσεις της τάξεως του 5% προς Β, ΒΒΔ και ΒΒΑ. Παρουσιάζει το μεγαλύτερο εύρος ανάπτυξης στις περιοχές των εκβολών των ποταμών Φοίνικα και Βολιναίο καθώς η διαμόρφωση αυτής της ενότητας συνδέεται με τις αλλουβιακές αποθέσεις των κυριότερων κλάδων του υδρογραφικού δικτύου

Η δεύτερη λοφώδης έως ημιορεινή ενότητα αναπτύσσεται στις βόρειες παρειές του ορεινού όγκου του Παναχαϊκού και χαρακτηρίζεται από απότομες κλίσεις πρηνών προς Β.

Τέλος, η τρίτη ορεινή ενότητα χαρακτηρίζεται από το απότομο υψηλό τοπογραφικό ανάγλυφο, με υψόμετρα που φτάνουν τα 300m στην περιοχή της μελέτης και τα ξεπερνούν νοτιότερα αυτής, καθώς και το πυκνότερο υδρογραφικό δίκτυο και συναντάται στο κεντρικό και νότιο τμήμα της περιοχής της μελέτης.

3.2. Στρωματογραφία της περιοχής

Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής, σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε, φύλλο Ναύπακτος (Χάρτης 3.1/ Παράτημα Α), δομείται από νεογενείς σχηματισμούς της οπισθοχώρας του σημερινού Ελληνικού τόξου και από προγενέστερους αλπικούς σχηματισμούς της γεωτεκτονικής ενότητας Ωλονού - Πίνδου. Οι σχηματισμοί του νεογενούς βρίσκονται σε ασυμφωνία με τους υποκείμενους αλπικούς σχηματισμούς και προέρχονται από την απόθεση ιζημάτων κατά την διάρκεια του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς στη νότια πλευρά της νεοτεκτονικής τάφρου (graben) της Κορίνθου, που διαχωρίζει τη βορειοανατολική Πελοπόννησο από την ανατολική Στερεά Ελλάδα.

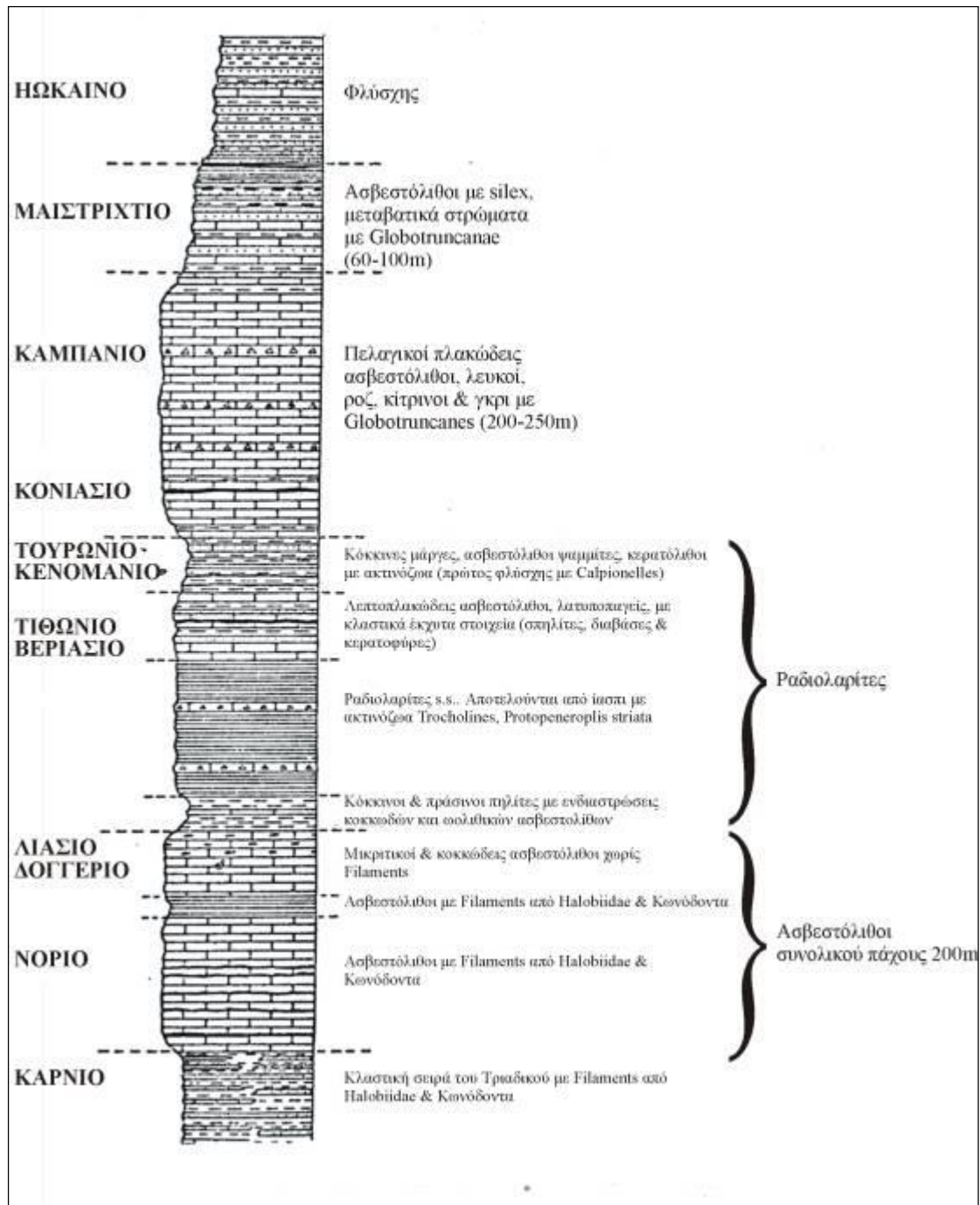
Η τάφρος αυτή, εκτείνεται σε μήκος, περίπου 100-130km, κατά μήκος των βόρειων ακτών της Πελοποννήσου και 20-40km κατά πλάτος οριοθετώντας τον Κορινθιακό

κόλπο με μέγιστο βάθος 900m. Επίσης διέρχεται λοξά από τις αλπικές γεωτεκτονικές ζώνες των Ελληνίδων και αποτελεί το ανατολικό τμήμα μιας ευρύτερης ηπειρωτικής ρηξιγενούς ζώνης που διαχωρίζει την Πελοπόννησο από τη Στερεά Ελλάδα. Ο σχηματισμός της ξεκίνησε κατά το Μειόκαινο.

Η λιθοστρωματογραφία των νεογενών σχηματισμών κατά μήκος του ανατολικού τμήματος της ρηξιγενούς ζώνης συνδέεται άμεσα με τη νεοτεκτονική εξέλιξη της Κορινθιακής τάφρου και χαρακτηρίζεται από ιζήματα διαφορετικών φάσεων που αντιστοιχούν σε διαφορετικά παλαιογεωγραφικά περιβάλλοντα απόθεσης.

Στην στρωματογραφία της περιοχής (Εικόνα 3.1)¹, διακρίνονται δύο κύκλοι ιζηματογένεσης οι οποίοι συνδέονται άμεσα με την τεκτονική εξέλιξη του χώρου: ο πρώτος κύκλος συνδέεται με τη βύθιση κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης και τη δημιουργία κανονικών ρηγμάτων κατά το Ανώτερο Πλειόκαινο και ο δεύτερος με τις ανοδικές κινήσεις του χώρου κατά το Τεταρτογενές.

¹ Στρωματογραφική στήλη της Πίνδου βασισμένη στα στοιχεία του FLEURY (1980), ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, 1986



Εικόνα 3.1 (Στρωματογραφία Ενότητας Ωλονού- Πίνδου)

Στον πρώτο κύκλο ιζηματογένεσης στη βάση των ιζημάτων συναντώνται αποθέσεις συμπαγών στρωμάτων ιλύος με ενδιάστρες άμμων και μαργών και λιγνιτικούς φακούς, που ανήκουν στην προαναφερθείσα λιμναία φάση. Σε πολλές θέσεις διακρίνεται μια πλευρική μετάβαση σε κροκαλοπαγή της ποτάμιας φάσης που υποδηλώνει την ύπαρξη ενός ποτάμιου παλαιοπεριβάλλοντος περιμετρικά των λιμναίων λεκανών.

Στο δεύτερο κύκλο ιζηματογένεσης, διακρίνονται οι αποθέσεις της ποτάμιας φάσης και οι φάσεις των αλλουβιακών ριπιδίων χερσαίας και δελταϊκής προέλευσης που διαμορφώθηκαν λόγω των έντονων διαβρωτικών διεργασιών και της αυξημένης προσφοράς κλαστικού υλικού.

Στο νοτιότερο τμήμα της τάφρου, τα χερσαία κροκαλοπαγή της φάσης των αλλουβιακών ριπιδίων είναι τοποθετημένα είτε επί του αλπικού υποβάθρου είτε επί των σχηματισμών της λιμναίας φάσης. Βορειότερα, τα χερσαία κροκαλοπαγή επίκεινται ή εναλλάσσονται με ριπίδια δελταϊκών αποθέσεων ή με σκληρές στρωσιγενείς λεπτοστρωματώδεις μάργες, που κατά θέσεις εναλλάσσονται με ενστρώσεις ψαμμιτών και ιλυόλιθων. Τα κροκαλοπαγή των δελταϊκών ριπιδίων οριοθετούνται στη νότια πλευρά τους από τα κανονικά ρήγματα της τάφρου, ενώ παρουσιάζουν αύξηση του πάχους τους προς βορρά και είναι τοποθετημένα επί των μαργών. Αυτή η σφηνοειδής αποθετική γεωμετρία των κροκαλοπαγών αποθέσεων οφείλεται στην τεκτονική κίνηση των κανονικών ρηγμάτων, πολλά εκ των οποίων είναι λιστρωτά ως προς τη μορφή της επιφάνειας ολίσθησής τους.

Σύμφωνα με την αποτύπωση των γεωλογικών σχηματισμών στα φύλλα των γεωλογικών χαρτών του Ι.Γ.Μ.Ε., η λιθοστρωματογραφική διάρθρωση της ενότητας της Πίνδου από τους αρχαιότερους προς τους νεότερους σχηματισμούς η εξής:

- **Ασβεστόλιθοι με ιάσπιδες (Αν. Τριαδικό):** τεφροί ή πράσινοι, μικροκρυσταλλικοί, ασβεστόλιθοι σε εναλλαγές με υποπράσινους αργιλικούς σχιστόλιθους, πρασινωπές μάργες και ερυθρούς ραδιολαρίτες.
- **Ασβεστόλιθοι Δρυμού (Ιουρασικό – Κ. Κρητιδικό):** ερυθρίζοντες, λευκοί, ωολιθικοί με τρηματοφόρα και ασβεστοφύκη ασβεστόλιθοι με παρεμβολές ερυθρών κερατόλιθων και ραδιολαρίτες.
- **Ραδιολαρίτες (Κερατόλιθοι και Ασβεστόλιθοι) (Κατώτερο Κρητιδικό-Κονιάσιο):** ερυθρού, πράσινου και ιώδους χρώματος ραδιολαρίτες με παρεμβολές ενστρώσεων πηλιτών και ασβεστολίθων. Στα κατώτερα μέλη επικρατούν ερυθροί κερατόλιθοι με παρεμβολές αργιλικών σχιστόλιθων και μαργών αλλά και πηλίτες με παρεμβολές ψευδοωολιθικών ασβεστολίθων, ενώ στα ανώτερα επικρατούν πολυγενείς μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι με θραύσματα ρουδιστών και τρηματοφόρα.

- **«Πρώτος Φλύσχης» (Αν. Κενομάνιο – Κατ. Κονιάσιο):** εναλλαγές ερυθρών αργιλικών υλικών, ψαμμιτών και μικρολατυποπαγών ασβεστολίθων, ερυθρού χρώματος. Οι μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι περιέχουν κομμάτια από πρασινόλιθους, ραδιολαρίτες και ρουδιστές.
- **Ασβεστόλιθοι (Κονιάσιο – Μαιστρίχτιο):** εναλλαγές λεπτοπλακωδών έως μεσοστρωματώδων πελαγικών ασβεστόλιθων με τεφρούς έως υπόλευκους κονδύλους και λεπτές ενστρώσεις κερατόλιθων. Στα μεσαία και ανώτερα μέλη μεταπίπτουν σε μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθους με ρουδιστές, επίσης σε αυτά παρουσιάζουν ψαμμίτες και αργιλικούς σχιστόλιθους με κερατόλιθους.
- **Φλύσχης (Μαιστρίχτιο – Παλαιόκαινο):** εναλλαγές ψαμμιτών με παρεμβολές λεπτοπλακωδών πελαγικών ασβεστολίθων και μαργών με τρηματοφόρα.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται στη στενή περιοχή του έργου, διακρίνονται στους σχηματισμούς του αλπικού υποβάθρου που εντάσσονται στην γεωτεκτονική ενότητα Ωλονού - Πίνδου, στις νεογενείς πλειο-πλειστοκαινικές αποθέσεις των κροκαλοπαγών και των εναλλαγών μαργών-κροκαλοπαγών και στις νεότερες ολοκαινικές προσχωματικές αποθέσεις του υδρογραφικού συστήματος και των κλιτύων.

- **Αλπικό Υπόβαθρο - Ενότητα Πίνδου**
 - ✓ **Ραδιολαρίτες:** πρόκειται για εναλλαγές στρώσεων ερυθρών και πράσινων κερατόλιθων με ερυθρούς, λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους με πυριτόλιθους, πάχους 2cm έως 27cm, μέσου πάχους 9cm. Παρατηρούνται ενδιαστρώσεις ερυθρών πηλιτών, σχετικά εύθρυπτων, πάχους στρώσης λίγων χιλιοστών. Διακρίνονται αποκολληθέντα τεμάχια μεγέθους από 4x2x2cm έως 63x30x18cm, μέσου μεγέθους 11x10x5cm. Ο σχηματισμός επιφανειακά εμφανίζεται αποσαθρωμένος χωρίς χαρακτηριστικές τομές ή σε μικρές εμφανίσεις όπου διακρίνονται μόνο ορισμένα από τα μέλη του.
 - ✓ **Ασβεστόλιθοι Κρητιδικού:** αποτελούνται από εναλλαγές τεφρών-τεφρόλευκων και ερυθρών λεπτοστρωματώδων ασβεστολίθων, με

μέσο πάχος στρώσης 4-7cm και μέγιστο 15-20cm, με ασβεστολιθικούς πάγκους, μέγιστου πάχους 50-60cm. Κατά θέσεις περιέχουν ενστρώσεις και κονδύλους κερατολίθων των οποίων η συχνότητα ελαττώνεται στα ανώτερα μέλη του σχηματισμού.

- ✓ **Μεταβατικά στρώματα φλύσχη:** αποτελούνται από εναλλαγές στρώσεων, μέσου πάχους 40-50cm, υπόλευκων πλακωδών ασβεστολίθων με γκρι-τεφρά, εύθρυπτα και ευκολοδιάβρωτα ασβεστομαργαϊκά υλικά καθώς και με στρώσεις ιλυολίθων. Σπανιότερα συναντώνται εμφανίσεις μεγάλου πάχους, άστρωτων λατυποπαγών ασβεστολίθων με χαρακτηριστικό, καθοδηγητικό μαύρο ορίζοντα πυριτιολίθων.
- ✓ **Φλύσχης:** αποτελείται από εναλλαγές στρώσεων, τεφροκάστανων έως τεφροπράσινων λεπτόκοκκων ψαμμιτών, ψαμμιτικών ιλυολίθων και ιλυολίθων, μέγιστου πάχους 17cm και μέσου 5cm, καθώς και λεπτοπλακωδών ασβεστολίθων με ενστρώσεις πυριτικού υλικού, κυρίως στους κατώτερους ορίζοντες του σχηματισμού. Ο σχηματισμός εμφανίζεται αποσαθρωμένος υπό τη μορφή τεφρής-κυανής και καστανής έως καστανοπράσινης, αργιλώδους ύψους έως άμμου με τεμάχια και λατύπες, μεγέθους από 4x3x2cm έως 48x43x17cm, μέσου μεγέθους 20x18x5cm, ιυολιθικής και ψαμμιτικής προέλευσης.

- **Πλειο-Πλειστόκαινο**

- ✓ **Κροκαλοπαγή:** Πρόκειται για πολύμεικτα, κροκαλοπαγή που αποτελούνται από κροκάλες, μεγέθους από 3x2,5x1,5cm έως 34x20x13cm, μέσου μεγέθους 11x9x5cm, κυρίως ασβεστολιθικής, ψαμμιτικής, κερατολιθικής και ιυολιθικής προέλευσης που εμφανίζονται μέτρια έως ισχυρά συγκολλημένα σε καστανό με κατά θέσεις καστανότεφρη ή ερυθροκάστανη χροιά, ψαμμιτικό, αμμώδες και ασβεστοψαμμιτικό σπανιότερα, υλικό σύνδεσης.
- ✓ **Εναλλαγές στρώσεων μαργών - κροκαλοπαγών:** αποτελούνται από υποκίτρινες ιλωδεις έως ιλυοαμμώδεις Μάργες με ενδιαστρώσεις κίτρινων Άμμων, κυρίως λεπτόκοκκων και σπανιότερα χονδρόκοκκων, με ψηφίδες πάχους από 2cm έως 26cm,

μέσο πάχος στρώσης 6cm. Διακρίνονται ενδιαστρώσεις πολύ μικρού πάχους, με μέγιστο πάχος 7cm, από συσσωματώματα λευκόχρωμου ασβεστομαργαϊκού υλικού. Σπανιότερα συναντώνται ενδιαστρώσεις κροκαλοπαγών, μικρού βαθμού συγκόλλησης, μέγιστου πάχους 12cm, από κροκάλες ποικίλης λιθολογικής σύστασης, μέγιστου μεγέθους 7x5x5cm, με μαργαϊκό συνδετικό υλικό.

➤ Ολόκαινο

- ✓ **Αλλουβιακά ριπίδια:** αποτελούνται από καστανότεφρα έως καστανέρυθρα αργιλοϊλυώδη έως αργιλοαμμώδη υλικά με κροκάλες και τεμάχη, μέτρια έως καλά αποστρογγυλεμένα, κυρίως ασβεστολιθικής, κερατολιθικής και ψαμμιτικής προέλευσης. Πρόκειται για προσχωσιγενείς αποθέσεις, μέτρια έως καλά συγκολλημένες που σχηματίζουν ευσταθή, υψηλά φυσικά πρανή με ελάχιστες αστοχίες λόγω υποσκαφών.
- ✓ **Σύγχρονες αποθέσεις στενής κοίτης ποταμού:** αποτελούνται σε μεγάλο ποσοστό, από κροκάλες, ασβεστολιθικής, ψαμμιτικής και κερατολιθικής προέλευσης, μέσου μεγέθους 13x10x6cm και τεμάχη, ασβεστολιθικής και ψαμμιτικής προέλευσης, μέσου μεγέθους 39x26x24cm, καλά στρογγυλεμένα, καθώς και ογκολίθους κυρίως στα ανάντη του ποταμού, ασβεστολιθικής προέλευσης. Στο σχηματισμό περιέχονται φακοειδείς ενστρώσεις άμμων και εμφανίζεται βαθμιαία μείωση των μεγεθών των αδρομερών υλικών προς τα κατάντη τμήματα του.
- ✓ **Σχηματισμός αργιλικών κορημάτων:** πρόκειται για προϊόντα αποσάθρωσης των μαργών με μεγάλη περιεκτικότητα λεπτόκοκκων υλικών και πολύ μικρό ποσοστό αδρομερούς κλάσματος. Ο σχηματισμός παρουσιάζει περιορισμένη ανάπτυξη και το πάχος του δεν υπερβαίνει τα 5m.
- ✓ **Πλευρικά κορήματα:** αποτελούνται από καστανή, με κατά θέσεις καστανότεφρη ή ερυθροκάστανη χροιά, αργιλώδη Ιλύ με κυμαινόμενο ποσοστό χαλίκων, κροκάλων και λατύπων, μέσου

μεγέθους 11x9x6cm, αλλά και τεμάχων, μέσου μεγέθους 20x17x16cm, ποικίλης λιθολογικής σύστασης. Σε περιοχές ανάπτυξης του ασβεστολιθικού υποβάθρου, περιέχουν σε πολύ μεγάλο ποσοστό ασβεστολιθικές λατύπες, μέσου μεγέθους 12x6x5cm και σε μικρότερο ποσοστό γωνιώδη τεμάχια, μέσου μεγέθους 40x35x15cm και ογκολίθους με καστανό έως καστανέρυθρο αργιλικό ή αργιλοϊλυώδες συνδετικό υλικό. Στις περιοχές ανάπτυξης των κροκαλοπαγών σχηματισμών οι πλευρικές αποθέσεις αποτελούνται από πολύμεικτες κροκάλες του αλπικού υποβάθρου και άμμους έως αργιλώδεις άμμους, τεφρού έως καστανότεφρου χρώματος.

- ✓ **Υλικά κατολισθήσεων:** αποτελούνται από καστανή, με κατά θέσεις καστανότεφρη ή καστανέρυθρη χροιά, αργιλώδη Ιλύ έως Άμμο με χαλίκια, μέσου μεγέθους 3x2x1,5cm. Πρόκειται για ετερογενή, αναμοχλευμένα, χαλαρής δομής, αργιλομαργαϊκά υλικά, που περιέχουν κροκαλοπαγή γωνιώδη τεμάχια, μέσου μεγέθους 18x9x6cm, μέγιστου 48x40x37cm και ογκολίθους, ασβεστολιθικής και κερατολιθικής σύστασης. Έχουν σχηματισθεί είτε κατά τη διάρκεια πρόσφατων κατολισθητικών φαινομένων κατά μήκος των απότομων κλιτύων, είτε τη διάρκεια παλαιότερων κατολισθητικών φαινομένων, όποτε χαρακτηρίζονται από έντονη ανομοιομορφία και μικρή συνεκτικότητα, χωρίς πολλές φορές να διατηρούν τη χαρακτηριστική μορφολογία μιας κατολισθαίνουσας μάζας.

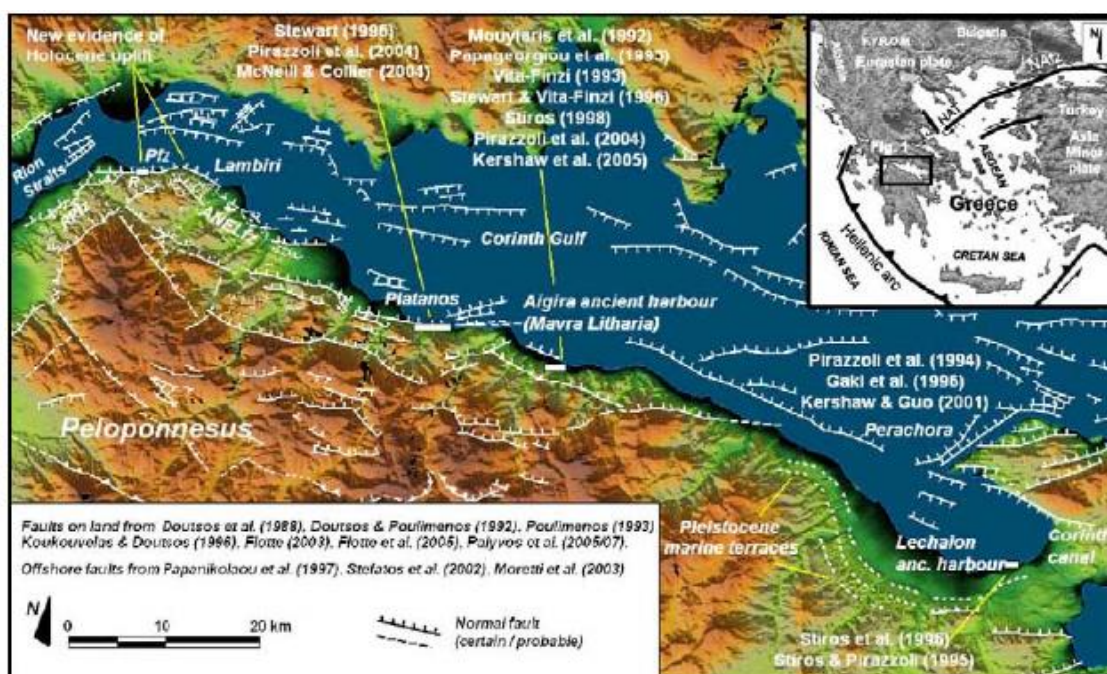
3.3. Τεκτονική της περιοχής

Οι νότιες ακτές του Κορινθιακού κόλπου, είναι μία περιοχή που παραμορφώνεται από εφελκυστικές τάσεις διεύθυνσης περίπου B-N (από BBD-NNA έως BBA-NNΔ).

Με βάση τις αναλύσεις παραμορφώσεων από μετρήσεις GPS αναφέρεται ότι η Πελοπόννησος κινείται με 30mm/yr προς B215° σε σχέση με μία σταθερή Ευρώπη. Ο εφελκυσμός εντοπίζεται στη στενή ζώνη του Κόλπου και του οποίου οι ρυθμοί αυξάνουν από τα ανατολικά προς τα δυτικά και είναι της τάξεως των 11mm/yr στο Ευλόκαστρο και 16mm/yr κοντά στο Αίγιο. Και οι δύο πλευρές της τάφρου συμπεριφέρονται σαν τεμάχια που περιστρέφονται δεξιόστροφα με ρυθμό $7\pm 0,5^\circ/\text{Myr}$

και $2,8 \pm 0,8^\circ/\text{Myr}$, αντιστοίχως για τα βόρεια και νότια τεμάχη (Avallone et al. 2004). Η συγκέντρωση παραμορφώσεων κατά μήκος των κυρίων ρηγμάτων της νότιας ακτής του Κόλπου είναι μικρότερη από 1mm/yr , που αφήνει να υποθεθεί μεγάλη περίοδο επανάληψης ισχυρών σεισμών (M_s 6.5-7) στα ρήγματα αυτά, 500 – 1000 χρόνια ή περισσότερο. Οι μικρότερες δομές όπως αυτές του Αιγίου (ρήγμα 1995), διαχειρίζονται το μεγαλύτερο μέρος της επέκτασης του Κόλπου, πιθανώς με συχνότερους σεισμούς μικρότερου μεγέθους (M_s 5.5 – 6.5) (Avallone et al. 2004). Τούτο πιθανώς να συμβαίνει και στην περιοχή του έργου, που οι ρυθμοί παραμορφώσεων εκτιμώνται μεγαλύτεροι.

Ένας αριθμός ρηγμάτων με μέση διεύθυνση Α-Δ (B 80° - 110°) και κλίση 50° - 60° προς Β (στα ανώτερα τουλάχιστον τμήματα) (Χάρτης 3.2) επηρεάζει το υπόβαθρο αλλά και τους πρόσφατους σχηματισμούς στην περιοχή του αυτοκινητοδρόμου, με σημαντικότερες δομές τα ενεργά ρήγματα Ξυλοκάστρου, Δερβενίου, Ανατολικής Ελίκης (ρηξιγενής ζώνη που περιλαμβάνει τα ρήγματα Πλατάνου και Ακράτας ή Αιγείρας), Δυτικής Ελίκης, Αιγίου και Ψαθόπυργου καθώς και άλλα δευτερεύοντα, όπως τα ρήγματα Καμαρών και Λαμπιρίου, το τελευταίο θεωρείται συνέχεια του ρηγματος του Αιγίου.²



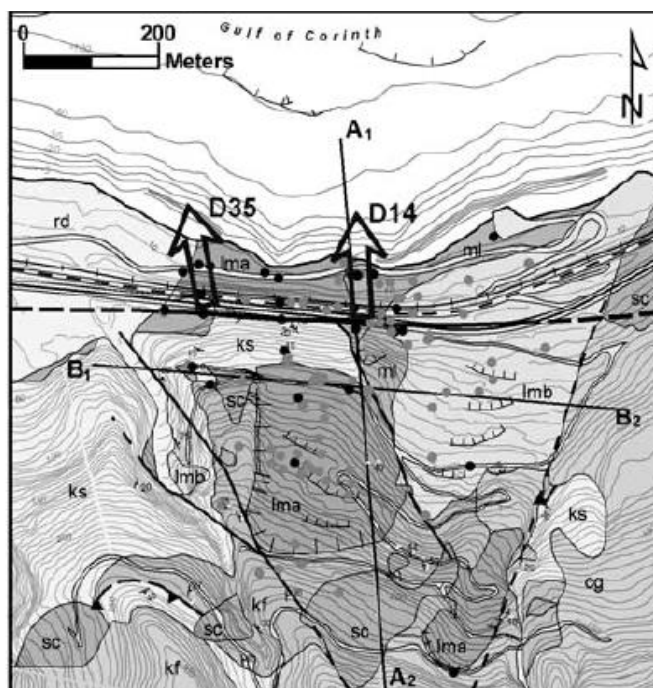
Χάρτης 3.2 (Τεκτονικός Χάρτης Κορινθιακού Κόλπου)

² Palyvos et al. 2008, Bernard et al., 2006

Σημειώνεται ότι τα ρήγματα που επηρεάζουν την περιοχή του έργου, λόγω του ενεργού ή δυνητικώς ενεργού χαρακτήρα τους έχουν διευθύνσεις που κυμαίνονται περί την Α-Δ (από ΔΒΔ-ΑΝΑ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ). Θεωρείται ότι, όπως είναι φυσικό, οι ενεργές τάσεις της περιοχής εκτονώνονται στα μεγάλα ρήγματα με αυτή τη διεύθυνση.

Σημειώνεται επίσης η ύπαρξη εγκαρσίων ρηγμάτων με διευθύνσεις ΒΒΔ-ΝΝΑ και ΒΒΑ-ΝΝΔ που σε ορισμένες περιπτώσεις τμηματοποιούν τα προηγούμενα. Αυτά, σύμφωνα με το ενεργό τασικό πεδίο της περιοχής, σε περίπτωση ανάδρασης τους θα έχουν κίνηση οριζόντιας ολίσθησης. Πιθανώς έδρασαν σε ένα πρώτο στάδιο της νεοτεκτονικής εξέλιξης της περιοχής κατά την διαμόρφωση της δομικής της γεωμετρίας. Στην στενή περιοχή της Παναγοπούλας δεν παρατηρούνται τέτοια ρήγματα.

Η ευρύτερη περιοχή του έργου, ευρίσκεται δίπλα στο ενεργό ρήγμα του Ψαθόπυργου, το οποίο μεταξύ των ρηγμάτων του Κορινθιακού κόλπου θεωρείται από ορισμένους ερευνητές ότι έχει την μεγαλύτερη πιθανότητα μελλοντικής σεισμικής ανάδρασης. Οι Koukis et al. (2009) επισημαίνουν τη σύνδεση μεταξύ των κανονικών ρηγμάτων και της συχνότητας εκδήλωσης κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή του Κορινθιακού (Χάρτης 3.3), γεγονός που ισχύει και για την περίπτωση της κατολίσθησης της Παναγοπούλας, η οποία θεωρούν ότι είναι ακόμη ενεργή, τουλάχιστον στο τμήμα μεταξύ της Εθνικής Οδού και της ακτής.



Χάρτης 3.3 (Χάρτης Κατολίσθησης Παναγοπούλας)

Στα Πλειο-τεταρτογενή ιζήματα της Κορινθιακής τάφρου αναγνωρίστηκαν δύο ορθογώνια συστήματα ρηγμάτων, ένα κύριο σύστημα ΔΒΔ κανονικών ρηγμάτων και ΒΒΑ ρηγμάτων μετασχηματισμού και ένα δευτερεύον σύστημα ΑΒΑ κανονικών ρηγμάτων και ΒΒΔ ρηγμάτων μετασχηματισμού. Τα ΔΒΔ ρήγματα είναι λιστρωτής γεωμετρίας με κανονικό έως πλάγιο χαρακτήρα κίνησης και συνοδεύονται από μικρότερα αντιθετικά ρήγματα με νότιες διευθύνσεις κλίσης διαμορφώνοντας μικρής κλίμακας ασύμμετρες τάφρους. Τα ΒΒΑ ρήγματα μετασχηματισμού παρουσιάζουν κανονικό έως πλάγιο χαρακτήρα κίνησης και τροποποιούν το περιβάλλον απόθεσης των Πλειο-τεταρτογενών ιζημάτων.

Από την τεκτονική ανάλυση των συστημάτων ασυνεχειών στα Πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα στην περιοχή Κ. Σελμενικού – Λόγγου, προέκυψαν τρία κύρια συστήματα με διευθύνσεις Β70°-80°Α, Β40°-60°Δ και Β40°-60°Α και ένα δευτερεύον σύστημα με διεύθυνση Β20°-30°Δ. Το πρώτο σύστημα περιλαμβάνει κανονικά ρήγματα της παράκτιας περιοχής με ισχυρές κλίσεις προς βορρά. Το δεύτερο και το τρίτο κύριο σύστημα αποτελούν ορθογώνια συστήματα που σχετίζονται με την προς δυτικά μετανάστευση της επέκτασης του Αιγιακού τόξου. Τα ρήγματα του τρίτου συστήματος λειτουργούν ως μεταθετικά ανακόπτοντας τη συνέχεια των προϋπαρχόντων ρηγμάτων ΑΒΑ διεύθυνσης και σχηματίζουν την λεκάνη Ρίου-Αντιρρίου.

Η ρηξιγενής ζώνη Ροδινής – Ψαθόπυργου αναπτύσσεται σε μήκος 7Κm κατά μήκος της ακτογραμμής και αποτελείται από σειρά ρηγμάτων Α-Δ διεύθυνσης ανάπτυξης, τα οποία αναπτύσσονται σε μια ζώνη από +50 έως +400. Στο δυτικό του άκρο η ρηξιγενής ζώνη στρέφεται προς τα ΔΝΔ στο τμήμα του ρήγματος του Ψαθόπυργου.

Κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης συναντάται μια σειρά κατολισθήσεων, στην περιοχή της Παναγοπούλας, της Ροδινής και κατά μήκος του ρήγματος του Ψαθόπυργου. Η προβλεπόμενη χάραξη συναντά την ρηξιγενή ζώνη στην περιοχή της εξόδου της σήραγγας περί τη Χ.Θ. 105+650.

Τα γεωμετρικά στοιχεία του ρήγματος της Ροδινής – Ψαθόπυργου είναι ως εξής, διεύθυνση Ν85°Ε, κλίση 35°±5° προς βορρά, μήκος ρήγματος 12Κm, από την περιοχή Αραχωβίτικα στα δυτικά έως τον υποθαλάσσιο χώρο βόρεια από το Λαμπίρι – Λόγγο στα ανατολικά, άλμα ρήγματος περί τα 400m στην κατακόρυφη συνιστώσα.

Σύμφωνα με τους συγγραφείς, το τέμαχος που ορίζεται από τα ρήγματα της Ελίκης και της Ροδινής – Ψαθόπυργου έχει περιστραφεί ως προς τον άξονα Α-Δ, με φορά προς το

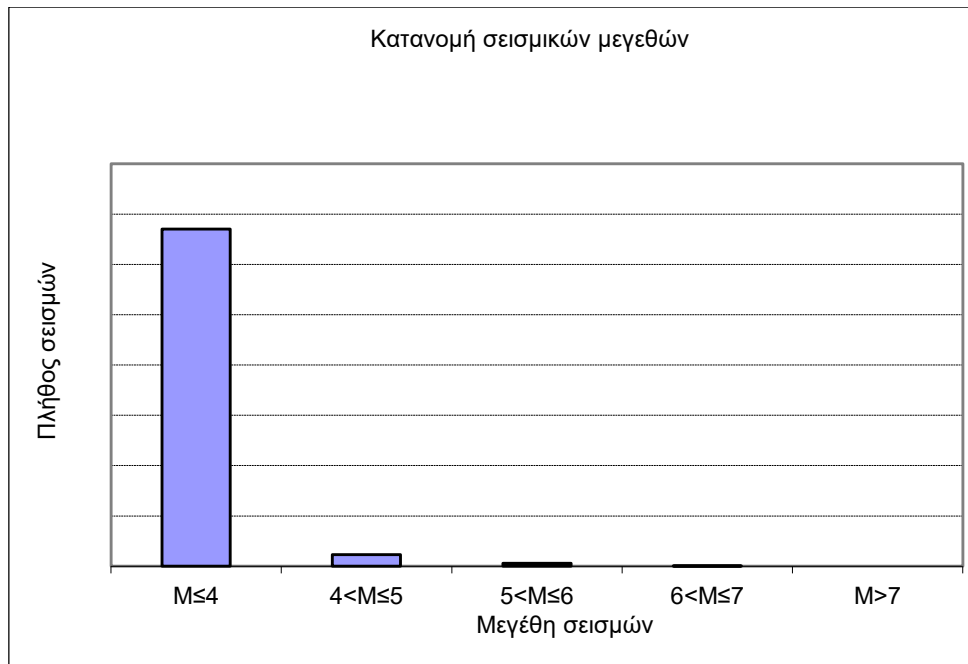
νότο καθώς τα ψαμμιτοκροκαλοπαγή ιζήματα που καλύπτουν ασύμφωνα το αλπικό υπόβαθρο, έχουν κλίση 20°-40° προς νότο. Επιπλέον, χαρακτηρίζουν τα ρήγματα της Ροδινής – Ψαθόπυργου και της Ελίκης ως κανονικά ρήγματα μικρής κλίσης καθώς παρουσιάζουν κλίσεις της τάξεως των 30°-45° προς βορρά.

Η ηλικία του ρήγματος εκτιμάται από τους συγγραφείς ως Πλειστοκαινική με βεβαιότητα και ίσως Άνω Πλειοκαινική, δηλαδή περίπου 2-2,5My. Ο ελάχιστος ρυθμός ολίσθησης είναι 0,2mm/yr, αλλά με βάση τη θέση της θαλάσσιας ψαμμιτοκροκαλοπαγούς αναβαθμίδας ο ρυθμός ανύψωσης έχει υπολογιστεί σε 0,7-0,8mm/yr. Η σχέση μεταξύ ρυθμού ανύψωσης στο δάπεδο του ρήγματος και του ρυθμού βύθισης στην οροφή του σύμφωνα με τους Armijo et al. (1996) είναι 1:3,5 και επομένως ο ρυθμός μετατόπισης του ρήγματος είναι από 2,1 έως 3,15mm/yr.

Σε ότι αφορά την τεκτονική δομή του αλπικού υποβάθρου η ζώνη Ωλονού - Πίνδου πτυχώθηκε έντονα κατά τις δύο φάσεις της αλπικής ορογένεσης, που η μεν πρώτη έλαβε χώρα μεταξύ Ανώτερου Ιουρασικού και Κατώτερου Κρητιδικού και πιστοποιείται με την απόθεση του «πρώτου φλύσχη» κατά το Κενομάνιο, η δε δεύτερη και πλέον ισχυρή (παροξυσμική) έλαβε χώρα κατά το τέλος του Ανώτερου Ηωκαίνου. Κατά τις πτυχωσιγενείς αυτές φάσεις τα αλπικά ιζήματα πτυχώθηκαν, εφιππεύθηκαν και επωθήθηκαν από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Το κυριότερο χαρακτηριστικό γνώρισμα της ευρύτερης περιοχής μελέτης, από άποψη τεκτονικής δομής, αποτελούν τα αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα της ζώνης Ωλονού - Πίνδου επωθημένα επάνω στην ζώνη Γαβρόβου – Τριπόλεως, τα οποία παρατηρούνται σε όλη την Πελοπόννησο, με διεύθυνση από τα ανατολικά προς τα δυτικά.

3.4. Σεισμικότητα της περιοχής

Για την σεισμικότητα της περιοχής του έργου, τα δεδομένα των σεισμών, λαμβάνονται με κέντρο τον οικισμό Λαμπίρι και ακτίνα 50km για την χρονική περίοδο από Φεβρουάριο 1950 έως τον Μάιο 2005, όπου υπάρχει πληρότητα καταλόγου. Το πλήθος των σεισμών στην συγκεκριμένη περιοχή, παρουσιάζεται στο παρακάτω (Διάγραμμα 3.1):



Διάγραμμα 3.1 (Κατανομή Σεισμών Περιοχής Λαμπίρι)

Η μελέτη της σεισμικότητας της περιοχής βασίζεται στη μεθοδολογία των σεισμικών πηγών. Ο ελληνικός χώρος έχει χωρισθεί σε 19 σεισμικές πηγές σε ότι αφορά τους επιφανειακούς σεισμούς με εστιακό βάθος μέχρι τα 60 km και σε 6 σεισμικές πηγές σε ότι αφορά τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους με εστιακά βάθη από 60 km έως 180 km (Παπαζάχος Β. & Κ. Παπαζάχου, 1989).

Η περιοχή του έργου, σύμφωνα με τα παραπάνω, σε ότι αφορά τους επιφανειακούς σεισμούς βρίσκεται στην σεισμική πηγή 8a για την οποία δίδονται τα εξής χαρακτηριστικά:

- Εμβαδόν πηγής $S = 0,584 \times 10.000 \text{ km}^2 = 5.840 \text{ km}^2$.
- Τιμή παραμέτρου $b = 1,0$. Αυτή η παράμετρος υποδηλώνει την μηχανική ομοιογένεια και τις τεκτονικές τάσεις που επικρατούν στο χώρο της σεισμικής πηγής. Έχει αποδειχθεί ότι μεγάλη τιμή της παραμέτρου συνδέεται με σχετικά μεγάλο αριθμό σεισμών μικρού μεγέθους, ήτοι με μεγάλο αριθμό σεισμικών ρηγμάτων μικρού μήκους. Για τον ελληνικό χώρο οι τιμές της παραμέτρου είναι 1,0 – 0,8 – 0,6.
- Τιμή παραμέτρου $a = 4,66$ και $a^* = 4,89$ όπου a αφορά τον ετήσιο αριθμό σεισμών μεγέθους M ή μεγαλύτερου σε μια περιοχή εμβαδού S και συνδέεται με την παράμετρο a_t με την σχέση $a = a_t - \log t$ και a^* αφορά τον αριθμό

σεισμών ανά μονάδα επιφάνειας και συνδέεται με την παράμετρο a_t με την σχέση: $a^* = a_t - \log S \cdot t$

- Το μέγιστο μέγεθος που έχει παρατηρηθεί είναι 7,1.
- Ο ετήσιος αριθμός σεισμών με μέγεθος ίσο ή μεγαλύτερο του 5,0 είναι 0,46.
- Η μέση περίοδος επανάληψης για σεισμούς μεγέθους 6,30 είναι 44 έτη.
- Το πιθανότερο μέγιστο μέγεθος ανά μονάδα επιφάνειας σε χρονικό διάστημα 70 ετών είναι 6,7.
- Η τιμή του ρυθμού της ετήσιας σεισμικής ροπής ανά 10.000 km² είναι 6,39 x 1024 dyn x cm/yr.
- Το μέγεθος του σεισμού, του οποίου η σεισμική ροπή θα ήταν ίση με τον παραπάνω ρυθμό σεισμικής ροπής, είναι 5,90.

Σε ότι αφορά τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους (60km-180km), η περιοχή της μελέτης εντάσσεται στην σεισμική πηγή 1a, για την οποία δίδονται τα εξής χαρακτηριστικά:

- Εμβαδόν πηγής $S = 3,456 \times 10.000 \text{ km}^2 = 34.560 \text{ km}^2$. Το εμβαδόν της πηγής έχει υπολογιστεί πάνω στην ζώνη Benioff και όχι στην επιφάνεια της γης.
- Τιμή παραμέτρου $b = 0,56$.
- Τιμή παραμέτρου $a = 2,33$ και $a^* = 1,79$ για επιφάνεια 10.000 km².
- Το μέγιστο μέγεθος που έχει παρατηρηθεί είναι 7,9.
- Ο ετήσιος αριθμός σεισμών με μέγεθος ίσο ή μεγαλύτερο του 5,0 είναι 0,34.
- Η μέση περίοδος επανάληψης για σεισμούς μεγέθους 6,30 είναι 39 έτη.
- Το πιθανότερο μέγιστο μέγεθος ανά μονάδα επιφάνειας σε χρονικό διάστημα 70 ετών είναι 6,5 για επιφάνεια 10.000 km².
- Η τιμή του ρυθμού της ετήσιας σεισμικής ροπής ανά 10.000 km² είναι 7,08 x 1024 dyn x cm/yr.
- Το μέγεθος του σεισμού, του οποίου η σεισμική ροπή θα ήταν ίση με τον παραπάνω ρυθμό σεισμικής ροπής, είναι 5,9.

Η περιοχή διέλευσης της χάραξης εντάσσεται στη Ζώνη II του αναθεωρημένου χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού ΕΑΚ-2000 (Υπ. Αποφ. Δ17α/115/9/ΦΝ275/7.8.03, ΦΕΚ/1154/β/12.8.03). Σε αυτή τη ζώνη η τιμή

της σεισμικής επιτάχυνσης του εδάφους είναι $A=0,24 \times g$ (g: επιτάχυνση βαρύτητας) με πιθανότητα υπέρβασης 10% σε χρονικό διάστημα 50 ετών.

3.5. Υδρογεωλογικό καθεστώς

Η ευρύτερη περιοχή της μελέτης υπόκειται σε πολλές βροχοπτώσεις ενώ στο νοτιότερο ορεινό της τμήμα υπόκειται και σε πολλές χιονοπτώσεις. Λαμβάνοντας υπόψη το ορεινό και απότομο γεωμορφολογικό ανάγλυφο, συμπεραίνεται ότι η πλημμυρική απορροή και η μεταφορική ικανότητα των ποταμών και των υδατορεμάτων της περιοχής πρέπει να είναι ιδιαίτερα ισχυρές.

Οι αδρομερείς αποθέσεις στις κοίτες των ποταμών και των υδατορεμάτων από κροκάλες και φακοειδής ενστρώσεις άμμων είναι κατά κανόνα υδατοπερατές και αναμένεται σε αυτές να αναπτύσσεται υψηλός φρεάτιος ορίζοντας, ο οποίος φτάνει κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, ιδιαίτερα κατά τη χειμερινή περίοδο.

Οι προσχωματικές αποθέσεις των αλλουβιακών ριπιδίων, οι οποίες αποτελούνται κυρίως από αργιλοϊλύδη έως αργιλοαμμώδη υλικά με κροκάλες και τεμάχια, θεωρούνται ως μέτρια υδατοπερατός σχηματισμός. Λόγω της λιθολογικής ετερογένειας τους η περατότητα τους ποικίλλει κατά θέσεις. Στις προσχώσεις αυτές ενδέχεται να αναπτύσσεται τοπικά αβαθής φρεάτιος ορίζοντας, η στάθμη του οποίου εποχιακά συμπίπτει με το φυσικό έδαφος.

Οι συγκεντρώσεις των πλευρικών αποσαθρωμάτων θεωρούνται γενικά ημιπερατές. Στις αδρομερείς φάσεις του σχηματισμού με σημαντικό πάχος ενδέχεται η εμφάνιση ασθενών επικρεμάμενων οριζόντων, οι οποίοι θα επηρεάσουν σημαντικά την ευστάθεια τους.

Τα ιζήματα του Νεογενούς αποτελούνται κυρίως από συμπαγή κροκαλοπαγή έως χαλαρά ή ασθενώς συγκολλημένα κροκαλοπαγή. Η υδρολογική συμπεριφορά τους παρουσιάζει αντίστοιχες διακυμάνσεις από μέτρια υδατοπερατά έως υδατοπερατά, με την υδροφορία να αναμένεται κυρίως στους οριζόντες που επικρατούν οι αδρομερείς φάσεις όπως χαλαροί άμμοι και κροκάλες ή χάλικες.

Οι σχηματισμοί της ζώνης Ωλονού-Πίνδου που συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή του έργου, αποτελούνται από τους σχηματισμούς των κερατολίθων, των Κρητιδικών ασβεστολίθων, των μεταβατικών στρωμάτων και του φλύσχη και εμφανίζονται με τη

μορφή συνεχών πτυχώσεων και λεπιώσεων-εφιπτεύσεων. Το γεγονός της εναλλαγής μεταξύ διαπερατών σχηματισμών, όπως οι ασβεστόλιθοι και πρακτικά αδιαπέρατων σχηματισμών όπως κερατόλιθοι και φλύσχη, δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για την εμφάνιση πηγών επαφής.

Οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί αναμένονται περατοί έως ημιπερατοί κυρίως λόγω του δευτερογενούς πορώδους, το οποίο σε περιοχές έντονης τεκτονικής καταπόνησης λόγω ρηξιγενούς ή και πτυχογόνου τεκτονισμού αναμένεται να είναι αυξημένο.

Οι μεταβατικοί σχηματισμοί από εναλλαγές ασβεστολίθων και ιλυολίθων αναμένεται να παρουσιάζουν μέτρια έως μικρή περατότητα. Τέλος, οι σχηματισμοί του φλύσχη και των ραδιολαριτών-κερατόλιθων θεωρούνται ως σχηματισμοί πολύ μικρής περατότητας έως πρακτικά αδιαπέρατοι.

Στην ευρύτερη περιοχή του έργου, πραγματοποιήθηκε ένα σύνολο γεωτρήσεων (Πίνακας 3.1), όπου εκτελέστηκαν εντός αυτών επί τόπου δοκιμές περατότητας.

Γεώτρηση	Είδος Δοκιμής	Βάθος εκτέλεσης (m)	Περατότητα (cm/sec)	Γεωλογικός σχηματισμός
ΠΓ4	LUGEON	26,0-30,5	$5,82 \times 10^{-6}$	Κροκαλολατυποπαγές
	LUGEON	30,0-35,0	$4,95 \times 10^{-6}$	Κροκαλολατυποπαγές
	LUGEON	34,5-39,5	$5,90 \times 10^{-6}$	Κροκαλολατυποπαγές
	LUGEON	40,5-45,5	$3,39 \times 10^{-6}$	Κροκαλολατυποπαγές
	LUGEON	45,0-50,0	$1,44 \times 10^{-6}$	Κροκαλολατυποπαγές
Γ261	LEFRANC	170,0-171,0	$1,80 \times 10^{-4}$	Κροκαλολατυποπαγές
	LEFRANC	182,0-183,0	$1,50 \times 10^{-4}$	Κροκαλολατυποπαγές
ΣΔ3Γ2	MAAG	184,6-189,6	$5,20 \times 10^{-6}$	Κερατόλιθος, Αργ. Σχιστόλιθος
	MAAG	195,7	$1,00 \times 10^{-6}$	Κερατόλιθος, Αργ. Σχιστόλιθος
	MAAG	195,7-200,0	$4,50 \times 10^{-6}$	Κερατόλιθος, Αργ. Σχιστόλιθος
Γ262	LUGEON	154,4	$5,20 \times 10^{-6}$	Κερατόλιθος-Σχιστοκερατόλιθος
	LUGEON	162,0	$2,0 \times 10^{-8}$	Κερατόλιθος-Σχιστοκερατόλιθος

Γεώτρηση	Είδος Δοκιμής	Βάθος εκτέλεσης (m)	Παρατότητα (cm/sec)	Γεωλογικός σχηματισμός
	LUGEON	164,4	$2,06 \times 10^{-8}$	Κερατόλιθος-Σχιστοκερατόλιθος
	LUGEON	170,0	$2,56 \times 10^{-6}$	Κερατόλιθος-Σχιστοκερατόλιθος
	LUGEON	175,0	$1,38 \times 10^{-6}$	Κερατόλιθος-Σχιστοκερατόλιθος
ΠΓ6	MAAG	151,7-157,0	$9,00 \times 10^{-7}$	Κερατόλιθος, Πηλίτες, Αργ. Σχιστόλιθοι, Πυριτόλιθοι
	MAAG	157,0-161,0	$1,70 \times 10^{-6}$	Κερατόλιθος, Πηλίτες, Αργ. Σχιστόλιθοι, Πυριτόλιθοι
	MAAG	162,0-167,4	$1,40 \times 10^{-6}$	Κερατόλιθος, Πηλίτες, Αργ. Σχιστόλιθοι, Πυριτόλιθοι
ΠΓ9	LUGEON	170,5-175,5	$7,20 \times 10^{-5}$	Ασβεστόλιθος
	LUGEON	175,0-179,5	Ολικές Απώλειες	Ασβεστόλιθος
	LUGEON	180,5-186,0	$2,50 \times 10^{-4}$	Ασβεστόλιθος
	LUGEON	185,5-190,5	Ολικές Απώλειες	Ασβεστόλιθος
	LUGEON	190,0-194,5	$5,58 \times 10^{-5}$	Ασβεστόλιθος
Γ266	MAAG	5,0	$3,6 \times 10^{-5}$	Κερατολιθικοί χάλικες
	MAAG	10,0	$2,7 \times 10^{-5}$	Ιλύλιθος
	MAAG	15,0	$5,44 \times 10^{-5}$	Κερατόλιθος, Ασβεστόλιθος
	MAAG	21,0	$3,37 \times 10^{-5}$	Κερατόλιθος, Ασβεστόλιθος
	LEFRANC	28,0	Ολικές Απώλειες	Κερατόλιθος, Ασβεστόλιθος

Πίνακας 3.1 (Ερευνητικές Γεωτρήσεις Έργου)

3.6. Τεχνικογεωλογικές συνθήκες κατά μήκος της σήραγγας

Για την καταγραφή των τεχνικογεωλογικών συνθηκών στην περιοχή του έργου, πραγματοποιήθηκαν ερευνητικές δειγματοληπτικές γεωτρήσεις κατά μήκος του άξονα των σηράγγων (Πίνακας 3.2) σε επιλεγμένες θέσεις. Με βάση αυτές τις γεωτρήσεις και την επιφανειακή χαρτογράφηση, προέκυψε η γεωλογική μηκοτομή της σήραγγας (Σχήμα 3.1/ Παράρτημα Γ). Στα δείγματα που λήφθηκαν από κάθε γεώτρηση,

πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές δοκιμές βραχομηχανικής και εδαφομηχανικής. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες δοκιμές:

- ✓ Προσδιορισμός πορώδους και πυκνότητας
- ✓ Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας
- ✓ Δοκιμές μονοαξονικής φόρτισης για τον προσδιορισμό της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη, με τον προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας και του λόγου Poisson
- ✓ Δοκιμές σημειακής φόρτισης
- ✓ Δοκιμές θλίψης κατά γενέτειρα (Brazilian test) για τον προσδιορισμό της αντοχής σε εφελκυσμό
- ✓ Δοκιμές προσδιορισμού της διατμητικής αντοχής ασυνεχειών
- ✓ Προσδιορισμός δείκτη φθοράς

Επίσης σε ορισμένα εδαφικά δείγματα, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές εδαφομηχανικής, ενώ σε ορισμένα δείγματα πραγματοποιήθηκαν ορυκτολογικές και πετρογραφικές αναλύσεις.

Α/Α	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ (m)	ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ (Χ.Ο.)	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ		ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΛΑΦΟΥΣ (απόλυτο m)	ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ
				X	Y		
1.	ΣΓ1	30,40	101+251	322638	4242868	+33,71	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ
2.	ΣΓ4	248,20	103+418	320501	4243201	+229,27	—
3.	ΣΓ5	170,00	104+312	319612	4243291	+181,19	—
4.	ΣΓ6	25,70	105+647	318288	4243466	+31,23	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ
5.	A22	180,00	104+315	319616	4243384	+213	
6.	ΓΤΕ1	25,00	101+069	323246	4243657	+24,00	
7.	ΓΤΕ2	25,40	101+124	323196	4243679	+27,00	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ
8.	ΓΤΕΞ1	40,00	105+729	318206	4243469	+29,00	—
9.	Γ261	195,00	103+806	320129	4243358	+217,00	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ
10.	Γ262	180,00	104+103	319819	4243268	+208,00	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ
11.	Γ263	200,00	104+578	315988	4243509	+231,00	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ
12.	Γ264	273,00	104+695	319210	4243190	+304,00	
13.	Γ265	185,00	105+304	318608	4243279	+210,00	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ
14.	Γ266	30,00	105+675	318259	4243454	+35,00	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ
15.	ΠΓ4	55,00	101+917	321987	4242987	+73,0	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ

16.	ΠΓ9	200,80	104+921	319008	4243368	+215,0	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ
17.	ΣΔ2Γ2	220,50	103+052	320860	4243118	+241,0	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ
18.	ΠΓ6	210,2	104+230	319696,03	4243263,95	+193,96	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ
19.	ΠΓ8	210,1	104+590	319336,09	4243305,55	+234,59	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ
20.	ΣΔ3Γ2	250,9	103+985	319944,80	4243278,87	+213,63	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ

Πίνακας 3.2 (Πιεζομετρικές Στάθμες)

Για την οριστική γεωτεχνική μελέτη του έργου, κρίθηκε σκόπιμο να πραγματοποιηθούν, άλλες οκτώ (8) δειγματοληπτικές γεωτρήσεις (Πίνακας 3.3).

Α/Α	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ (m)	ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ (Χ.Θ.)	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ		ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΛΑΦΟΥΣ (απόλυτο m)	ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ Υ ΟΡΓΑΝΟΥ
				X	Y		
1.	ΠΓ3	322231.3	4242982.7	64.4	X.Θ.101+700	55,40	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ
2.	ΠΓ5	321222.14	4243040.85	273.73	X.Θ. 102+680	255,00	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ
3.	ΠΓ9Α	318877.75	4243419.628	85.29	X.Θ. 105+040	85,00	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ
4.	ΠΓ10Α	318414,3	4243457,0	43,06	X.Θ.105+520	40,00	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ
5.	ΒΗ3	322540.35	4242910.37	63.69	X.Θ.101+360	55,0	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ
6.	ΒΗ4	321755.55	4242977.28	210.17	X.Θ. 102+193	200,2	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ
7.	ΒΗ7	320690.10	4243163.01	159.03	X.Θ.103+223	150,2	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ
8.	ΒΗ8	320256,14	4243207,54	224,09	X.Θ. 103+464	210,0	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ

Πίνακας 3.3 (Πιεζομετρικές Στάθμες)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των γεωλογικών και γεωτεχνικών ερευνών που εκτελέστηκαν, οι σχηματισμοί που αναμένεται να συναντηθούν στο τμήμα της σήραγγας χαρακτηρίζονται από χαλαροί έως ασθενώς συγκολλημένοι εδαφικοί, ημιβραχώδεις και βραχώδεις.

3.6.1. Περιοχή cut & cover εισόδου (Χ.Θ. 101+041,50- Χ.Θ. 101+255,00)

Στη περιοχή αυτή³ εντοπίζονται τα κροκαλοπαγή του πλειο-πλειστοκαίνου, τα αλλουβιακά ριπίδια και ο σχηματισμός του φλύσχη. Επιφανειακά οι σχηματισμοί καλύπτονται από πλευρικά κορήματα. Στην περιοχή αυτή, δεν διαπιστώθηκε μικρής ή μεγάλης κλίμακας τεκτονική δομή, ενώ η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στις ερευνητικές - δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, κυμάνθηκε σε απόλυτα υψόμετρα από +7,14 έως +15,71. Η στάθμη αυτή βρίσκεται σε βάθη κάτω από την ερυθρά της

³ ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΑΣ

σήραγγας, ενώ ο υδροφόρος ορίζοντας αναπτύσσεται στον σχηματισμό των κροκαλοπαγών του νεογενούς, η διαπερατότητα του οποίου εξαρτάται από την επικράτηση των αδρομερών του φάσεων και σε θέσεις όπου κάτω από τα κροκαλοπαγή αναπτύσσεται ο πρακτικά αδιαπέρατος σχηματισμός του φλύσχη.

Στην περιοχή αυτή, έχει εκτελεστεί επί του άξονα της χάραξης της Ν.Σ.Γ, η γεώτρηση ΓΤΕ2 (Εικόνα 3.2) και η γεώτρηση ΣΓ1 (Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.2 (Γεώτρηση ΓΤΕ2)



Εικόνα 3.3 (Γεώτρηση ΣΓ1)

Και στις δύο γεωτρήσεις συναντήθηκαν οι σχηματισμοί των αλλουβιακών ριπιδίων και των πλευρικών κορημάτων, των πλειο-πλειστοκαινικών κροκαλοπαγών και ο σχηματισμός του φλύσχη.

3.6.2. Περιοχή κυρίως σήραγγας (Χ.Θ. 101+255,00 - Χ.Θ. 105+620,00)

Στην περιοχή αυτή⁴ εντοπίζονται οι σχηματισμοί των κροκαλοπαγών και λιγότερο των εναλλαγών κροκαλοπαγών – μαργών του νεογενούς αλλά και οι νεότεροι τεταρτογενείς σχηματισμοί των αλλουβιακών ριπιδίων, των πλευρικών κορημάτων, των αργιλικών πλευρικών κορημάτων, των σύγχρονων αποθέσεων της στενής κοίτης

⁴ ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΑΣ

των ποταμών και των χειμάρρων καθώς και τα υλικά των πρόσφατων και των παλαιών κατολισθήσεων.

Στο τμήμα αυτό συναντάται η προέκταση της ρηξιγενούς ζώνης Ροδινης – Ψαθόπυργου στην περιοχή της Παναγοπούλας, η οποία αναπτύσσεται κατά μήκος της παράκτιας ζώνης και εκτείνεται υποθαλάσσια στον Κορινθιακό κόλπο. Οι ρηξιγενείς δομές που συναντώνται, είναι μεγάλης κλίμακας με διευθύνσεις Α-Δ, ΝΝΔ-ΒΒΑ, ΝΑ-ΒΔ από κανονικά ρήγματα καθώς και εφιππεύσεις σχηματισμών της ενότητας της Πίνδου.

- **Τμήμα μεταξύ των Χ.Θ. 101+300 έως Χ.Θ. 102+000**

Στο τμήμα αυτό της σήραγγας εντοπίζονται οι κροκαλοπαγείς σχηματισμοί του πλειοπλειστοκαίνου. Αυτό το συμπέρασμα προκύπτει από την επιφανειακή γεωλογική χαρτογράφηση και τις γεωερευνητικές εργασίες στο τμήμα, καθώς οι αλπικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται κατόπιν της χάραξης και κατά μήκος των πρηνών της Ν.Ε.Ο. δεν συναντώνται στους σχηματισμούς που διατρήθηκαν από τις γεωερευνητικές εργασίες. Στην περιοχή περί τη Χ.Θ. 101+900 εκτελέστηκε η γεώτρηση ΠΓ-4 (Εικόνα 3.4). Στη θέση αυτή το υπερκείμενο της σήραγγας είναι 44,93m και η διέλευση της χάραξης συναντά κροκαλοπαγείς σχηματισμούς. Ο δείκτης RQD κυμαίνεται μεταξύ 0-35%, ενώ το GSI εκτιμήθηκε μεταξύ 30-40. Η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη κυμαίνεται από 2,76Μρα έως 7,05ΜΡα.



Εικόνα 3.4 (Γεώτρηση ΠΓ4)

Η στάθμη του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα στο τμήμα αυτό βρίσκεται πάνω από το επίπεδο της ερυθράς, ενώ δεν συναντήθηκε ενιαίος υδροφόρος ορίζοντας, αλλά τοπικοί επικρεμάμενοι υδροφόροι ορίζοντες.

- **Τμήμα μεταξύ των Χ.Θ. 102+000 έως Χ.Θ. 103+950**

Στο τμήμα αυτό της σήραγγας εντοπίζονται οι κροκαλοπαγείς σχηματισμοί του πλειοπλειστοκαίνου. Στην περιοχή αυτή, πραγματοποιήθηκε η γεώτρηση ΣΔ2Γ2, περί τη Χ.Θ. 103+10, η γεώτρηση ΣΓ4, περί τη Χ.Θ. 103+400 και σε απόσταση περίπου 40m κατάντη της χάραξης και η γεώτρηση Γ261 περί τη Χ.Θ. 103+800 και σε απόσταση 150m περίπου κατάντη της χάραξης. Στη θέση της γεώτρησης ΣΔ2Γ2 (Εικόνα 3.5), το υπερκείμενο της σήραγγας είναι 202,2m και η διέλευση της χάραξης συναντά τους κροκαλοπαγείς σχηματισμούς, με το RQD να παίρνει τιμές από 0-22% και το GSI τιμές μεταξύ 20-35. Η αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη κυμαίνεται από 3,85Μpa έως 4,81ΜPa. Στη θέση της γεώτρησης ΣΓ4 (Εικόνα 3.6), εντοπίζονται πλειο-πλειστοκαινικά κροκαλοπαγή. Στη θέση της γεώτρησης Γ261 (Εικόνα 3.7), εντοπίζονται πλειο-πλειστοκαινικά κροκαλοπαγή.



Εικόνα 3.5 (Γεώτρηση ΣΔ2Γ2)



Εικόνα 3.6 (Γεώτρηση ΣΓ4)



Εικόνα 3.7 (Γεώτρηση Γ261)

Η στάθμη του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα στο τμήμα αυτό βρίσκεται πάνω από το επίπεδο της ερυθράς. Δεν εντοπίστηκε ενιαίος υδροφόρος ορίζοντας αλλά τοπικοί επικρεμάμενοι υδροφόροι ορίζοντες.

Στη περιοχή μεταξύ των Χ.Θ. 103+900 έως Χ.Θ. 103+950 εντοπίζεται η ζώνη τεκτονικού λατυποπαγούς που ανήκει σε ρήγμα μεγάλης κλίμακας στην επαφή μεταξύ των κροκαλοπαγών του πλειο-πλειστοκαίνου και των αλπικών σχηματισμών των κερατολίθων-ραδιολαριτών.

- **Τμήμα μεταξύ των Χ.Θ. 103+950 έως Χ.Θ. 104+350**

Στο τμήμα αυτό της σήραγγας εντοπίζονται σχηματισμοί των κερατολίθων – ραδιολαριτών, όπως προκύπτει από τα ευρήματα των ερευνητικών γεωτρήσεων που εκτελέστηκαν σε αυτό.

Συγκεκριμένα, στην περιοχή περί τη Χ.Θ. 104+000 εκτελέστηκε η γεώτρηση **ΣΔ3Γ2**, 50m κατάντη του άξονα, η γεώτρηση **Γ262** περί τη Χ.Θ. 104+100, η γεώτρηση **ΠΓ6** περί τη Χ.Θ. 104+250, η γεώτρηση **ΣΓ5** περί τη Χ.Θ. 104+250 και η γεώτρηση **A22** περί τη Χ.Θ. 104+350 ανάντη του άξονα.

Στην θέση της γεώτρησης ΣΔ3Γ2 (Εικόνα 3.8), το υπερκείμενο της σήραγγας είναι 220,46m και η διέλευση της χάραξης συναντά τους κερατόλιθους και αργιλικούς σχιστόλιθους, ισχυρά αποσθρωμένους έως εδαφοποιημένους, με το RQD να παίρνει τιμή 0% και το εκτιμώμενο GSI να παίρνει τιμές μεταξύ 15-25.



Εικόνα 3.8 (Γεώτρηση ΣΔ3Γ2)

Στην θέση της γεώτρησης Γ262(Εικόνα 3.9), το υπερκείμενο της σήραγγας είναι 190,6m και η διέλευση της χάραξης συναντά τους ραδιολαρίτες, ισχυρά αποσαθρωμένους και εδαφοποιημένους και μόνο στο κατώτερο τμήμα της σε ασβεστόλιθους του Κρητιδικού, με RQD 28% και το εκτιμώμενο σε αυτό GSI κυμαίνεται μεταξύ 15-25.



Εικόνα 3.9 (Γεώτρηση Γ262)

Στην θέση της γεώτρησης ΠΓ6 (Εικόνα 3.10), το υπερκείμενο της σήραγγας είναι 166,8m και η διέλευση της χάραξης συναντά ισχυρά αποσαθρωμένους και εδαφοποιημένους ραδιολαρίτες-κερατόλιθους.



Εικόνα 3.10 (Γεώτρηση ΠΓ6)

Στην θέση της γεώτρησης ΣΓ5 (Εικόνα 3.11), το υπερκείμενο της σήραγγας είναι 161,2m και η διέλευση της χάραξης συναντά ραδιολαρίτες με το RQD να παίρνει τιμές από 0% και το GSI εκτιμάται ότι παίρνει τιμές μεταξύ 15-25.



Εικόνα 3.11 (Γεώτρηση ΣΓ5)

Στην θέση της γεώτρησης Α22, το υπερκείμενο της σήραγγας είναι 183,4m και στο επίπεδο διέλευσης της χάραξης συναντώνται Κρητιδικό ασβεστόλιθοι με το RQD να παίρνει τιμές από 40-50% με εκτιμώμενο γεωλογικό δείκτη αντοχής GSI μεταξύ 35-45.

Σε όλο αυτό το τμήμα, η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στις ερευνητικές-δειγματοληπτικές γεωτρήσεις βρέθηκε σε απόλυτο υψόμετρο που κυμάνθηκε από +40,7 έως +42,5, ελαφρά πάνω από την ερυθρά της σήραγγας. Ο αδιαπέρατος χαρακτήρας των εδαφοποιημένων σχηματισμών του τμήματος αυτού εξασφαλίζει την απουσία μόνιμης υδροφορίας στο επίπεδο της σήραγγας και μόνο εποχιακές κατεισδύσεις είναι δυνατόν να την επηρεάσουν.

Στη περιοχή μεταξύ των Χ.Θ. 104+300 και 104+400 εντοπίζονται το ρήγμα μεγάλης κλίμακας που διαχωρίζει τους ασβεστόλιθους του Κρητιδικού από τους κερατόλιθους

της ενότητας των ραδιολαριτών. Πρόκειται για κανονικό ρήγμα με κλίση της τάξεως των 70°-80° προς ΒΔ που οροθετεί το πέρας αυτού του τμήματος.

- **Τμήμα μεταξύ των Χ.Θ. 104+350 έως Χ.Θ. 105+550**

Στο τμήμα αυτό της σήραγγας εντοπίζονται οι σχηματισμοί των Κρητιδικών ασβεστολίθων της ενότητας της Πίνδου.

Συγκεκριμένα, στην περιοχή 104+600 εκτελέστηκε η γεώτρηση **G263**, η γεώτρηση **ΠΓ8** περί τη Χ.Θ. 104+600, η γεώτρηση **G264** περί τη Χ.Θ. 104+700, η γεώτρηση **ΠΓ9** περί τη Χ.Θ. 104+950 και η γεώτρηση **G265** ανάντη της χάραξης περί τη Χ.Θ. 105+350.

Στην θέση της γεώτρησης G263 (Εικόνα 3.12), το υπερκείμενο της σήραγγας είναι 207,49m και στο επίπεδο διέλευσης της χάραξης συναντώνται Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι με το RQD να παίρνει τιμή 0% και το εκτιμώμενο GSI τιμές μεταξύ 20-25. Ο δείκτης σημειακής φόρτισης έλαβε τιμή 3,5MPa.



Εικόνα 3.12 (Γεώτρηση G263)

Στην θέση της γεώτρησης ΠΓ8 (Εικόνα 3.13), το υπερκείμενο της σήραγγας είναι 207,49m και στο επίπεδο διέλευσης της χάραξης συναντώνται Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι με το RQD να παίρνει τιμές από 45-85% με μέση τιμή 65% και το GSI τιμές μεταξύ 50-65. Η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη κυμαίνεται από 16,72MPa έως 27,23MPa. Ο δείκτης σημειακής φόρτισης κυμαίνεται από 3,7MPa έως 5,3MPa.



Εικόνα 3.13 (Γεώτρηση ΠΓ8)

Στην θέση της γεώτρησης Γ264 (Εικόνα 3.14), το υπερκείμενο της σήραγγας είναι 207,41m και στο επίπεδο διέλευσης της χάραξης συναντώνται Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι με το RQD να παίρνει τιμές από 51-92% με μέση τιμή 68% και το GSI τιμές μεταξύ 45-55. Η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη κυμαίνεται από 16,05MPa έως 51,35MPa.



Εικόνα 3.14 (Γεώτρηση Γ264)

Στην θέση της γεώτρησης ΠΓ9 (Εικόνα 3.15), το υπερκείμενο της σήραγγας είναι 197,44m και στο επίπεδο διέλευσης της σήραγγας συναντώνται Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι με το RQD να παίρνει τιμές από 10-68% με μέση τιμή 45% και το GSI τιμές μεταξύ 35-50. Η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη κυμαίνεται από 31,99MPa έως 33,03MPa. Ο δείκτης σημειακής φόρτισης κυμαίνεται από 1,62MPa έως 2,09MPa.



Εικόνα 3.15 (Γεώτρηση ΠΓ9)

Στην θέση της γεώτρησης Γ265 (Εικόνα 3.16), το υπερκείμενο της σήραγγας είναι 106,8m και στο επίπεδο διέλευσης της σήραγγας συναντώνται Κρητιδικό ασβεστόλιθοι με το RQD να παίρνει τιμές από 0-89% με μέση τιμή 16% και το GSI τιμές μεταξύ 25-35 και κατά θέσεις μεταξύ 35-40. Ο δείκτης σημειακής φόρτισης έλαβε τιμή 5,09MPa.



Εικόνα 3.16 (Γεώτρηση Γ265)

Στο τμήμα της σήραγγας που διανοίχθηκε σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στις ερευνητικές - δειγματοληπτικές γεωτρήσεις βρέθηκε σε απόλυτο υψόμετρο που κυμάνθηκε από +9,43 έως +20,0. Η στάθμη αυτή βρίσκεται χαμηλότερα από το επίπεδο της ερυθράς. Λόγω της μέτριας έως υψηλής διαπερατότητας των ασβεστολίθων δεν δημιουργήθηκαν δυσμενείς συνθήκες διάνοιξης, αλλά λόγω της διήθησης των υπογείων υδάτων διαμέσου του δευτερογενούς πορώδους, απαιτήθηκε η εφαρμογή αποστραγγιστικών οπών κατά θέσεις.

3.6.3. Περιοχή cut & cover εξόδου (Χ.Θ. 105+620- Χ.Θ. 105+805)

Στη περιοχή αυτή⁵, εντοπίζονται τα μεταβατικά προς φλύσχη στρώματα, οι ασβεστόλιθοι του Κρητιδικού και ο σχηματισμός των ραδιολαριτών. Επίσης η χάραξη συνάντησε και τις αποθέσεις των αλλουβιακών ριπιδίων.

Στην περιοχή της εισόδου της σήραγγας διαπιστώθηκαν μεγάλης κλίμακας τεκτονικές δομές, οι οποίες επηρεάζουν την διέλευση της χάραξης. Συγκεκριμένα, εγκάρσια ρήγματα μετασχηματισμού τέμνονται από την χάραξη της Ν.Σ.Γ. περί τις Χ.Θ. 105+615, 105+700 και 105+830. Πρόκειται για κανονικά ρήγματα μεγάλης κλίσης προς ΒΔ τα οποία διαμορφώνουν υψηλά απότομα πρανή τα οποία διακόπτουν τη συνέχεια των προς Β κλυτίων του λοφώδους ανάγλυφου, ενώ κατά μήκος των ρηγμάτων αυτών διευθετούνται οι κοίτες των χειμάρρων. Κυρίαρχη τεκτονική δομή είναι η ρηξιγενής ζώνη της Ροδινής – Ψαθόπυργου η οποία εντείνεται κατά μήκος της χάραξης της Ν.Σ.Γ. αναπτυσσόμενη σε διεύθυνση Α-Δ ενώ περί τη Χ.Θ. 105+650 στρέφεται προς τα ΒΑ.

Στην (Χ.Θ. 105+653), πραγματοποιήθηκε η γεώτρηση ΣΓ6 (Εικόνα 3.17), η οποία συνάντησε ενστρώσεις, οι οποίες εντάσσονται στον σχηματισμό των ασβεστολίθων του Κρητιδικού.



Εικόνα 3.17 (Γεώτρηση ΣΓ6)

Στην (Χ.Θ. 105+680), πραγματοποιήθηκε η γεώτρηση Γ266, η οποία συνάντησε κερατόλιθους με ενστρώσεις ασβεστόλιθου και ιλύόλιθου που ανήκουν στους ασβεστόλιθους του Κρητιδικού.

⁵ Σύμφωνα με την Οριστική Γεωλογική Μελέτη Σήραγγας Παναγοπούλας

Στην (X.Θ. 105+735), πραγματοποιήθηκε η γεώτρηση ΓΤΕΞ1, η οποία συνάντησε σχηματισμούς των μεταβατικών στρωμάτων υπό μορφή αποσαθρωμένου ιλυόλιθου και μαργαϊκού ασβεστολίθου έντονα αποσαθρωμένου και εδαφοποιημένου, ενώ σε μεγαλύτερο βάθος συνάντησε μαργαϊκούς ασβεστολίθους με φλέβες ασβεστίτη που ανήκουν στο σχηματισμό των Κρητιδικών ασβεστολίθων.

Στην (X.Θ. 105+723), πραγματοποιήθηκε η γεώτρηση ΓΤΕΞ2, η οποία συνάντησε εναλλαγές μαργαϊκού ασβεστολίθου με ιλυόλιθο που ανήκουν στον σχηματισμό των μεταβατικών στρωμάτων.

Στην (X.Θ. 105+616), πραγματοποιήθηκε η γεώτρηση ΓΤΕΞ3, η οποία συνάντησε σχηματισμούς των αλλουβιακών ριπιδίων.

Στην (X.Θ. 105+976), πραγματοποιήθηκε η γεώτρηση ΓΡ1, η οποία συνάντησε τον σχηματισμό των αλλουβιακών ριπιδίων από χαλίκια, λατύπες και μικρά τεμάχια τεφρού έως υπόλευκου ασβεστολίθου με ερυθροκάστανο έως σκούρο καστανό αργιλοαμμώδες υλικό.

Στην εμφάνιση των ασβεστολιθικών σχηματισμών, η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στις ερευνητικές - δειγματοληπτικές γεωτρήσεις κυμάνθηκε σε απόλυτα υψόμετρα από +7,40 έως +9,43, χαμηλότερα από το επίπεδο της ερυθράς. Στις περιοχές των αδιαπέρατων ραδιολαριτών και των μεταβατικών προς φλύσχη στρωμάτων, η εμφάνιση μόνο επικρεμάμενων υδροφόρων οριζόντων. Στο τμήμα που εντοπίζονται τα αλλουβιακά ριπίδια λόγω της λιθολογικής ετερογένειας τους η περατότητα τους ποικίλλει κατά θέσεις. Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στις ερευνητικές - δειγματοληπτικές γεωτρήσεις βρέθηκε σε απόλυτο υψόμετρο +2,78 χαμηλότερα από το επίπεδο της σήραγγας. Στις θέσεις αυτές αναπτύχθηκε τοπικά αβαθής εποχιακός φρεάτιος ορίζοντας, η στάθμη του οποίου εποχιακά συμπίπτει με το φυσικό έδαφος.

4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Η κατασκευή της σιδηροδρομικής σήραγγας Παναγοπούλας, περιλαμβάνει την κατασκευή ενός τεχνικού cut & cover στην περιοχή εισόδου της σήραγγας (Χ.Θ. 101+041,50- Χ.Θ. 101+255,00), μήκους 161,07m για τον δεξιό κλάδο και μήκους 248,82m για τον αριστερό κλάδο. Στην συνέχεια προβλέπεται η διάνοιξη δίδυμης σήραγγας (Χ.Θ. 101+255,00 - Χ.Θ. 105+620,00), με μήκους υπόγειου τμήματος για τον δεξιό κλάδο 4.365m και 4.394,67m για τον αριστερό κλάδο. Τέλος στην περιοχή εξόδου της σήραγγας (Χ.Θ. 105+620- Χ.Θ. 105+805), προβλέπεται η κατασκευή τεχνικού cut & cover και cover & cut, μήκους 205,04m για τον δεξιό κλάδο και 170,97m για τον αριστερό κλάδο.

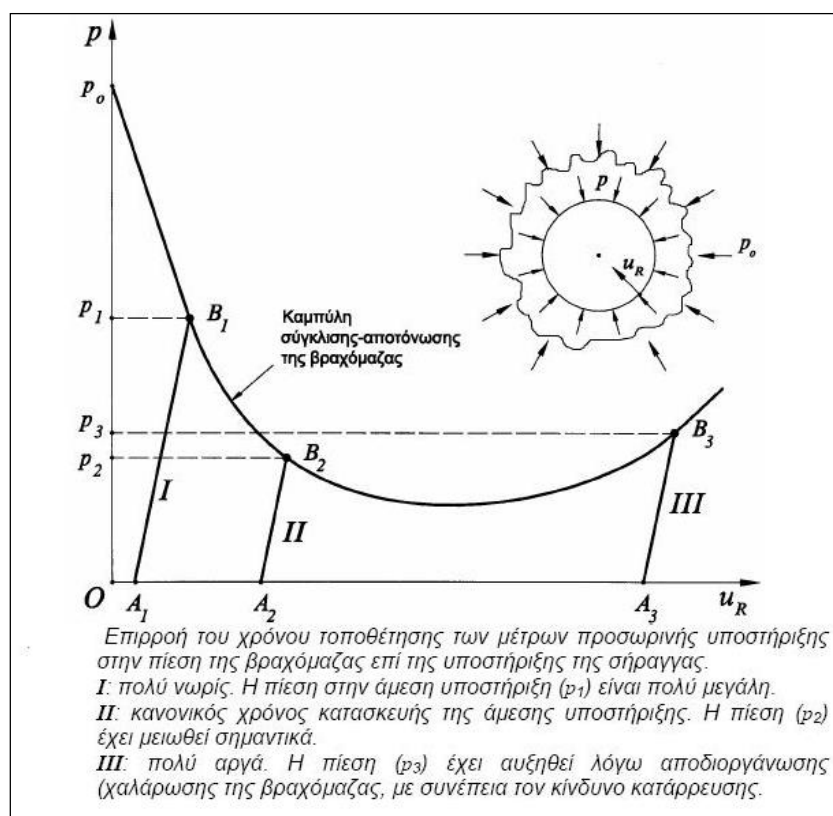
4.1. Μέθοδος διάνοιξης

Η υπόγεια διάνοιξη της σήραγγας Παναγοπούλας, περιλαμβάνει την διάνοιξη διδύμων σηράγγων μήκους ~4.400m από την Χ.Θ. 101+255,00 - Χ.Θ. 105+620,00, την κατασκευή συνδετήριων σηράγγων ανά 500m, καθώς και την κατασκευή μία σήραγγας ενδιάμεσης προσβολής μήκους 550m, η οποία τέμνει τον δεξιό κλάδο της κύριας σήραγγας στην Χ.Θ. 103+055.

Η διάνοιξη της σήραγγας, γίνεται με την Νέα Αυστριακή Μέθοδο διάνοιξης σηράγγων (NATM). Η συνήθης εφαρμογή της μεθόδου NATM είναι η διάνοιξη της διατομής της σήραγγας σε μια ή περισσότερες φάσεις και η άμεση υποστήριξη του τοιχώματος με εκτοξευμένο σκυρόδεμα (απλό, ινοπλισμένο, οπλισμένο με χαλύβδινο πλέγμα ή ενισχυόμενο με χαλύβδινες νευρώσεις από ράβδους ή διατομές I) και αγκύρια (παθητικά ή προεντεταμένα). Σημειώνεται ότι η υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας μόνο με αγκύρια χωρίς εκτοξευόμενο σκυρόδεμα υπάγεται επίσης στην κατηγορία της μεθόδου NATM. Τέλος, κατά τη μέθοδο NATM η ως άνω άμεση υποστήριξη συνήθως ακολουθείται σε μεταγενέστερο χρόνο από την κατασκευή της "τελικής επένδυσης" της σήραγγας η οποία θεωρείται ως φέρον στοιχείο (σε ορισμένες περιπτώσεις δεν κατασκευάζεται τελική επένδυση αλλά η άμεση υποστήριξη σχεδιάζεται ώστε να αναλάβει το σύνολο των φορτίων της περιβάλλουσας βραχώμαζας).

Η βασική αρχή της μεθόδου NATM είναι ότι η διάνοιξη της σήραγγας και η κατασκευή της άμεσης υποστήριξης γίνονται κατά τρόπο ώστε να ενεργοποιηθεί η αντοχή της

περιβάλλουσας βραχώμαζας (μέσω της ελεγχόμενης σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας) σε ικανό βάθος ώστε να μειωθούν αρκετά οι πιέσεις επί της άμεσης υποστήριξης, αλλά όχι τόσο ώστε να προκληθεί αποδιοργάνωση της βραχώμαζας με συνέπεια την αύξηση των πιέσεων στην άμεση υποστήριξη και τελικώς την κατάρρευση της διατομής της σήραγγας (Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1 (Καμπύλη Σύγκλισης- Αποτόνωσης)

Σύμφωνα με την NATM, η διάνοιξη της σήραγγας γίνεται ως εξής:

- Η εκσκαφή της διατομής της σήραγγας συνήθως γίνεται σε περισσότερες της μιας φάσης. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η επιφάνεια του μετώπου της εκσκαφής κάθε φάσης και συνεπώς μειώνεται η συνολική σύγκλιση του τοιχώματος (σε σχέση με την εκσκαφή της διατομής σε μια φάση) και βελτιώνεται η ευστάθεια της διατομής αποφεύγοντας την αποδιοργάνωση της περιβάλλουσας βραχώμαζας.
- Κατασκευή της άμεσης υποστήριξης της διατομής σε μικρή απόσταση από το μέτωπο της εκσκαφής ώστε να περιορισθεί η περαιτέρω σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας και να αποφευχθεί η αποδιοργάνωση της δομής της

βραχώμαζας. Τούτο επιτυγχάνεται με την προώθηση της κάθε φάσης εκσκαφής σε μικρά βήματα της τάξεως των 1-2m, αναλόγως της ποιότητας της βραχώμαζας. Το μήκος του βήματος εκσκαφής μειώνεται όσο πτωχότερη είναι η ποιότητα της βραχώμαζας (επειδή στις περιπτώσεις αυτές η αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας είναι ταχύτερη).

- Η άμεση υποστήριξη της διατομής θα πρέπει να αναλάβει φορτία κατά το δυνατόν ταχύτερα ώστε να περιορισθεί η περαιτέρω σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας και συνεπώς η αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πλεονεκτεί ως προς την άποψη αυτή επειδή βρίσκεται σε απόλυτη επαφή με την περιβάλλουσα βραχώμαζα (και συνεπώς η παραμικρή σύγκλιση του τοιχώματος προκαλεί τη φόρτισή του) και επιπλέον έχει μικρό χρόνο πήξεως (μερικές ώρες). Η χρήση αγκυρίων βράχου σε κανονικό κানাβο οπλίζει την περιβάλλουσα βραχώμαζα και συντελεί στην καλύτερη ανάπτυξη της λειτουργίας τόξου στη βραχώμαζα. Πράγματι, η τάση της βραχώμαζας να παραμορφωθεί διατμητικά προκαλεί (μέσω της διασταλτικότητας) την ανάπτυξη εφελκύσμου στα αγκύρια και συνεπώς θλίψης στη βραχώμαζα. Η θλίψη της βραχώμαζας αυξάνει την αντοχή της και μειώνει την παραμορφωσιμότητά της λόγω εγκιβωτισμού .
- Ολοκλήρωση του δακτυλίου του εκτοξευμένου σκυροδέματος στο σύνολο της διατομής (δηλαδή και στο δάπεδο). Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένας κλειστός δακτύλιος με πολύ μικρή παραμορφωσιμότητα ώστε να περιορίζονται οι περαιτέρω συγκλίσεις του τοιχώματος. Η δημιουργία κλειστού δακτυλίου με την ταχεία σκυροδέτηση του δαπέδου (early invert closure) συντελεί τα μέγιστα στη μείωση της σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας και στην ευστάθεια της διατομής. Στην περίπτωση βραχώμαζας με καλά μηχανικά χαρακτηριστικά συχνά δεν είναι απαραίτητο να ολοκληρώνεται ο δακτύλιος του εκτοξευμένου σκυροδέματος.
- Στην περίπτωση διάνοιξης σηράγγων σε βραχώμαζα με πολύ πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά ή σε εδαφικούς σχηματισμούς, είναι συνήθης η εμφάνιση φαινομένων αστάθειας του μετώπου της εκσκαφής (face instability). Τα φαινόμενα αυτά προκαλούν αύξηση της σύγκλισης και αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας με πιθανή κατάληξη την κατάρρευση της σήραγγας. Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορούν να ληφθούν μέτρα βελτίωσης της ευστάθειας του

μετώπου, όπως αύξηση του αριθμού των φάσεων εκσκαφής (ώστε να μειωθούν οι διαστάσεις του μετώπου), διαμόρφωση του μετώπου με κλίση ως προς την κατακόρυφο (δηλαδή αφήνοντας έναν εδαφικό τάκο στον πόδα του μετώπου), ενίσχυση του μετώπου με αγκύρια, ενίσχυση της οροφής με ράβδους (spiles) ή δοκούς προπορείας (forepoling), κατασκευή τσιμεντενέσεων, επένδυση του μετώπου με εκτοξευμένο σκυρόδεμα κλπ.

- Η πυκνότητα των μέτρων άμεσης υποστήριξης προσαρμόζεται στις επιτόπου συνθήκες. Ειδικότερα, η μέθοδος NATM βασίζεται σε μετρήσεις της συμπεριφοράς του τμήματος της σήραγγας που έχει ήδη διανοιχθεί (όπως μετρήσεις της σύγκλισης του τοιχώματος, της πίεσης της βραχώμαζας στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, της θλιπτικής τάσης στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κλπ). Με τον τρόπο αυτό, οποιαδήποτε απόκλιση από την προηγούμενη συμπεριφορά θα πρέπει να αξιολογείται και να ερμηνεύεται, στη συνέχεια δε να αντιμετωπίζεται με κατάλληλη προσαρμογή των μέτρων άμεσης υποστήριξης.

4.2. Κατηγορίες Εκσκαφής Προσωρινής Υποστήριξης

Η μελέτη προσωρινής υποστήριξης⁶, περιλαμβάνει οκτώ (8), κατηγορίες προσωρινής υποστήριξης, που εφαρμόζονται ανάλογα με τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της εκσκαπτομένης περιοχής και το ύψος των υπερκειμένων. Τα χαρακτηριστικά των κατηγοριών προσωρινής υποστήριξης, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1.

⁶ Οριστική Μελέτη Σήραγγας Παναγοπούλας- Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης

	A	B	C	D1	D2	E1	E2	E3
ΤΥΠΟΣ	Ανοικτή	Ανοικτή	Ανοικτή	Κλειστή	Κλειστή	Κλειστή	Κλειστή	Κλειστή
ΕΚΣΚΑΦΗ	Τμηματική σε 2 φάσεις	Τμηματική σε 2 φάσεις	Τμηματική σε 2 φάσεις	Τμηματική σε 2 φάσεις	Τμηματική σε 2 φάσεις	Τμηματική σε 2 φάσεις	Τμηματική σε 2 φάσεις	Τμηματική σε 3 φάσεις
ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ	3,00m	2,50m	2,00m	1,50m	1,50m	1,00m	1,00m	1,00m
ΣΤΑΤΙΚΟ ΠΑΧΟΣ ΕΚΤΟ/ΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	0,15m	0,20m	0,25m	0,25m	0,25~0,30m	0,25~0,40m	0,25~0,45m	0,25~0,70m
ΠΛΑΙΣΙΑ	-	Lattice Girber 70/22/D22/βήμα	Lattice Girber 70/22/D22/βήμα	IPB 140/βήμα	IPB 140/βήμα	IPB 140/βήμα	IPB 140/βήμα	IPB 140/βήμα
ΑΓΚΥΡΙΑ	12τεμ./βήμα	14τεμ./βήμα	14τεμ./βήμα	20τεμ./βήμα	20τεμ./βήμα	14τεμ./βήμα	14τεμ./βήμα	19τεμ./βήμα
	L=4,00m	L=4,00m	L=4,00m και L=6,00m	L=4,00m και L=6,00m	L=4,00m και L=6,00m	L=6,00m	L=6,00m	L=6,00m και L=9,00m

Πίνακας 4.1 (Διατομές Προσωρινής Υποστήριξης)

Στις περιοχές αλληλεπίδρασης μεταξύ οδικών και σιδηροδρομικών σηράγγων (βλέπε Κεφάλαιο 2), εφαρμόστηκαν οι αμέσως βαρύτερες κατηγορίες υποστήριξης από αυτές που προέβλεπε η αρχική μελέτη⁷, εκτός της Χ.Θ. 104+000, όπου εφαρμόστηκε η κατηγορία εκσκαφής E2I

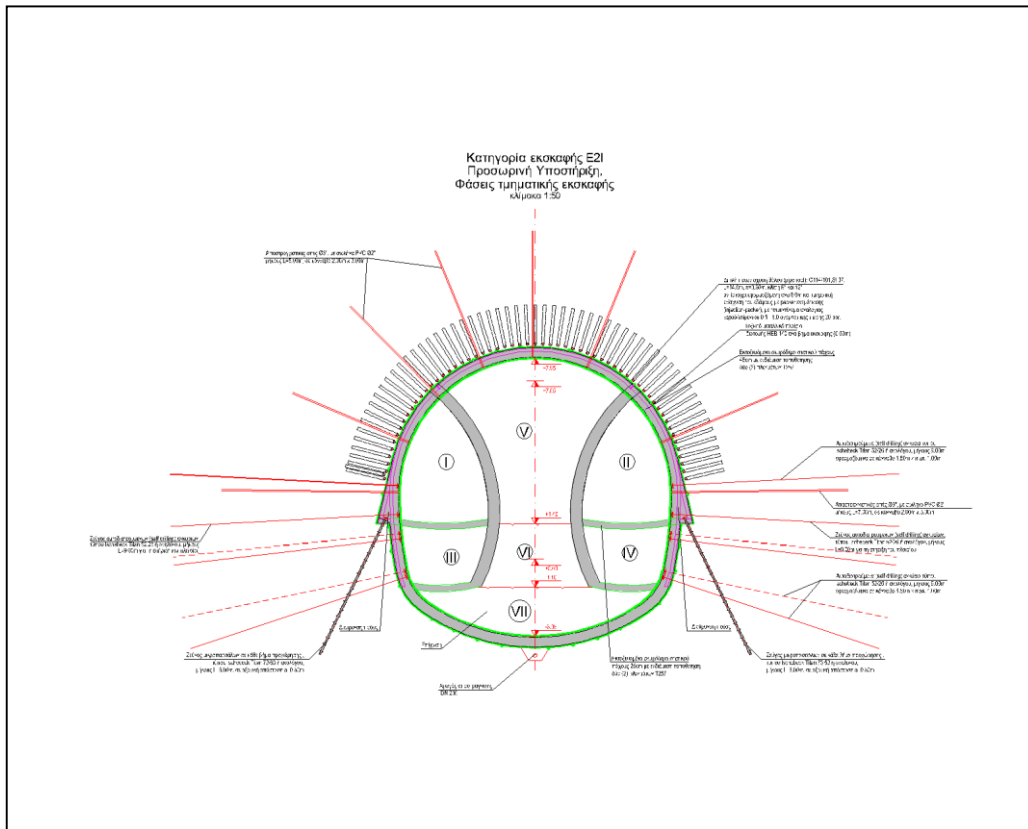
4.3. Κατηγορία Εκσκαφής E2I

Η συγκεκριμένη κατηγορία εκσκαφής (Σχήμα 4.2), εφαρμόζεται στην περιοχή διασταύρωσης της οδικής και σιδηροδρομικής σήραγγας Παναγοπούλας, περί την Χ.Θ. 103+900 – 104+250. . Στην περιοχή αυτή το ύψος υπερκειμένων είναι ~200m.

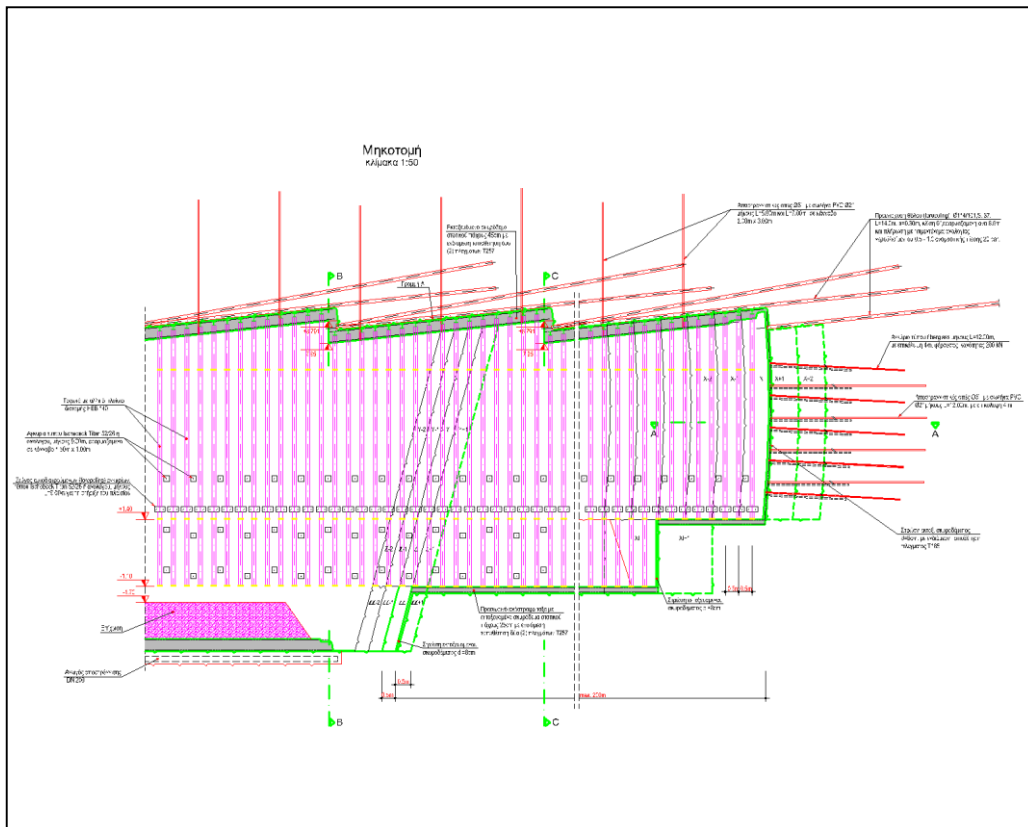
Η συγκεκριμένη κατηγορία περιλαμβάνει διάνοιξη της σήραγγας σε επτά (7) φάσεις, με βήμα προχώρησης 0,5m και εφαρμογή βαρειών μέτρων υποστήριξης. Σε κάθε φάση εκσκαφής γίνονται αποστραγγιστικές οπές για την αποστράγγιση της περιβάλλουσας βραχώμαζας. Πριν την έναρξη εκσκαφής κάθε φάσης, εφαρμόζεται προενίσχυση του θόλου της σήραγγας, με διπλή σειρά δοκών προπορείας Φ114/101 St 37, υπό γωνία 6°

⁷ Οριστική Μελέτη Σήραγγας Παναγοπούλας- Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης

και 12^ο αντίστοιχα, συνολικού μήκους 14m, ανά 8m. Επίσης γίνεται ενίσχυση του μετώπου με αγκύρια fiberglass, μήκους 12m, ανά 8m.



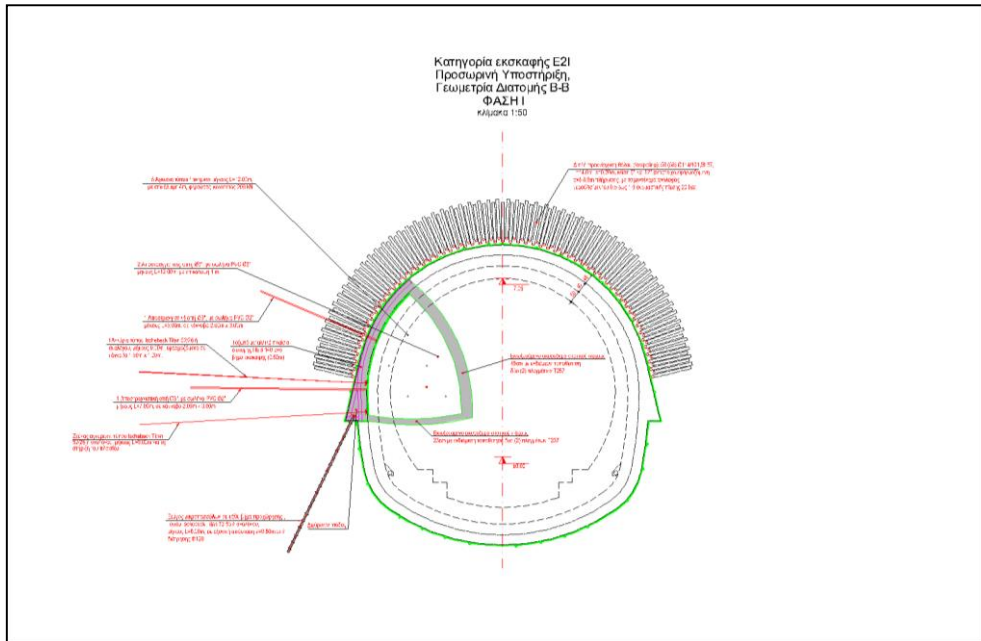
Σχήμα 4.2 (Κατηγορία E21)



Σχήμα 4.3 (Κατηγορία E2I- Μηκοτομή)

- Φάση I

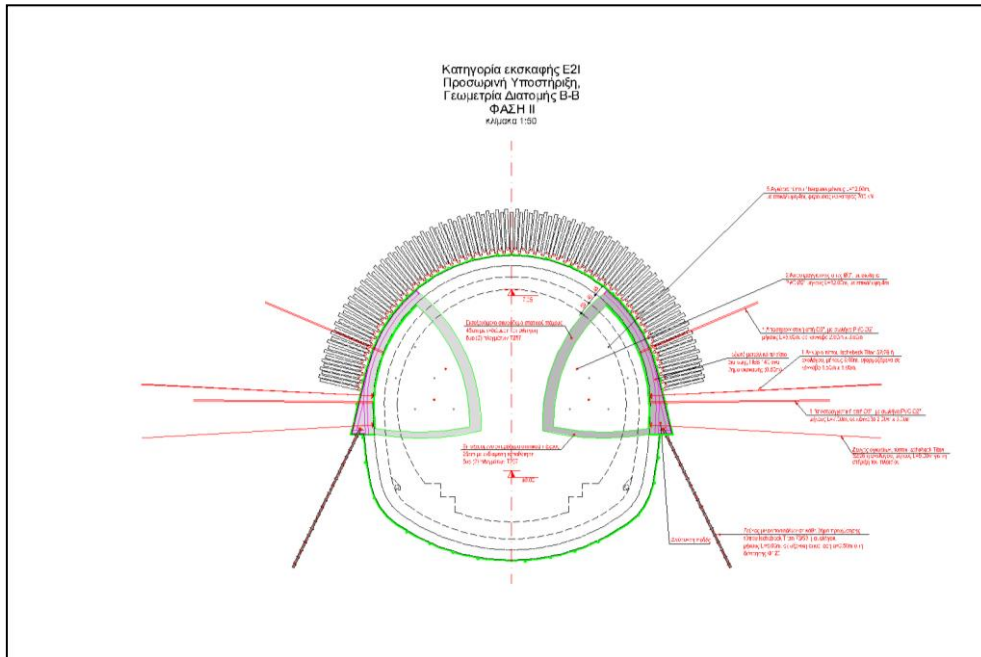
Αποτελεί το άνω τμήμα της αριστερής πλευρικής στοάς (Σχήμα 4.4). Τα μέτρα υποστήριξης, περιλαμβάνουν την τοποθέτηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος C30/37, πάχους 45cm στις παρειές και 25cm στον πυθμένα, με ενδιάμεση τοποθέτηση δύο δομικών πλεγμάτων T257, την τοποθέτηση μεταλλικού πλαισίου ΗΕΒ 140 ανά 0,5m, την τοποθέτηση αγκυριών ολόσωμης πάκτωσης Φ52, μήκους L=9,00m σε κάρναβο 1,50x1,00 και ζεύγος μικροπασσάλων Φ73, μήκους L=6,00m.



Σχήμα 4.4 (Κατηγορία E2I- Φάση I)

- Φάση II

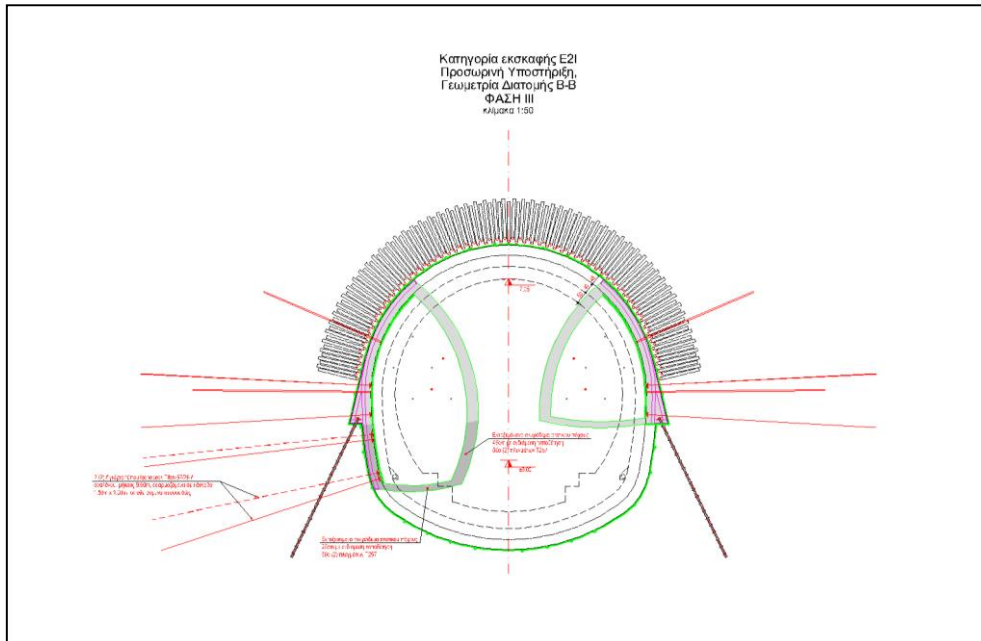
Αποτελεί το άνω τμήμα της δεξιάς πλευρικής στοάς (Σχήμα 4.5). Τα μέτρα υποστήριξης, περιλαμβάνουν την τοποθέτηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος C30/37, πάχους 45cm στις παρειές και 25cm στον πυθμένα, με ενδιάμεση τοποθέτηση δύο δομικών πλεγμάτων T257, την τοποθέτηση μεταλλικού πλαισίου HEB 140 ανά 0,5m, την τοποθέτηση αγκυριών ολόσωμης πάκτωσης Φ52, μήκους L=9,00m σε κάρναβο 1,50x1,00 και ζεύγος μικροπασσάλων Φ73, μήκους L=6,00m.



Σχήμα 4.5 (Κατηγορία E2I- Φάση II)

- Φάση III

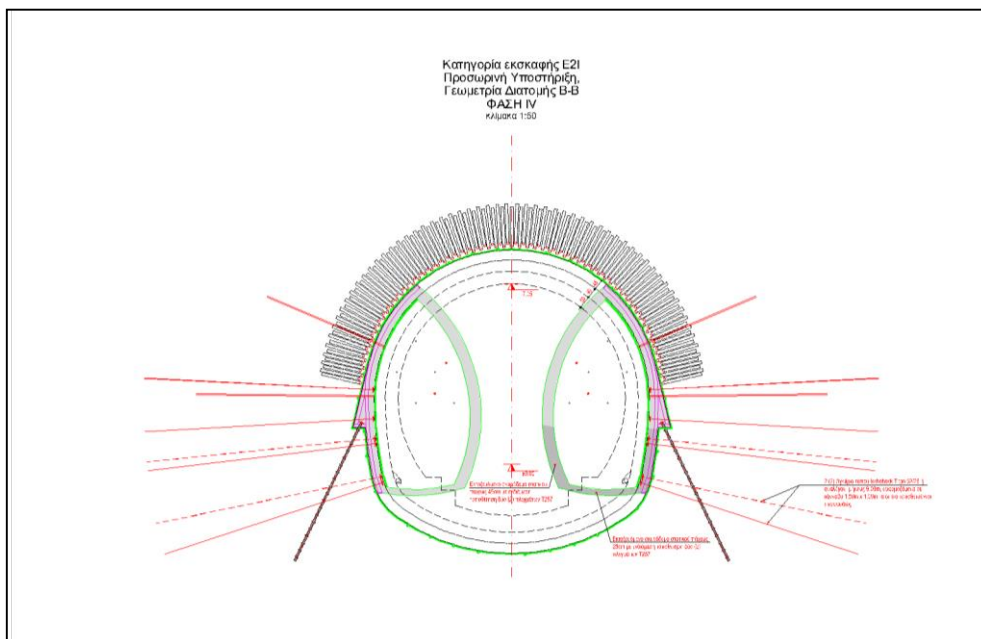
Αποτελεί το κάτω τμήμα της αριστερής πλευρικής στοάς (Σχήμα 4.6). Τα μέτρα υποστήριξης, περιλαμβάνουν την τοποθέτηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος C30/37, πάχους 45cm στις παρειές και 25cm στον πυθμένα, με ενδιάμεση τοποθέτηση δύο δομικών πλεγμάτων T257, την τοποθέτηση μεταλλικού πλαισίου HEB 140 ανά 0,5m και την τοποθέτηση αγκυριών ολόσωμης πάκτωσης Φ52, μήκους L=9,00m σε κάρναβο 1,50x1,00.



Σχήμα 4.6 (Κατηγορία E2I- Φάση ΙΙΙ)

- Φάση ΙV

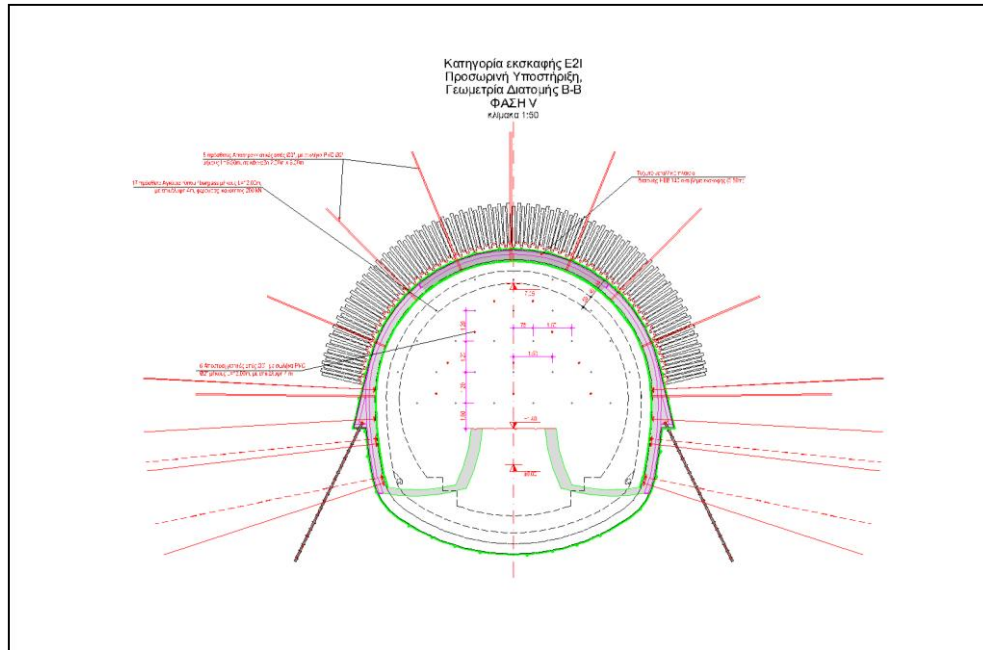
Αποτελεί το κάτω τμήμα της δεξιάς πλευρικής στοάς (Σχήμα 4.7). Τα μέτρα υποστήριξης, περιλαμβάνουν την τοποθέτηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος C30/37, πάχους 45cm στις παρειές και 25cm στον πυθμένα, με ενδιάμεση τοποθέτηση δύο δομικών πλεγμάτων T257, την τοποθέτηση μεταλλικού πλαισίου HEB 140 ανά 0,5m και την τοποθέτηση αγκυριών ολόσωμης πάκτωσης Φ52, μήκους L=9,00m σε κάρναβο 1,50x1,00.



Σχήμα 4.7 (Κατηγορία E2I- Φάση ΙV)

- Φάση V

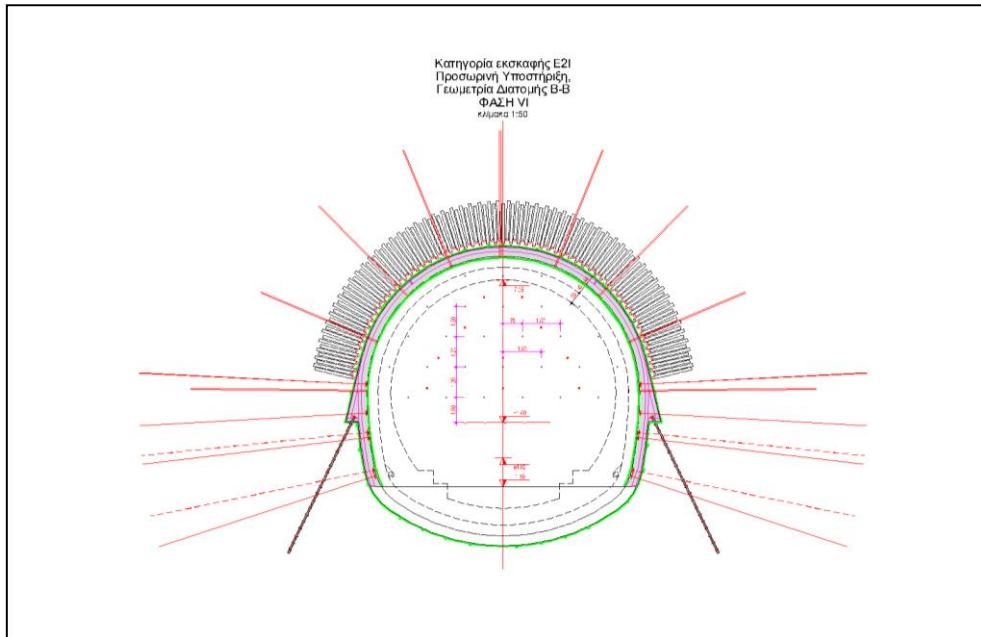
Αποτελεί το άνω κεντρικό τμήμα (Σχήμα 4.8). Τα μέτρα υποστήριξης, περιλαμβάνουν την τοποθέτηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος C30/37, πάχους 45cm στην οροφή και την τοποθέτηση μεταλλικού πλαισίου HEB 140 ανά 0,5m.



Σχήμα 4.8 (Κατηγορία E2I- Φάση V)

- Φάση VI

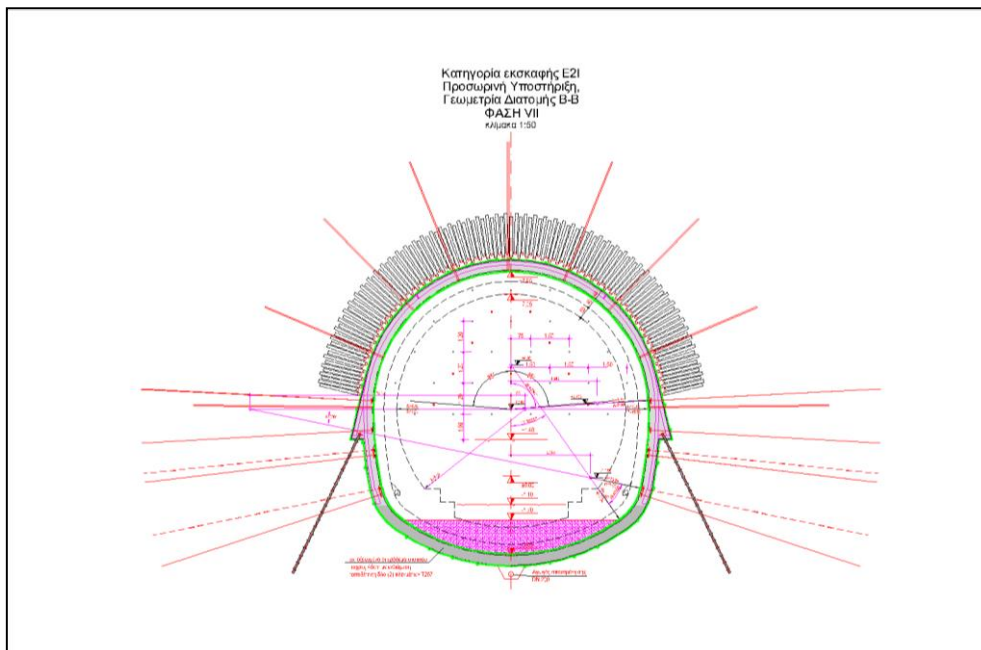
Αποτελεί το μεσαίο κεντρικό τμήμα (Σχήμα 4.9). Στη φάση αυτή δεν τοποθετούνται μέτρα προσωρινής υποστήριξης.



Σχήμα 4.9 (Κατηγορία E2I- Φάση VI)

- Φάση VII

Αποτελεί το τελικό ανάστροφο τόξο της σήραγγας (Σχήμα 4.10). Τα μέτρα υποστήριξης, περιλαμβάνουν την τοποθέτηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος C30/37, πάχους 45cm.



Σχήμα 4.10 (Κατηγορία E2I- Φάση VII)

4.4. Μέθοδος Κατασκευής – Προσωρινή Υποστήριξη

Η διάνοιξη της σιδηροδρομικής σήραγγας στην περιοχή διασταύρωσης με τις οδικές σήραγγες, περιλαμβάνει:

- Εκσκαφή

Η εκσκαφή της σήραγγας πραγματοποιήθηκε με την χρήση εκσκαφέα υπογείων έργων (Εικόνα 4.1). Επίσης χρησιμοποιήθηκε υδραυλική σφύρα για την διάνοιξη σε περιοχές που συναντήθηκε κρητιδικός ασβεστόλιθος, καθώς επίσης και για την αφαίρεση επισφαλών όγκων βραχώμαζας. Η αποκομιδή των προϊόντων εξόρυξης, γινόταν με χρήση φορτωτή και η μεταφορά με φορτηγό όχημα.



Εικόνα 4.1 (Εκσκαφή Σήραγγας)

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα παρασκευαζόταν σε συγκρότημα παρασκευής σκυροδέματος εκτός του εργοταξίου, ενώ η τελική ανάμιξη με τον επιταχυντή για την στερεοποίηση του, γινόταν πριν την εκτόξευση του. Η εκτόξευση έγινε με την χρήση ρομποτικής πρέσας (Εικόνα 5.2).



Εικόνα 4.2 (Τοποθέτηση Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος)

- Μεταλλικά πλαίσια

Τα μεταλλικά πλαίσια (Εικόνα 4.3) αποτελούνται από περισσότερα του ενός τμήματος και τα οποία συνδέονται μεταξύ τους εντός της σήραγγας και τοποθετούνται στην τελική τους θέση. Τα περισσότερα από αυτά φέρουν ειδικά διαμορφωμένο elephant foot, ώστε να μπορεί να θεμελιωθεί προσωρινά κατά την διάνοιξη της Α' φάσης εκσκαφής και στη συνέχεια να μπορέσει να προσαρμοστεί η συνέχεια του πλαισίου κατά την διάνοιξη της Β' φάσης εκσκαφής.



Εικόνα 4.3 (Τοποθέτηση Μεταλλικού Πλαισίου)

- Αγκύρια

Για την συγκράτηση επικρεμάμενων όγκων βραχομάζας, την ενίσχυση της βραχομάζας περιμετρικά της σήραγγας καθώς και την σύνδεση των μεταλλικών πλαισίων με την βραχομάζα, χρησιμοποιούνται μεταλλικά αγκύρια. Για την τοποθέτηση των αγκυρίων, αρχικά διανοίγονταν τα διατρήματα με την χρήση διατρητικού φορείου Jumbo (Εικόνα 4.4), σε κάναβο ανάλογα με την μελέτη. Στην συνέχεια τοποθετούταν τσιμεντένεμα εντός των διατρημάτων και μετά τοποθετούταν το αγκύριο. Μετά την τοποθέτηση του αγκυρίου, προσαρμοζόταν ειδική πλάκα πάκτωσης στην άκρη του.



Εικόνα 4.4 (Διάτρηση για Αγκύρωση)

- Προενίσχυση οροφής (forepoling)

Για την προενίσχυση της οροφής, χρησιμοποιήθηκαν δοκοί προπορείας (forepoling) Είναι μεταλλικοί σωλήνες St-37, με εξωτερική διάμετρο $\Phi 114$ και εσωτερική διάμετρο $\Phi 101$. Το μήκος τους είναι 14.00m και τοποθετήθηκαν σε αξονική απόσταση 0,30m, με κλίση 6° και 12° αντίστοιχα, ενώ τοποθετήθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε ομπρέλα δοκών προπορείας να έχει αλληλοεπικάλυψη με την επόμενη ομπρέλα, 6.00m. Για την τοποθέτηση τους, αρχικά διανοίγονταν διατρήματα με ειδικό διατρητικό φορείο τύπου Casagrande (Εικόνα 4.5), και έπειτα τοποθετούνταν οι σωλήνες, ταπώνονταν στο ελεύθερο άκρο με ειδική τάπα που φέρει σωλήνα και στην συνέχεια εισπιεζόταν ένεμα εντός αυτών με αναλογία νερού/τσιμέντου 0,5-1 με πίεση 20 bar. Στην συνέχεια με κάθε βήμα εκσκαφής, αποκαλύπτονταν οι σωλήνες του forepoling και στερεώνονταν πάνω σε αυτούς τα μεταλλικά πλαίσια.



Εικόνα 4.5 (Διάτρηση για Κατασκευή Forepoling)

4.5. Μόνιμη Επένδυση

Η μόνιμη επένδυση σήραγγας, κατασκευάζεται από επί τόπου έγχυτο σκυρόδεμα B35. Ο οπλισμός που τοποθετείται είναι μονή σχάρα $\Phi 25/100$.

Η μόνιμη επένδυση της σήραγγας κατασκευάζεται αφού η προσωρινή επένδυση έχει προηγηθεί τουλάχιστον 500m. Αρχικά γίνεται υδατοσεγάνωση της σήραγγας, με την χρήση γεωμεμβράνης (Εικόνα 4.6)



Εικόνα 4.6 (Τοποθέτηση Οπλισμού στο Invert)

Σε επόμενο στάδιο γίνεται η τοποθέτησή του οπλισμού στο ανάστροφο τόξο-πεζοδρομία της σήραγγας και ακολουθεί η σκυροδέτηση τους (Εικόνα 4.7).



Εικόνα 4.7 (Υδατοστεγάνωση Σήραγγας)

Αφού έχει προηγηθεί σε σημαντικό μήκος η κατασκευή του ανάστροφου τόξου, γίνεται τοποθέτηση του οπλισμού, περιμετρικά της σήραγγας (Εικόνα 4.8).



Εικόνα 4.8 (Τοποθέτηση Οπλισμού στην Σήραγγα)

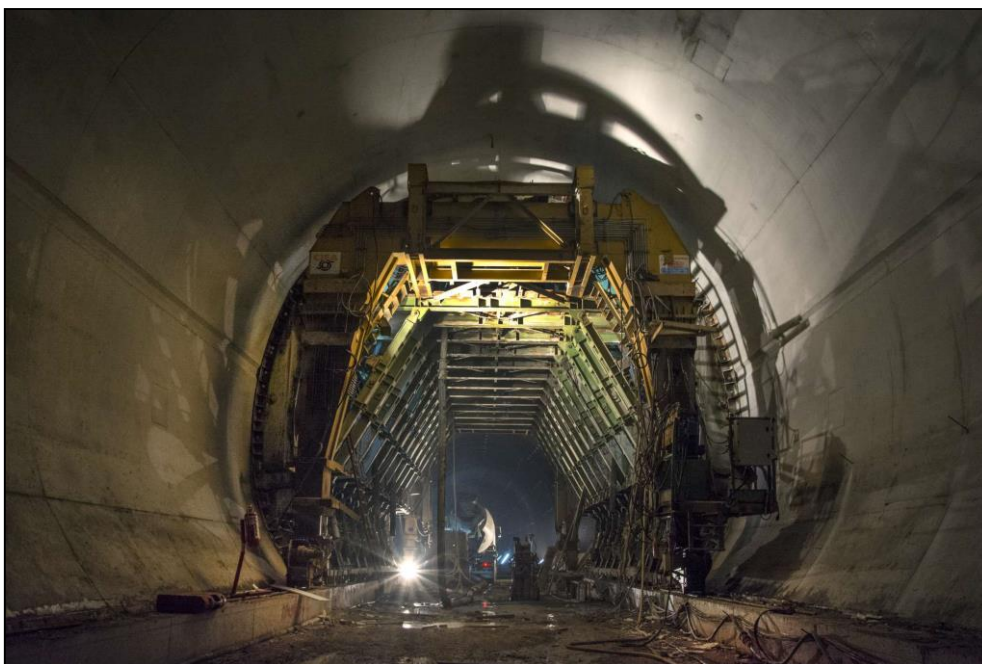
Τέλος με την χρήση κατάλληλου μεταλλότυπου (Εικόνα 4.9), γίνεται η σκυροδέτηση της σήραγγας ανά 12m, όπου τοποθετείται κατασκευαστικός αρμός, πάχους 3cm. Το

πάχος της μόνιμης επένδυσης, εξαρτάται από την κατηγορία μέτρων προσωρινής υποστήριξης που έχει εφαρμοστεί (Πίνακας 4.2).

<i>Κατηγορία</i>	<i>Θόλος (m)</i>	<i>Παρείες (m)</i>
A	0,35	0,35
B	0,40	0,40
C	0,40	0,40
D1	0,45	0,45
D2	0,45	0,45
E1	0,45	0,60
E2	0,50	0,60
E2I	0,50	0,60
E3	0,50	0,60

Πίνακας 4.2 (Πάχη Μόνιμης Επένδυσης)

Ο μεταλλότυπος συγκρατεί το νεαρό σκυρόδεμα για διάστημα 8h και ακολουθεί η επόμενη σκυροδέτηση. Για την αποφυγή κενών στην σκυροδέτηση της κλείδας, εισπίζεται τσιμεντένεμα σε επόμενο στάδιο.



Εικόνα 4.9 (Σκυροδέτηση Σήραγγας)

5. ΓΕΩΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Κατά την διάρκεια κατασκευής της σήραγγας, είναι απαραίτητη η γεωμηχανική ενόργανη παρακολούθηση της, με σκοπό την παρακολούθηση της συμπεριφοράς της βραχώμαζας γύρω από την εκσκαφή και την συγκέντρωση των απαιτητών στοιχείων και μετρήσεων, με σκοπό την ορθή επιλογή των κατάλληλων μεθόδων εκσκαφής και υποστήριξης.

Σύμφωνα με την μελέτη⁸, κατά την διαδικασία διάνοιξης της σήραγγας, θα πρέπει να εκτελεστούν όλες οι εργασίες για τη γεωμηχανική παρακολούθηση του περιβάλλοντος του έργου, των κατασκευών της ζώνης επιρροής, των προσωρινών και μόνιμων κατασκευών, καθώς και η γεωλογική παρακολούθηση όλων των εκσκαφών.

Στη διάρκεια της υπόγειας εκσκαφής όλων των σηράγγων, αλλά και αργότερα κατά την κατασκευή των τεχνικών στις περιοχές εισόδου και εξόδου και την τελική διαμόρφωση των περιοχών αυτών, λειτουργεί ένα εκτεταμένο πρόγραμμα παρακολούθησης σε συνδυασμό με back-analysis, από την κατασκευάστρια κοινοπραξία, όπου όλες οι μετρήσεις συγκεντρώνονται, ταξινομούνται και αξιολογούνται, ώστε να γίνεται η σωστή επιλογή των μέτρων προσωρινής υποστήριξης.

5.1. Πρόγραμμα γεωμηχανικής παρακολούθησης (ΓΠ)

Σύμφωνα με την μελέτη¹ του έργου, για την γεωμηχανική παρακολούθηση του έργου, περιλαμβάνει τις ακόλουθες ενέργειες:

- Την οργάνωση υπηρεσίας ΓΠ
- Τη σύνταξη και υποβολή Μεθοδολογίας ΓΠ για κάθε τμήμα του έργου, στην οποία θα καθορίζονται όρια επιφυλακής και συναγερμού όχι μεγαλύτερα από τα συμβατικά οριζόμενα
- Τη σύνταξη και υποβολή για έγκριση πιστοποιητικών των οργάνων

⁸ ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΑΣ – ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

- Τη διενέργεια των μετρήσεων αναφοράς των οργάνων
- Τη διενέργεια μετρήσεων σε συχνότητα και διάρκεια όπως ορίζεται στη μεθοδολογία της ΓΠ με ελάχιστες απαιτήσεις όπως αυτές αναφέρονται στην Εγκεκριμένη Οριστική Μελέτη και τις Τεχνικές Προδιαγραφές, καθώς και την επεξεργασία και αξιολόγηση αυτών
- Την παρουσίαση, διαβίβαση και υποβολή των αποτελεσμάτων των μετρήσεων σε μορφή διαγραμμάτων, πινάκων, χαρτών και εκθέσεων προς τα εμπλεκόμενα μέρη (ΕΡΓΑ ΟΣΕ Α.Ε. κλπ)
- Την εγκατάσταση λειτουργία και ενημέρωση Βάσης Δεδομένων Γεωμηχανικής Παρακολούθησης (ΒΔΓΠ) όλων των στοιχείων, στην οποία θα εκτελούνται επεξεργασίες πρωτογενών μετρήσεων, έλεγχοι, παραγωγή εκθέσεων και ηλεκτρονικών αρχείων. Η ΒΔΓΠ θα διαθέτει σύστημα ασφάλειας πρόσβασης, επίπεδα διαχείρισης χρηστών και σε αυτήν εκτός των μετρήσεων θα καταχωρούνται στοιχεία γεωμετρικά και γεωλογικά του Έργου, στοιχεία προόδου και παραμέτρων κατασκευής για κάθε είδος εκσκαφής
- Την τήρηση Ακολουθίας Διαδικασιών για τις μετρήσεις ΓΠ, την παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε οριζοντιογραφίες, διαγράμματα, καμπύλες, χαρακτηριστικές διατομές, πίνακες κλπ
- Τη διενέργεια αξιολόγησης των μετρήσεων καθώς και τη συναξιολόγηση αυτών με γεωλογικά και κατασκευαστικά στοιχεία του Έργου
- Τη διενέργεια εβδομαδιαίων συσκέψεων ενημέρωσης και προγραμματισμού με τους αντίστοιχους υπεύθυνους του Κυρίου του Έργου
- Την εκπαίδευση προσωπικού του Κυρίου του Έργου και οποιωνδήποτε αυτός υποδείξει για τη συνέχιση των μετρήσεων
- Την υποβολή και έγκριση προδιαγραφών για κάθε είδος οργάνου και μέθοδο μέτρησης με τις αντίστοιχες ακρίβειες και απαιτήσεις μεθόδων μέτρησης

5.2. Ενόργανη γεωμηχανική παρακολούθηση

Τα όργανα τα οποία πρόκειται να εγκατασταθούν για την γεωτεχνική παρακολούθηση του έργου, έχουν ως στόχο την εκτέλεση μετρήσεων. Οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται, είναι:

- Τοπογραφικές μετρήσεις ολικών μετακινήσεων (3D)
- Συστήματα μέτρησης ρωγμών
- Μετρήσεις μετακινήσεων σε βάθος με εκτασιόμετρα
- Μετρήσεις μετακινήσεων σε βάθος με κλισιόμετρα
- Μετρήσεις στάθμης υπογείων υδάτων με πιεζόμετρα ανοικτού τύπου και μετρήσεις πιέσεων υπογείων υδάτων με πιεζόμετρα παλλόμενης χορδής
- Κυψέλες μέτρησης φορτίου αγκυρίων και δείκτες φορτίου αγκυρίων
- Κυψέλες πίεσης προσωρινής επένδυσης – εδάφους και προσωρινής – μόνιμης επένδυσης
- Συστήματα μέτρησης εισροής υπογείων υδάτων με χρήση δεξαμενών σχισμής (V-notch)
- Παραμορφωσίμετρα (straingauges)
- Δοκιμές αγκυρίων
- Δοκιμές φόρτισης πλάκας
- Δοκιμές πλακοειδούς γρύλου
- Μετρήσεις πιέσεων διόγκωσης
- Τακτική δειγματοληψία για εργαστηριακές δοκιμές
- Χημικές αναλύσεις υδάτων
- Οποιοδήποτε άλλο όργανο απαιτείται από την Οριστική Μελέτη για επιβεβαίωση των παραδοχών
- Ποιοτικός έλεγχος υλικών

5.3. Θέσεις λήψης μετρήσεων

Σύμφωνα με την μελέτη του έργου, οι θέσεις στις οποίες πραγματοποιούνται μετρήσεις κατά την γεωμηχανική παρακολούθηση του έργου, είναι οι ακόλουθες:

- Επιφάνεια του εδάφους, περιβάλλον εδάφους των κατασκευών, κτήρια, κατασκευές της ζώνης επιρροής του Έργου
- Σύστημα άμεσης υποστήριξης σηράγγων υπόγειας διάνοιξης με συμβατικά μηχανικά μέσα
- Τελική επένδυση σηράγγων υπόγειας διάνοιξης με συμβατικά μηχανικά μέσα
- Πρανή ανοικτών ορυγμάτων (προσωρινά και μόνιμα)

- Σε επιφάνειες κατά την εκτέλεση επιχώσεων καθώς και στην τελική επιφάνεια επιχωμάτων

5.4. Επιτρεπόμενες συγκλίσεις κατά την διάνοιξη της σήραγγας

Σύμφωνα με την μελέτη⁹, για την κατηγορία προσωρινής υποστήριξης E2I, υπάρχουν κάποιες επιτρεπόμενες τιμές μετακινήσεων (Πίνακας 5.1), που πρέπει να μετρηθούν κατά την γεωμηχανική παρακολούθηση, στον δακτύλιο της προσωρινής επένδυσης της σιδηροδρομικής σήραγγας, αλλά και το δακτύλιο της μόνιμης επένδυσης της υπερκείμενης οδικής σήραγγας. Επίσης ορίζεται ως όριο συναγερού το 75% των μέγιστων μετακινήσεων που υπολογίστηκαν στην μελέτη. Για τις οδικές σήραγγες, ορίζεται πως ο πυθμένας τους δεν θα πρέπει να έχει μετακίνηση μεγαλύτερη των 20mm. Συγκεκριμένα:

Οριακές παραμορφώσεις στον δακτύλιο της προσωρινής επένδυσης	Υπολογισμένες οριακές παραμορφώσεις S _{max}		Παραμορφώσεις επιπέδου προειδοποίησης 75% S _{max}		Ρυθμός παραμορφώσεων επιπέδου προειδοποίησης ανά ημέρα (mm)
	στέψη (κατακόρυφα) (mm)	Βάση άνω ημιδιατομής (κατακόρυφα/οριζόντια) (mm)	στέψη (κατακόρυφα) (mm)	Βάση άνω ημιδιατομής (κατακόρυφα/οριζόντια) (mm)	
Φάση άνω ημιδιατομής, εφαρμογή ανάστροφου τόξου το αργότερο 7 βήματα πίσω από το μέτωπο	21	9/9	-	-	20
Φάση άνω ημιδιατομής, μετά την εφαρμογή του προσωρ. ανάστροφου τόξου	35	15/15	26	11/11	20
Φάση βαθμίδας/ ανάστροφου τόξου	50	35/62	38	26/41	15

Πίνακας 5.1 (Επιτρεπόμενες Μετακινήσεις)

⁹ ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΑΣ – ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΟΔΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

6. ΔΙΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΚΣΑΦΗΣ ΜΕ ΚΩΔΙΚΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

6.1. Κώδικας πεπερασμένων στοιχείων

Ο κώδικας πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκε για τις διδιάστατες αναλύσεις, είναι το Phase 2.9 της www.rocscience.com. Αποτελεί ένα ισχυρό λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων για 2D ανάλυση τάσεων σε υπόγειες ή επιφανειακές εκσκαφές σε βράχο ή έδαφος. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα έργων και περιλαμβάνει την δυνατότητα σχεδιασμού της υποστήριξης, ανάλυση μέσω πεπερασμένων στοιχείων της ευστάθειας πρηνών και διαρροή υπόγειων υδάτων.

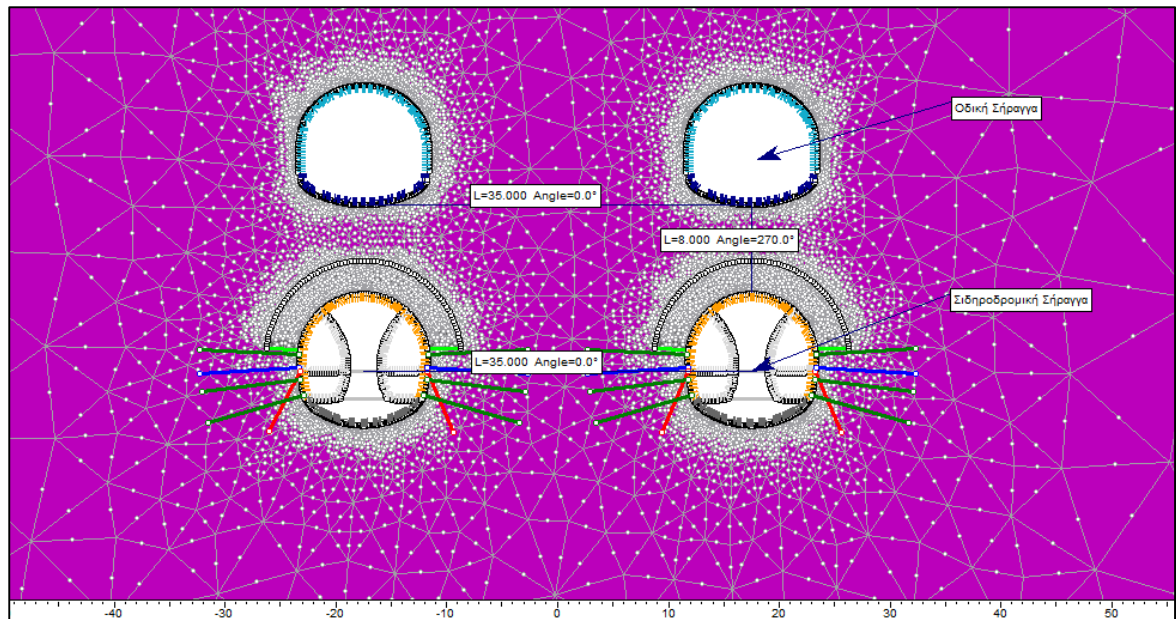
Για τον σχεδιασμό της καμπύλης σύγκλισης-αποτόνωσης, χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας RocSupport 4.0 της www.rocscience.com. Αποτελεί ένα λογισμικό, με το οποίο αποδίδεται η θεωρητική καμπύλη σύγκλισης-αποτόνωσης γύρω από κυκλική εκσκαφή. Επίσης, προσομοιώνονται και τα μέτρα υποστήριξης της εκσκαφής, όπου αποδίδεται και το σημείο ισορροπίας των μέτρων υποστήριξης πάνω στην καμπύλη σύγκλισης-αποτόνωσης.

6.2. Παράμετροι σχεδιασμού

Στις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν, χρησιμοποιήθηκαν ορισμένες βασικές παράμετροι για την υλοποίησή τους.

6.2.1. Γεωμετρία Εκσκαφής

Προσομοιώνεται η σιδηροδρομική σήραγγα με τους δύο κλάδους της, με αξονική απόσταση 35m και 8m πάνω από την στέψη της, προσομοιώνονται οι οδικές σήραγγες, με αξονική απόσταση 35m. Κάθε κλάδος της σιδηροδρομικής σήραγγας διανοίγεται σε επτά (7) φάσεις εκσκαφής (Εικόνα 6.1).



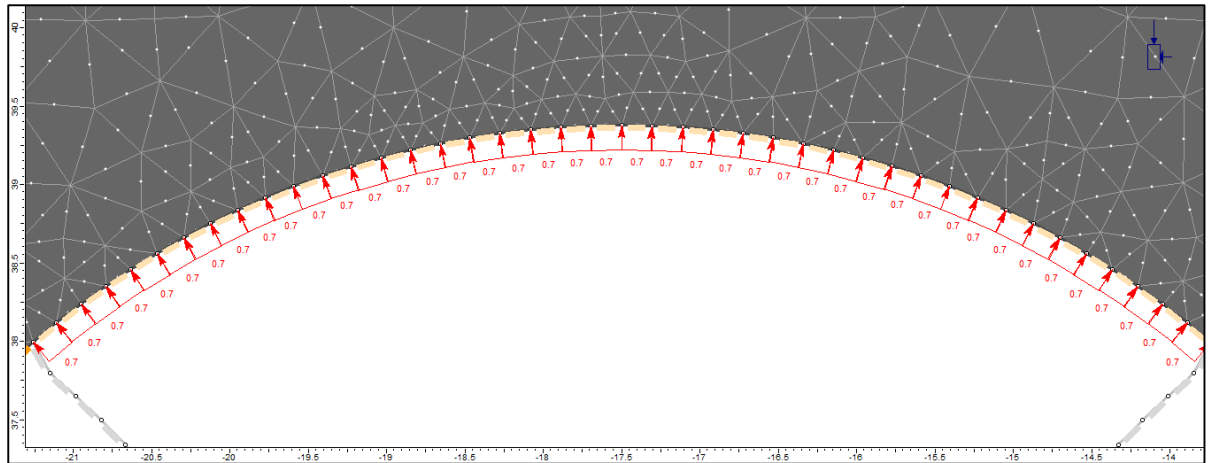
Εικόνα 6.1 (Γεωμετρία Προσομοίωσης)

Στις προσομοιώσεις που κάνουμε, ορίζουμε το εξωτερικό όριο της εκσκαφής μας, να είναι ίσο με 3 διαμέτρους της σήραγγας, απόσταση ίση με την μέγιστη ζώνη επιρροής ($6 \times D$), σύμφωνα με τον Kirsch και περιμετρικά αυτού τοποθετούμε κυλίσσεις.

6.2.2. Αποτόνωση Βραχόμαζας

Για την προσομοίωση της επίδρασης της τρίτης διάστασης, δηλαδή της αποτόνωσης της βραχόμαζας μπροστά από το μέτωπο εκσκαφής, χρησιμοποιούμε την αποτόνωση της βραχόμαζας. Ο συντελεστής αποτόνωσης λήφθηκε $\lambda=0,3$, σύμφωνα με την μελέτη¹⁰. Για την προσομοίωση της αποτόνωσης τοποθετούμε εσωτερικά της εκσκαφής τάση p_i , όπου $\frac{p_i}{p_o} = (1 - \lambda)$ (Εικόνα 6.2).

¹⁰ Οριστική Μελέτη Σήραγγας Παναγοπούλας- Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης



Εικόνα 6.2 (Προσομοίωση Ιδεατής Πίεσης p_i)

6.2.3. Στάδια Ανάλυσης

Η προσομοίωση περιλαμβάνει συνολικά τριάντα δύο (32) στάδια ανάλυσης (Πίνακας 6.1). Αρχικά προσομοιώνεται το γεωστατικό πεδίο, σε επόμενο στάδιο διανοίγονται και ταυτόχρονα γίνεται η υποστήριξη των οδικών σηράγγων. Σε επόμενα στάδια ξεκινάει η διάνοιξη των σιδηροδρομικών σηράγγων, με το στάδιο της κατασκευής των δοκών προπορείας (forepoling) να προηγείται έναντι της διάνοιξης των σηράγγων. Αρχικά γίνεται διάνοιξη του αριστερού κλάδου της σιδηροδρομικής σήραγγας και έπεται η διάνοιξη του δεξιού κλάδου. Πριν την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης σε κάθε φάση διάνοιξης των σιδηροδρομικών σηράγγων προηγείται ένα στάδιο αποτόνωσης της βραχώμαζας.

Στάδιο	Περιγραφή
1°	Γεωστατικό πεδίο
2°	Διάνοιξη και υποστήριξη οδικών σηράγγων
3°	Forepoling αριστερού κλάδου
4°	Εκσκαφή και αποτόνωση (I) φάσης αριστερού κλάδου
5°	Τοποθέτηση προσωρινής υποστήριξης (I) φάσης αριστερού κλάδου
6°	Εκσκαφή και αποτόνωση (II) φάσης αριστερού κλάδου
7°	Τοποθέτηση προσωρινής υποστήριξης (II) φάσης αριστερού κλάδου
8°	Εκσκαφή και αποτόνωση (III) φάσης αριστερού κλάδου
9°	Τοποθέτηση προσωρινής υποστήριξης (III) φάσης αριστερού κλάδου
10°	Εκσκαφή και αποτόνωση (IV) φάσης αριστερού κλάδου
11°	Τοποθέτηση προσωρινής υποστήριξης (IV) φάσης αριστερού κλάδου
12°	Εκσκαφή και αποτόνωση (V) φάσης αριστερού κλάδου
13°	Τοποθέτηση προσωρινής υποστήριξης (V) φάσης αριστερού κλάδου
14°	Εκσκαφή και αποτόνωση (VI) φάσης αριστερού κλάδου
15°	Τοποθέτηση προσωρινής υποστήριξης (VI) φάσης αριστερού κλάδου
16°	Εκσκαφή και αποτόνωση (VII) φάσης αριστερού κλάδου
17°	Τοποθέτηση προσωρινής υποστήριξης (VII) φάσης αριστερού κλάδου
18°	Forepoling δεξιού κλάδου
19°	Εκσκαφή και αποτόνωση (I) φάσης δεξιού κλάδου

20°	Τοποθέτηση προσωρινής υποστήριξης (I) φάσης δεξιού κλάδου
21°	Εκσκαφή και αποτόνωση (II) φάσης δεξιού κλάδου
22°	Τοποθέτηση προσωρινής υποστήριξης (II) φάσης δεξιού κλάδου
23°	Εκσκαφή και αποτόνωση (III) φάσης δεξιού κλάδου
24°	Τοποθέτηση προσωρινής υποστήριξης (III) φάσης δεξιού κλάδου
25°	Εκσκαφή και αποτόνωση (IV) φάσης δεξιού κλάδου
26°	Τοποθέτηση προσωρινής υποστήριξης (IV) φάσης δεξιού κλάδου
27°	Εκσκαφή και αποτόνωση (V) φάσης δεξιού κλάδου
28°	Τοποθέτηση προσωρινής υποστήριξης (V) φάσης δεξιού κλάδου
29°	Εκσκαφή και αποτόνωση (VI) φάσης δεξιού κλάδου
30°	Τοποθέτηση προσωρινής υποστήριξης (VI) φάσης δεξιού κλάδου
31°	Εκσκαφή και αποτόνωση (VII) φάσης δεξιού κλάδου
32°	Τοποθέτηση προσωρινής υποστήριξης (VII) φάσης δεξιού κλάδου

Πίνακας 6.1 (Στάδια Προσομοίωσης)

6.2.4. Προσομοίωση Βραχόμαζας

Η αντοχή της βραχόμαζας προσομοιώθηκε με το κριτήριο αστοχίας Mohr- Coulomb. Οι παράμετροι του κριτηρίου, λαμβάνονται από τη μελέτη¹¹, σε συνδυασμό με τις τιμές

¹¹ Οριστική Γεωλογική Μελέτη Σήραγγας Παναγοπούλας

των μηχανικών παραμέτρων της βραχώμαζας που προέκυψαν από τις εργαστηριακές δοκιμές, από δείγματα γεωτρήσεων στο βάθος της σήραγγας.

Στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, θεωρούμε πως η βραχώμαζα συμπεριφέρεται πλαστικά και οι παράμετροι της βραχώμαζας που χρησιμοποιήθηκαν στο κριτήριο Mohr- Coulomb, είναι:

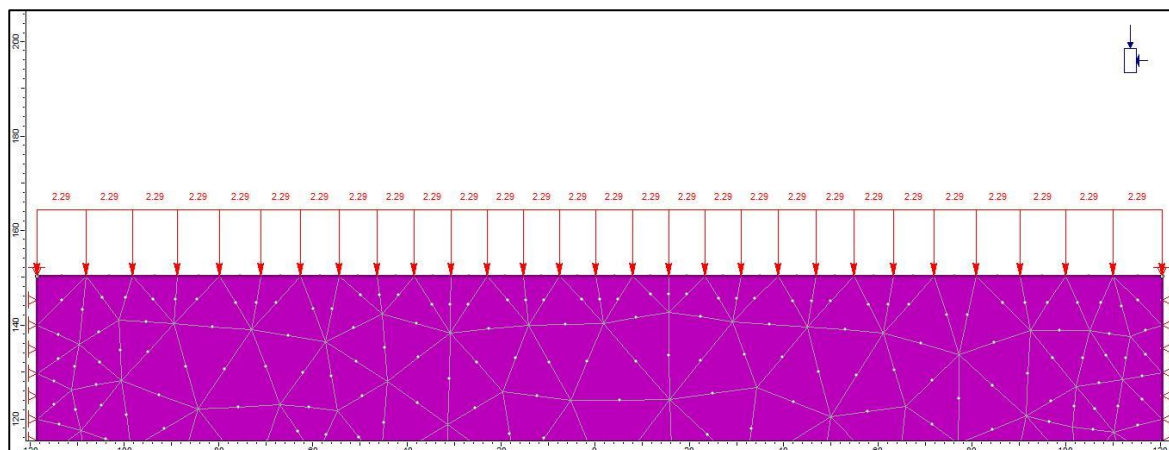
- Εφελκυστική αντοχή (MPa)
- Αντοχή σε εφελκυσμό- Brazilian test (MPa)
- Γωνία τριβής (°)
- Συνοχή (MPa)
- Λόγος Poisson
- Ειδικό βάρος βραχώμαζας (MN/m³)
- Γωνία διαστολής

Επειδή σε όλες τις κατηγορίες εκσκαφής, γίνεται αποστράγγιση, μέσω της χρήσης αποστραγγιστικών οπών, θεωρούμε πως οι συνθήκες της βραχώμαζας είναι ξηρές και για τον λόγο αυτό δεν συνυπολογίζουμε την επίδραση του υδροφόρου ορίζοντα.

6.2.5. Γεωστατικό Πεδίο

Επειδή ορίσαμε τα εξωτερικά όρια της ανάλυσης, περιμετρικά της εκσκαφής, ίσα με έξι (6) διαμέτρους, τοποθετούμε πάνω από το ανώτατο όριο φορτίο (P_o) ίσο με το γεωστατικό πεδίο σε εκείνο το υψόμετρο (Εικόνα 6.3). Συγκεκριμένα θεωρούμε πως η σιδηροδρομική σήραγγα διανοίγεται σε απόλυτο υψόμετρο +32m, ενώ η επιφάνεια του φυσικού εδάφους βρίσκεται σε υψόμετρο 247,5m. Το ειδικό βάρος των υπερκειμένων λαμβάνεται ίσο με $\gamma=23,5\text{kN/m}^3$. Το ανώτατο όριο βρίσκεται σε υψόμετρο +150m.

$$H= 247,5\text{m}- 150\text{m} = 97,5\text{m}. P_o = H \times \gamma = 97,5\text{m} \times 0,0235\text{MN/m}^3 = 2,29\text{MPa}$$



Εικόνα 6.3 (Προσθήκη Γεωστατικού Φορτίου)

6.3. Παράμετροι προσωρινών μέτρων υποστήριξης

Τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης, που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις, είναι: αγκύρια, τοξωτά μεταλλικά πλαίσια, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, δοκοί προπορείας-forepoling και μικροπάσσαλοι.

Για κάθε ένα από τα παραπάνω μέτρα προσωρινής υποστήριξης που χρησιμοποιήθηκαν, οι αναλυτικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν παρατίθενται παρακάτω.

- Αγκύρια

Τα αγκύρια προσομοιώνονται ως γραμμικά στοιχεία στο πρόγραμμα Phase 2.9, μέσω της επιλογής support-bolts. Στις αναλύσεις, οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση των αγκυρίων, είναι το είδος τους, το μέτρο ελαστικότητας $E=200\text{GPa}$, η φέρουσα ικανότητα των αγκυρίων που εξαρτάται από τον τύπο του αγκυρίου και το μήκος τους. Στις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε η κατηγορία μέτρων προσωρινής υποστήριξης E2i, όπου σύμφωνα με την μελέτη¹² περιλαμβάνει αγκύρια πλήρους πάκτωσης (fully bonded), διαμέτρου $\Phi 52$, μήκους $L=9,00\text{m}$ και φέρουσας ικανότητας 929kN .

¹² Οριστική Μελέτη Σήραγγας Παναγοπούλας- Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

Η προσομοίωση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στις αναλύσεις, έγινε μέσω της επιλογής liner, όπου οι παράμετροι που χρησιμοποιηθήκαν είναι το πάχος του, η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη, μειωμένη με συντελεστή ασφαλείας σκυροδέματος $\gamma_c=1,5$ και το μέτρο ελαστικότητας που σύμφωνα με την μελέτη³, είναι $E=15.000 \text{ MN/m}^2$. Στις περιπτώσεις, όπου τοποθετείται δομικό πλέγμα μαζί με το σκυρόδεμα, ορίζεται αντοχή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε εφελκυσμό, $\sigma_t= 5\text{MPa}$. Για την προσομοίωση το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, θεωρήθηκε ότι συμπεριφέρεται πλαστικά.

Στις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε η κατηγορία μέτρων προσωρινής υποστήριξης E2i, όπου περιλαμβάνει εκτοξευόμενο σκυρόδεμα C30/37 με δομικό πλέγμα, το πάχος του οποίου περιμετρικά της εκσκαφής είναι 45cm, ενώ στα προσωρινά ανάστροφα τόξα 25cm.

- Οπλισμένο σκυρόδεμα

Το οπλισμένο σκυρόδεμα, χρησιμοποιήθηκε ως μέτρο μόνιμης υποστήριξης των οδικών σηράγγων. Η προσομοίωση του οπλισμού του σκυροδέματος, έγινε μέσω της επιλογής beam, όπου οι παράμετροι που χρησιμοποιηθήκαν είναι το εμβαδό του οπλισμού και το μέτρο ελαστικότητας του. Στις αναλύσεις τοποθετήθηκε μονή σχάρα οπλισμού $\Phi 25/100$, σύμφωνα με την μελέτη¹³. Ο οπλισμός προσομοιώθηκε με την μορφή truss type, όπου το εμβαδό του είναι $A= 982\text{mm}^2$, ενώ το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα θεωρήθηκε $E=200\text{GPa}$. Στην συνέχεια το σκυρόδεμα που τοποθετείται σύμφωνα με την μελέτη³, είναι τύπου C30/37.στις προσομοιώσεις το σκυρόδεμα προσομοιώνεται μέσω της επιλογής liner, όπου οι παράμετροι που χρησιμοποιηθήκαν είναι το πάχος του, η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη, μειωμένη με συντελεστή ασφαλείας σκυροδέματος $\gamma_c=1,5$ και το μέτρο ελαστικότητας, όπου είναι $E=30.000 \text{ MN/m}^2$. Στις προσομοιώσεις το σκυρόδεμα, θεωρήθηκε ότι συμπεριφέρεται ελαστικά.

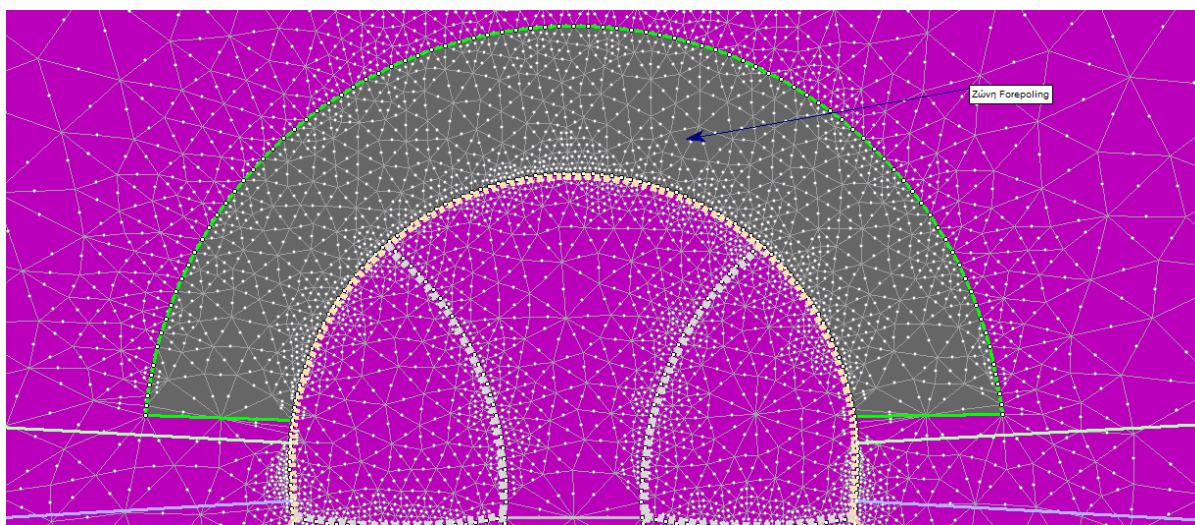
¹³ Tunnel 26 Final Design Excavation and Support

- Τοξωτά μεταλλικά πλαίσια

Τα τοξωτά μεταλλικά πλαίσια, προσομοιώνονται στις αναλύσεις μέσω τις επιλογής linear και οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν, είναι η απόσταση εφαρμογής κάθε πλαισίου και το είδος του. Για την προσομοίωση τα τοξωτά μεταλλικά πλαίσια, θεωρήθηκαν ότι συμπεριφέρονται ελαστικά. Στις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε η κατηγορία μέτρων προσωρινής υποστήριξης E2i, όπου περιλαμβάνει τοξωτά μεταλλικά πλαίσια HEB 140 ανά 0,5m, ενώ στις οδικές σήραγγές σύμφωνα με την μελέτη³, τοποθετείται οπλισμός Φ25/100.

- Δοκοί προπορείας- forepoling

Επειδή πραγματοποιείται 2d ανάλυση, οι δοκοί προπορείας, προσομοιώθηκαν ως μία ενισχυμένη ζώνη βραχόμαζας πάνω από την εκσκαφή (Εικόνα 6.4). Συγκεκριμένα γίνεται αύξηση του μέτρου ελαστικότητας $E=1000\text{MPa}$, ενώ η βραχόμαζα συμπεριφέρεται ελαστικά.

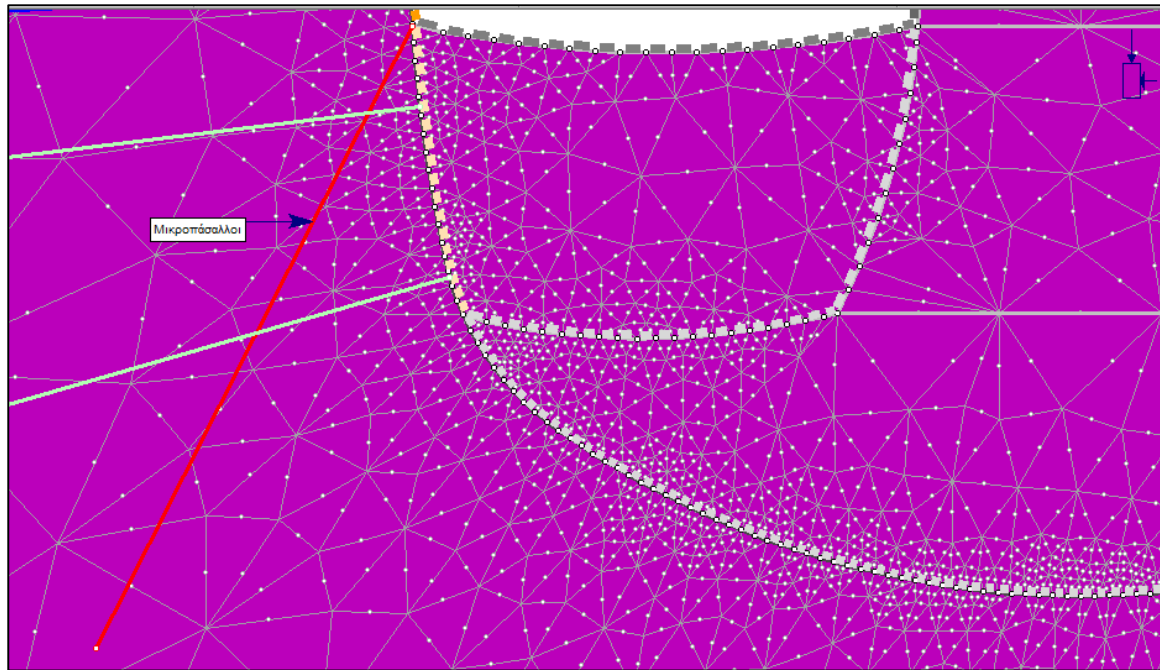


Εικόνα 6.4 (Ζώνη Forepoling)

- Μικροπάσαλλοι

Οι μικροπάσαλλοι, προσομοιώθηκαν ως αγκύρια πλήρους πάκτωσης (Εικόνα 6.5).

Στις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε η κατηγορία μέτρων προσωρινής υποστήριξης E2i, όπου σύμφωνα με την μελέτη³ περιλαμβάνει ζεύγος μικροπασάλλων αγκύρια πλήρους πάκτωσης (fully bonded), διαμέτρου Φ52, μήκους $L=6,00\text{m}$ και φέρουσας ικανότητας 929kN.



Εικόνα 6.5 (Προσομοίωση Μικροπασσάλου)

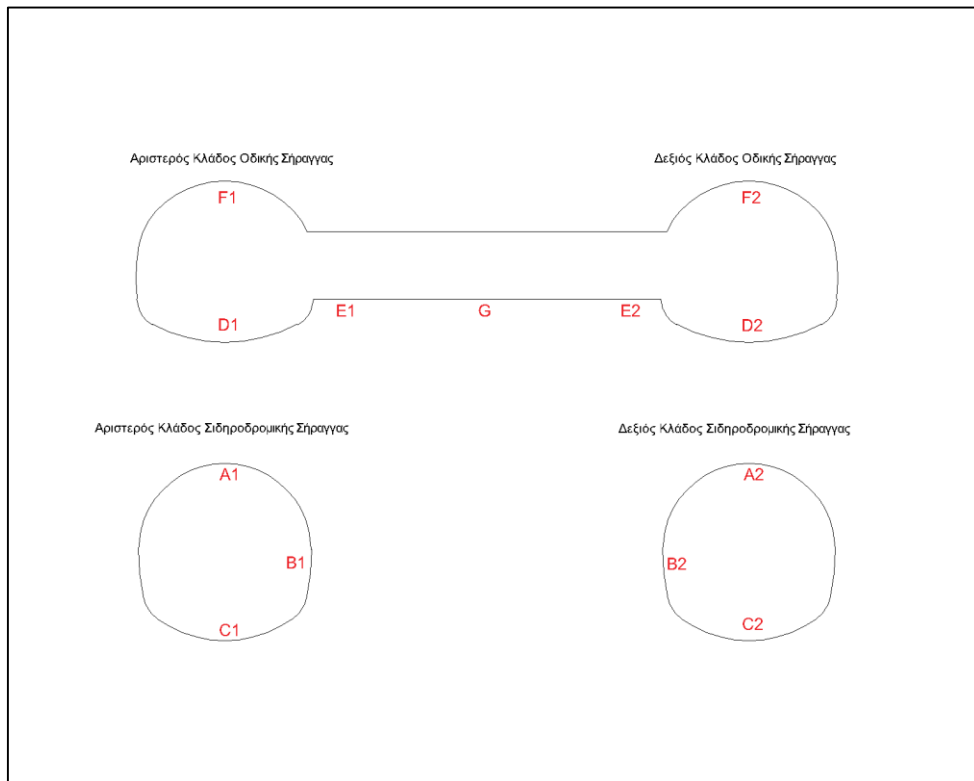
6.4. Λήψη μετρήσεων

Σε κάθε ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, μετρήθηκαν και στους δύο κλάδους, οι κατακόρυφες μετακινήσεις (vertical displacements) και οριζόντιες μετακινήσεις (horizontal displacements).

Συγκεκριμένα στην οριζόντια διέλευση των σιδηροδρομικών σιρράγγων, οι μετρήσεις λήφθηκαν στις αντίστοιχες θέσεις στις οδικές και σιδηροδρομικές σιρράγγες (Σχήμα 6.1). Κατά την εξέταση της περίπτωσης διέλευσης των σιδηροδρομικών σιρράγγων, από την περιοχή του συνδετήριου διαδρόμου των οδικών σιρράγγων, οι μετρήσεις λήφθηκαν στις αντίστοιχες θέσεις στις οδικές και σιδηροδρομικές σιρράγγες (Σχήμα 6.2).



Σχήμα 6.1 (Θέσεις Λήψης Μετρήσεων)



Σχήμα 6.2 (Θέσεις Λήψης Μετρήσεων- Συνδεδημένος Διαδρόμος)

6.5. Διδιάστατη Προσομοίωση 1 (Οριζόντια Διέλευση)

Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε στην Χ.Θ. 104+000, όπου οι σιδηροδρομικές σήραγγες διέρχονται κάτω από τις οδικές σήραγγες T26, με διαφορά υψομέτρου 8m. Στην συγκριμένη θέση, το απόλυτο υψόμετρο της ερυθράς των σιδηροδρομικών σηράγγων είναι +32,38m, ενώ το απόλυτο υψόμετρο του εδάφους είναι +247,52m (υπερκείμενο 215,14m). Οριζοντιογραφικά ο άξονας των οδικών σηράγγων, σχηματίζει γωνία 21° με τον άξονα των σιδηροδρομικών σηράγγων. Επειδή η γωνία αυτή είναι σχετικά μικρή και πλησιάζει την παράλληλη ταύτιση των δύο αξόνων, για τις αναλύσεις θεωρούμε την δυσμενέστερη περίπτωση διέλευση, δηλαδή ότι οι σιδηροδρομικές σήραγγες διανοίγονται οριζόντια σε σχέση με τις οδικές σήραγγες.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης¹⁴, στην περιοχή αυτή συναντάτε ο γεωλογικός σχηματισμός των ραδιολαριτών-κερατολίθων. Επίσης στην περιοχή αυτή βρίσκεται η δειγματοληπτική γεώτρηση **ΣΔ3Γ2**, όπου λαμβάνοντας τα στοιχεία των εργαστηριακών δοκιμών της γεώτρησης αυτής σε αυτό το βάθος και τα δεδομένα της μελέτης αλλά και τα δεδομένα από την κατασκευάστρια κοινοπραξία, όπου στην θέση αυτή συναντήθηκαν κερατόλιθοι έντονα αποσθρωμένοι, καταλήγουμε πως οι μηχανικές παράμετροι για την προσομοίωση, είναι οι ακόλουθες:

σ_t	0,133 MPa
c	0,28 MPa
ϕ	34°
E	350 MPa
γ	0,0235 MN/m ³
ν	0,3
ko	0,5
Material type	Plastic

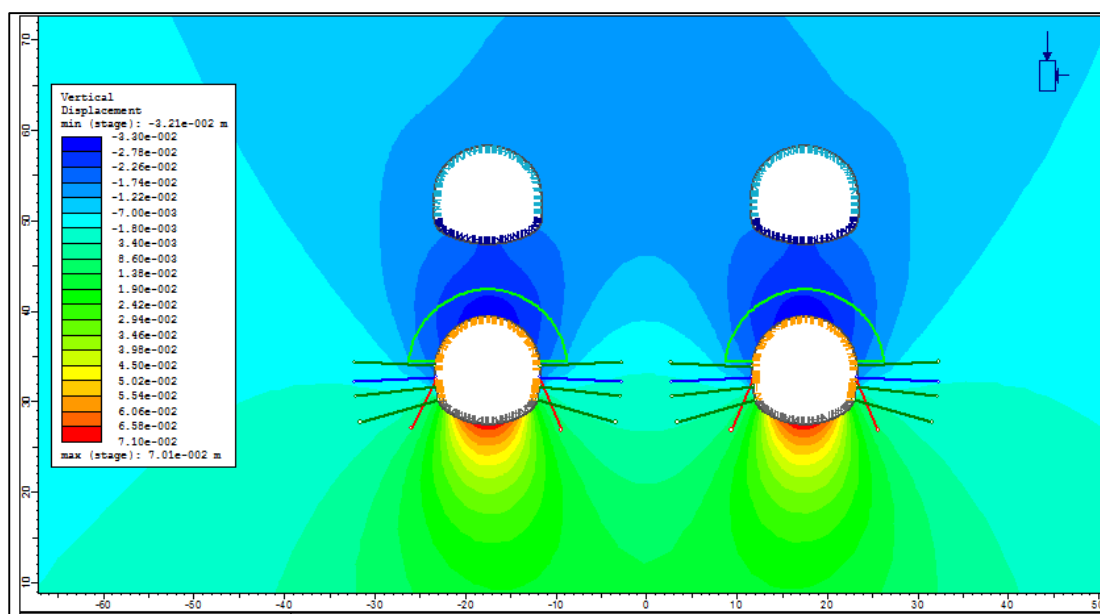
Πίνακας 6.5 (Γεωτεχνικά Χαρακτηριστικά Προσομοίωσης)

¹⁴ ΕΚΘΕΣΗ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΑΣ

Τα αναλυτικά αποτελέσματα- μετρήσεις, παρατίθενται στο Παράρτημα Β/ Πίνακες 6.6a,b.

6.5.1. Αποτελέσματα (Κατακόρυφες Μετακινήσεις)

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε και θεωρώντας ότι οι μετακινήσεις ξεκινάνε αμέσως μετά το στάδιο κατασκευής των οδικών σηράγγων, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα (Σχήμα 6.5.1):



Σχήμα 6.5.1 (Κατανομή Κατακόρυφων Μετακινήσεων)

Στο Σχήμα 6.5.1, παρατηρούμε ότι οι οδικές σηράγγες επηρεάζονται άμεσα από την διάνοιξη των υποκείμενων σιδηροδρομικών. Οι μετακινήσεις- καθιζήσεις στο δάπεδο των οδικών σηράγγων, είναι της τάξης των 2,5cm, ενώ της στέψης τους, της τάξης των 2cm. Αντίθετα στην στέψη των υπό κατασκευή σιδηροδρομικών σηράγγων, μετά την εκσκαφή και υποστήριξη και των δύο κλάδων, οι μετακινήσεις φτάνουν τα 33mm. Επίσης παρατηρείται ανύψωση του πυθμένα των σιδηροδρομικών σηράγγων, της τάξης των 70mm.

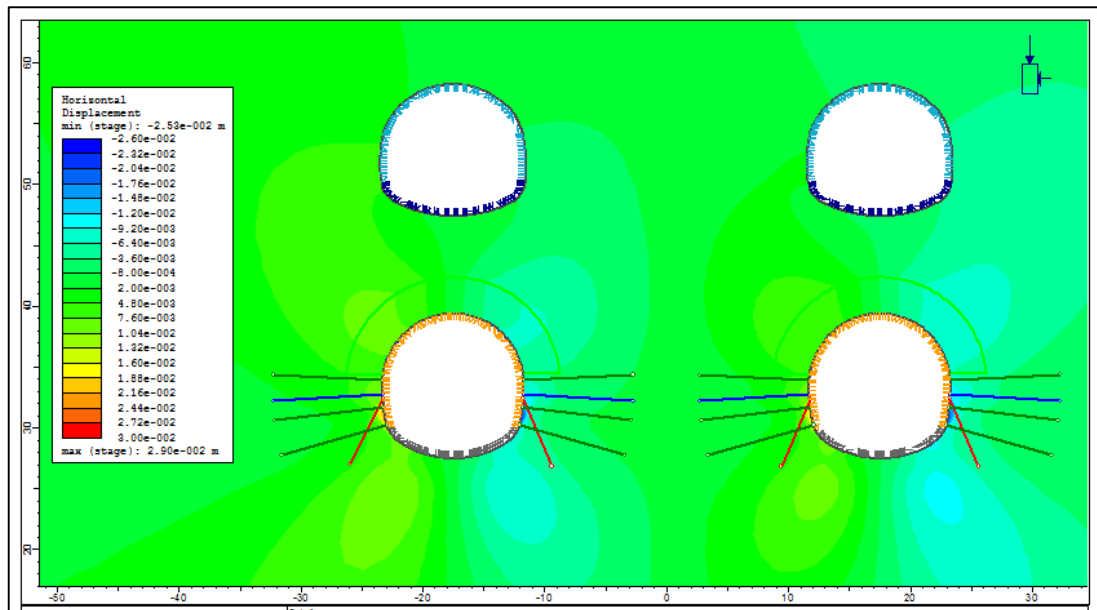
Αν και η διάνοιξη της σιδηροδρομικής σήραγγας, επιφέρει καθιζήσεις στις υπάρχουσες οδικές σήραγγες, οι καθιζήσεις αυτές είναι ανεκτές για οδούς, σύμφωνα με τις περιοριστικές τιμές της Αττικό Μετρό, για έργα Πολιτικού Μηχανικού (Πίνακας 6.5.1).

A/A	Μετακίνηση, παραμόρφωση, ρηγμάτωση κλπ.	Ευαίσθητο Κτίριο ή Κατασκευή	Άλλα Κτίρια	Οδοί, Πεζοδρόμια ή Δίκτυα Ο.Κ.Ω.
1	Συνολική καθίζηση (mm)	20	25	30
2	Γωνιακή παραμόρφωση	1:800	1:600	1:600
3	Ρυθμός συνολικής καθίζησης (mm/day)	3	3	4
4	Ρυθμός ανοίγματος ρωγμής (mm/day)	1	1	1
5	Οριζόντια παραμόρφωση (%)	0,15	0,25	0,30

Πίνακας 6.5.1 (Επιτρεπόμενες Τιμές Μετακινήσεων- Αττικό Μετρό)

6.5.2. Αποτελέσματα (Οριζόντιες Μετακινήσεις)

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε και θεωρώντας ότι οι μετακινήσεις ξεκινάνε αμέσως μετά το στάδιο κατασκευής των οδικών σιράγγων, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα (Σχήμα 6.5.2):



Σχήμα 6.5.2 (Κατανομή Οριζόντιων Μετακινήσεων)

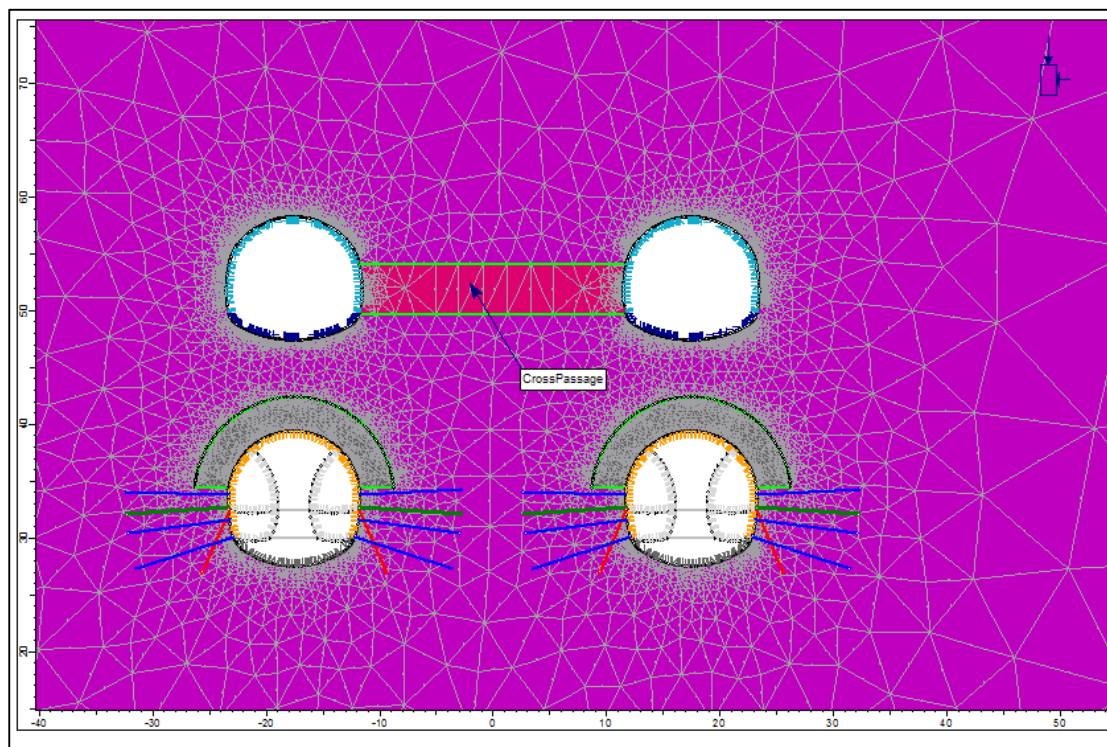
Στο Σχήμα 6.5.2, παρατηρούμε ότι από την διάνοιξη των σιδηροδρομικών σήραγγων θα προκληθούν οριζόντιες μετακινήσεις και στις οδικές σήραγγες. Οι μετακινήσεις αυτές είναι πολύ μικρές και είναι της τάξης των 2-5mm. Αντίθετα στις υπό διάνοιξη σιδηροδρομικές σήραγγες, οι μετακινήσεις στην στέψη ξεκινάνε από τα 2mm και φτάνουν τα 2cm, στις παρειές της σήραγγας.

6.6. Διδιάστατη Προσομοίωση 2 (Cross Passage)

Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε στην Χ.Θ. 104+000, όπου οι σιδηροδρομικές σήραγγες διέρχονται οριακά κάτω από τον συνδετήριο διάδρομο, περί την Χ.Θ. 103+650 των οδικών σήραγγων T26, με διαφορά υψομέτρου 8m. Στην συγκριμένη θέση, το απόλυτο υψόμετρο της ερυθράς των σιδηροδρομικών σήραγγων είναι +32,38m, ενώ το απόλυτο υψόμετρο του εδάφους είναι +247,52m (υπερκείμενο 215,14m). Ο διάδρομος έχει ύψος 4,5m και πλάτος 5,5m.

Ο συνδετήριος διάδρομος, λόγω της τριδιάστατης μορφής του στον χώρο, δεν μπορεί να προσομοιωθεί σε δύο διαστάσεις. Για τον λόγο αυτό προσομοιώθηκε ως μία ζώνη υλικού, μεταξύ των δύο κλαδών των οδικών σήραγγων, πάχους 4,5m και με υλικό με μειωμένο μέτρο ελαστικότητας $E=300\text{MPa}$ και με ίδια τα υπόλοιπα μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχώμαζας (Εικόνα 6.6).

Τα γεωτεχνικά στοιχεία της περιοχής που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση, είναι τα ίδια που χρησιμοποιήθηκαν και στη Διδιάστατη Προσομοίωση 1 (βλέπε Πίνακας 6.5).

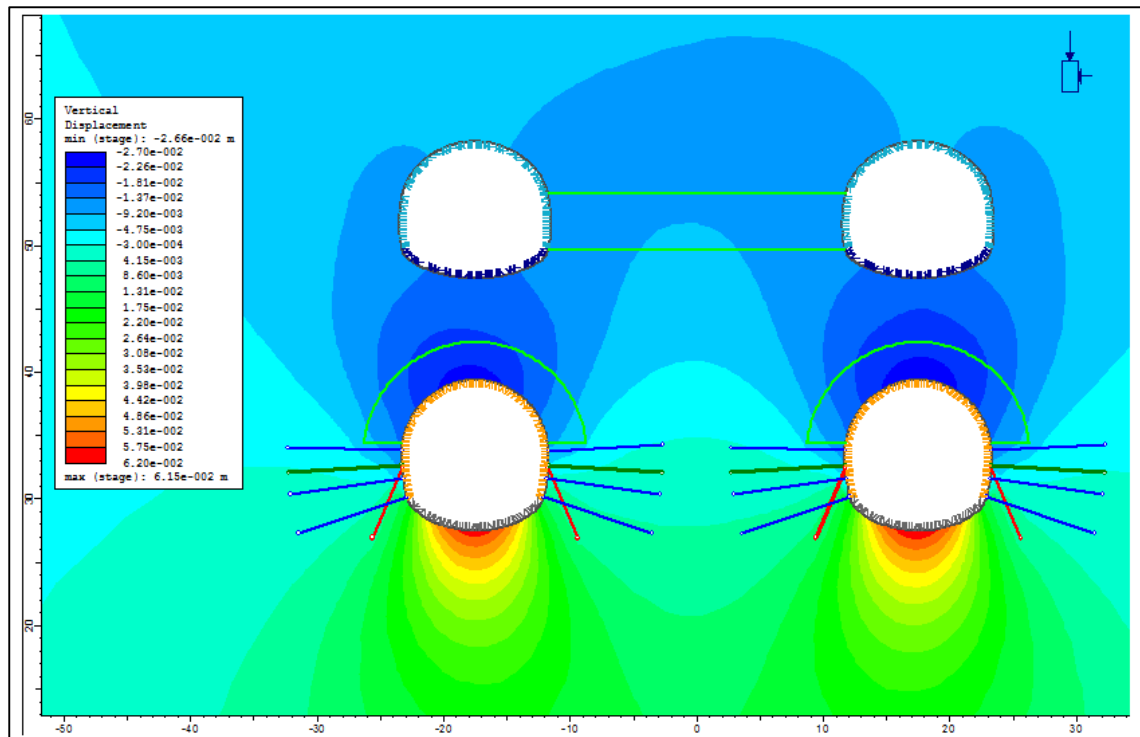


Εικόνα 6.6 (Προσομοίωση Συνδετήριου Διαδρόμου)

Τα αναλυτικά αποτελέσματα- μετρήσεις, παρατίθενται στο Παράρτημα Β/ Πίνακες 6.7a,b.

6.6.1. Αποτελέσματα (Κατακόρυφες Μετακινήσεις)

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε και θεωρώντας ότι οι μετακινήσεις ξεκινάνε αμέσως μετά το στάδιο κατασκευής των οδικών σηράγγων, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα (Σχήμα 6.6.1):



Σχήμα 6.6.1 (Κατανομή Κατακόρυφων Μετακινήσεων)

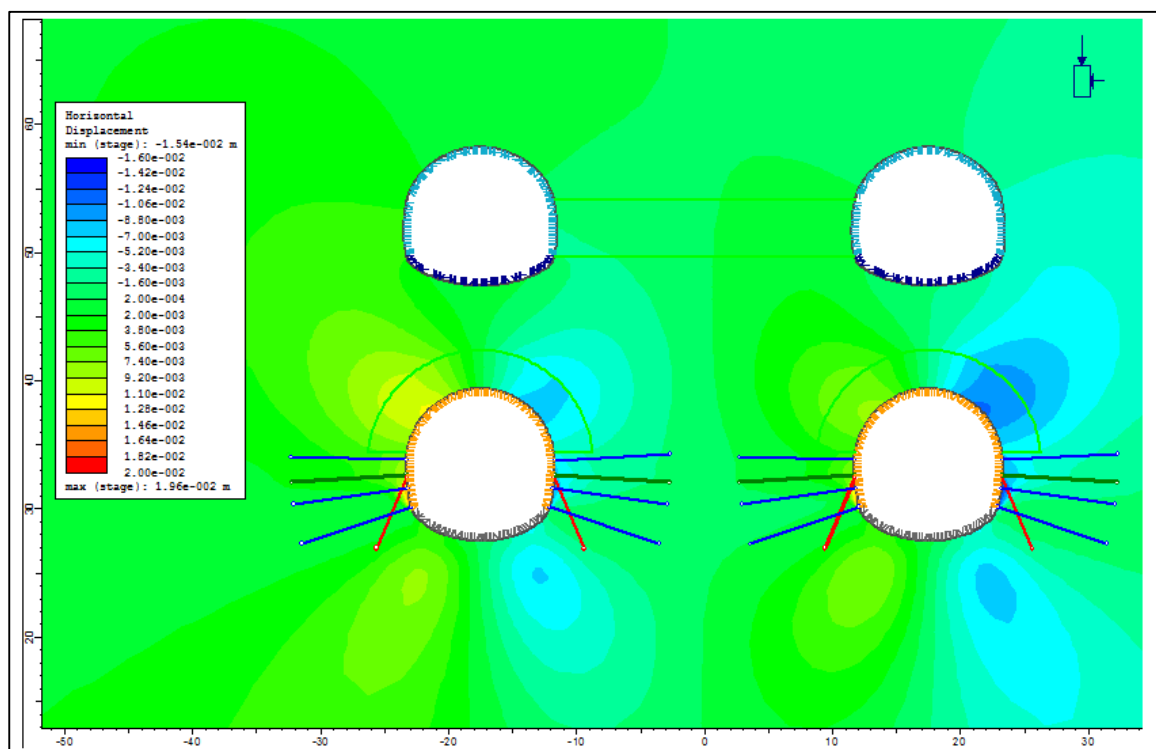
Στο Σχήμα 6.6.1, παρατηρούμε τόσο οι οδικές σιηραγγες, αλλά κυρίως ο συνδετήριος διάδρομος, επηρεάζονται άμεσα από την διάνοιξη των υποκείμενων σιδηροδρομικών. Οι μετακινήσεις- καθιζήσεις στο δάπεδο των οδικών σιηράγγων, κυμαίνονται μεταξύ 1-2cm. Αντίθετα στην περιοχή του συνδετήριου διαδρόμου οι μετακινήσεις- καθιζήσεις στον πυθμένα του, ξεκινούν στα άκρα από 2cm και φτάνουν στο κέντρο τα 8,5mm. Όσον αφορά την οροφή του συνδετήριου διαδρόμου αυτή συγκλίνει κατά 1cm, καθόλο το μήκος του διαδρόμου.

Στην στέψη των υπό κατασκευή σιδηροδρομικών σιηράγγων, μετά την εκσκαφή και υποστήριξη και των δύο κλάδων, οι μετακινήσεις φτάνουν τα 25mm και καθώς κινούμαστε προς τις παρειές μεταξύ των δύο κλάδων αυξάνονται οι μετακινήσεις και φτάνουν τα 45mm. Επίσης παρατηρείται ανύψωση του πυθμένα των σιδηροδρομικών σιηράγγων, της τάξης των 70mm.

Οι μετακινήσεις αυτές είναι αποδεκτές, σύμφωνα με τις περιοριστικές τιμές της Αττικό Μετρό (βλέπε Πίνακας 6.5.1), χωρίς να προκαλούν θέματα στην ασφάλεια του έργου.

6.6.2. Αποτελέσματα (Οριζόντιες Μετακινήσεις)

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε και θεωρώντας ότι οι μετακινήσεις ξεκινάνε αμέσως μετά το στάδιο κατασκευής των οδικών σιράγγων, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα (Σχήμα 6.5.2):



Σχήμα 6.5.2 (Κατανομή Οριζόντιων Μετακινήσεων)

Στο Σχήμα 6.6.2, παρατηρούμε ότι στις υπό κατασκευή σιδηροδρομικές σήραγγες, προκαλείται "άνοιγμα", των αριστερών τους παρειών κατά 10mm, σε αντίθεση με τις δεξιές παρειές, όπου προκαλείται σύγκλιση κατά 10mm.

Επίσης εμφανίζεται "άνοιγμα" των αριστερών παρειών των οδικών σιράγγων κατά 3,5mm, σε αντίθεση με τις δεξιές παρειές που συγκλίνουν κατά 3mm.

7. ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΚΩΔΙΚΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

7.1. Κώδικας πεπερασμένων στοιχείων

Ο κώδικας πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκε για τις τριδιάστατες αναλύσεις, είναι το RS3 1.0 της www.rocscience.com. Το RS3 είναι ένα πρόγραμμα 3D ανάλυσης γεωτεχνικών δομών για έργα πολιτικού μηχανικού και μεταλλευτικά έργα. Αποτελεί ένα πρόγραμμα ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων γενικής χρήσης για υπόγειες εκσκαφές, σχεδιασμό σιράγγων και υποστήριξής τους, επιφανειακές εκσκαφές, σχεδιασμό θεμελιώσεων, αναχώματα, στερεοποίηση, κίνηση υπόγειων υδάτων και άλλες εφαρμογές. Επίσης παρέχει την δυνατότητα για δυναμικής ανάλυσης.

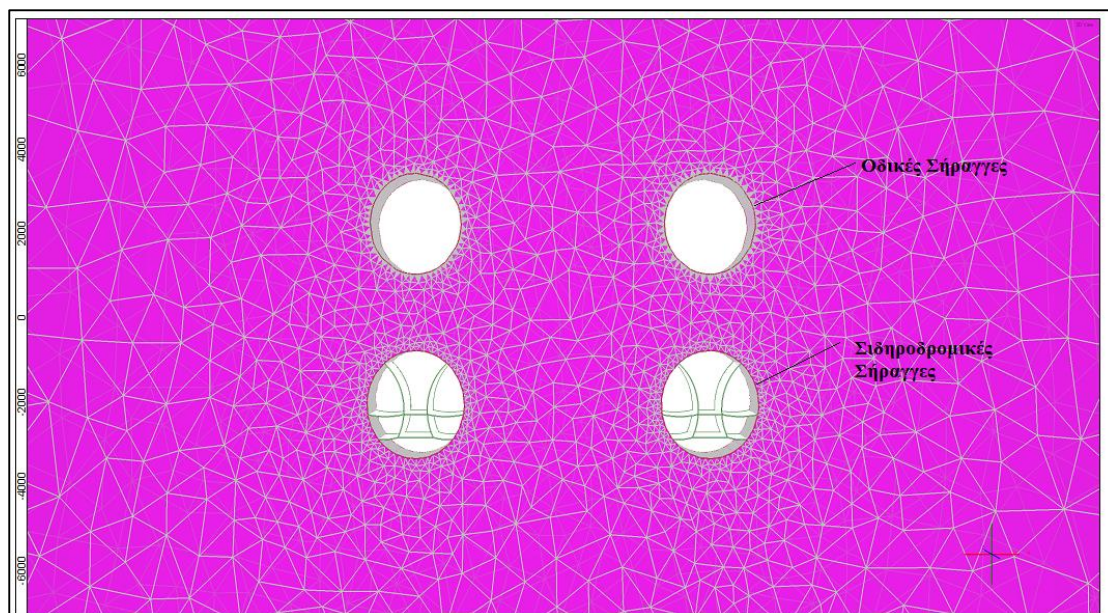
7.2. Παράμετροι σχεδιασμού

Στις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν, χρησιμοποιήθηκαν ορισμένες βασικές παράμετροι για την υλοποίησή τους.

7.2.1. Γεωμετρία Εκσκαφής

Για τις προσομοιώσεις, θεωρούμε ότι τόσο οι σιδηροδρομικές σήραγγες, όσο και οι οδικές σήραγγες έχουν κυκλική διατομή, με ισοδύναμη ακτίνα κύκλου με την πραγματική διατομή εκσκαφής. Για τις σιδηροδρομικές σήραγγες η διαφορά είναι μόλις $7,3\text{m}^2$. Όπως και στις δυσδιάστατες αναλύσεις, έτσι και εδώ το σιδηροδρομικό έργο απέχει 8m πάνω από την στέψη των σιδηροδρομικών σιράγγων (Εικόνα 7.1)

Επειδή πραγματοποιήθηκαν τρεις (3) διαφορετικές αναλύσεις, σε κάθε ανάλυση η γεωμετρία είναι διαφορετική, ανάλογα με το αντικείμενο προσομοίωσης.



Εικόνα 7.1 (Γεωμετρία Προσομοίωσης)

7.2.2. Στάδια Ανάλυσης

Σε όλες τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν, λαμβάνουμε μια βασική αρχή για την αλληλουχία των σταδίων ανάλυσης. Το πρώτο στάδιο σε όλες τις αναλύσεις, λαμβάνεται ως προσομοίωση του γεωστατικού πεδίου. Στο αμέσως επόμενο στάδιο γίνεται διάνοιξη και υποστήριξη του οδικού έργου. Το οδικό έργο θεωρούμε πως υποστηρίζεται μόνο με την μόνιμη επένδυση και δεν λαμβάνονται υπόψη τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης του. Στην συνέχεια ξεκινάει η διάνοιξη του σιδηροδρομικού έργου, όπου σε αναλύσεις με την προσομοίωση και των δύο κλάδων του σιδηροδρομικού έργου, η διάνοιξη του αριστερού κλάδου, προηγείται έναντι του δεξιού. Σε κάθε επιμέρους ανάλυση, διευκρινίζεται η αλληλουχία των σταδίων ανάλυσης.

Επίσης θεωρούμε πως η υποστήριξη της εκσκαφής γίνεται ένα στάδιο μετά την εκσκαφή, ώστε να αποδοθεί η πραγματική αποτόνωση της εκσκαφής.

7.2.3. Προσομοίωση Βραχόμαζας

Η βραχόμαζα προσομοιώθηκε με το κριτήριο αστοχίας Mohr- Coulomb. Οι παράμετροι του κριτηρίου, λαμβάνονται από την μελέτη¹⁵, σε συνδυασμό με τις τιμές

¹⁵ Οριστική Γεωλογική Μελέτη Σήραγγας Παναγοπούλας

των μηχανικών παραμέτρων της βραχόμαζας που προέκυψαν από της εργαστηριακές δοκιμές, από δείγματα γεωτρήσεων στο βάθος της σήραγγας.

Στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, θεωρούμε πως η βραχόμαζα συμπεριφέρεται πλαστικά και οι παράμετροι της βραχόμαζας που χρησιμοποιήθηκαν στο κριτήριο Mohr- Coulomb, είναι:

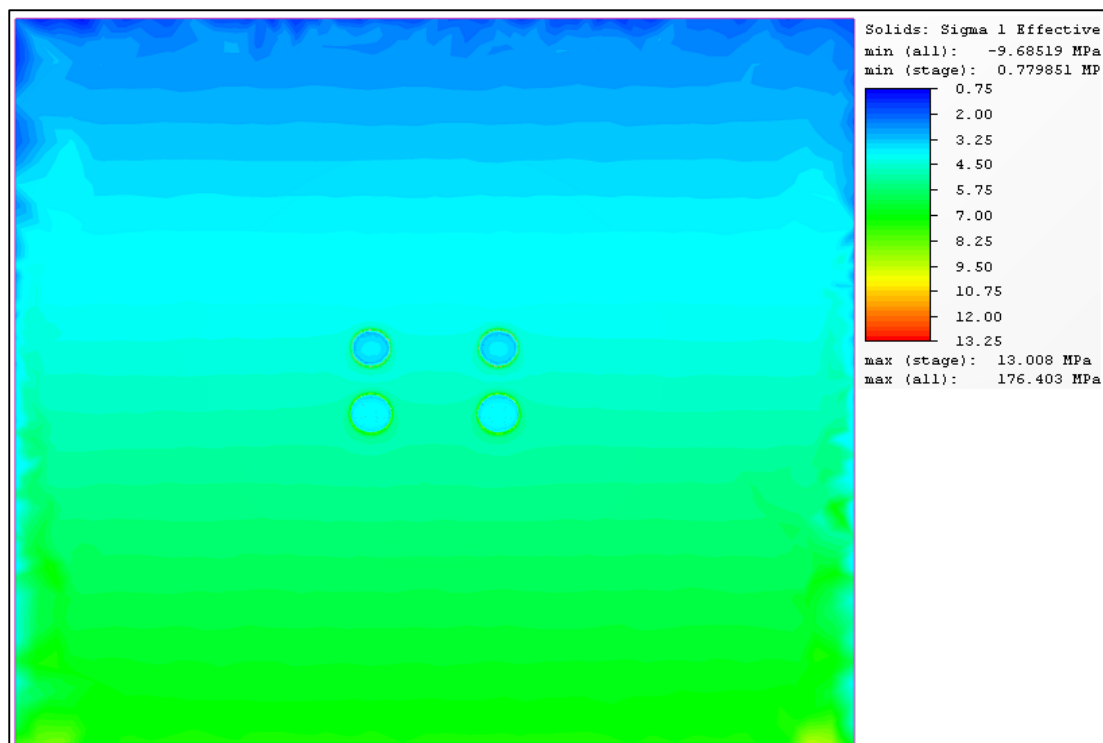
- Εφελκυστική αντοχή (MPa)
- Αντοχή σε εφελκυσμό- Brazilian test (MPa)
- Γωνία τριβής (°)
- Συνοχή (MPa)
- Λόγος Poisson
- Ειδικό βάρος βραχόμαζας (MN/m³)
- Γωνία διαστολικότητας

7.2.4. Γεωστατικό Πεδίο

Ορίζουμε το εξωτερικό όριο της ανάλυσης, να είναι ίσο με έξι (6) διαμέτρους εκσκαφής, ενώ το ανώτατο όριο να ισούται με το υψόμετρο του φυσικού εδάφους. Περιμετρικά αυτού τοποθετούμε σε όλες τις ελεύθερες επιφάνειες (άξονες x,y,z,) τις αντίστοιχες κυλίσεις θεωρώντας πως η βραχόμαζα δεν περιορίζεται μόνο στο όριο της εκσκαφής, αλλά συνεχίζεται και γύρω από αυτό.

Στην συνέχεια ορίζουμε τον συντελεστή πλευρικών ωθήσεων (K) και προκύπτει το γεωστατικό πεδίο.

Συγκεκριμένα στις αναλύσεις που κάναμε, θεωρούμε πως η σιδηροδρομική σήραγγα διανοίγεται σε απόλυτο υψόμετρο +32m, ενώ η επιφάνεια του φυσικού εδάφους βρίσκεται σε υψόμετρο 247,5m. Για ειδικό βάρος υπερκειμένων ίσο με $\gamma=23,5\text{kN/m}^3$ και συντελεστή πλευρικών ωθήσεων $K=0,5$, το γεωστατικό φορτίο στο βάθος της σιδηροδρομικής σήραγγας, είναι $P_0=5,06\text{ MPa}$ (Εικόνα 7.2).



Εικόνα 7.2 (Γεωστατικό Πεδίο)

7.3. Παράμετροι προσωρινών μέτρων υποστήριξης

Τα μέτρα προσωρινής και μόνιμης υποστήριξης, που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις, είναι: αγκύρια, τοξωτά μεταλλικά πλαίσια, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, οπλισμένο σκυρόδεμα, δοκοί προπορείας- forepoling, μικροπάσαλοι και αγκύρια μετώπου.

Για κάθε ένα από τα παραπάνω μέτρα προσωρινής υποστήριξης που χρησιμοποιήθηκαν, οι αναλυτικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν παρατίθενται παρακάτω.

- Αγκύρια

Τα αγκύρια προσομοιώνονται ως γραμμικά στοιχεία στο πρόγραμμα RS3, μέσω της επιλογής support-bolts. Στις αναλύσεις, οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση των αγκυρίων, είναι το είδος τους, το μέτρο ελαστικότητας $E=200\text{GPa}$, η φέρουσα ικανότητα των αγκυρίων που εξαρτάται από τον τύπο του αγκυρίου και το μήκος τους. Στις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε η κατηγορία μέτρων προσωρινής υποστήριξης E2i, όπου περιλαμβάνει αγκύρια πλήρους πάκτωσης (fully bonded), διαμέτρου $\Phi 52$, μήκους $L=9,00\text{m}$ και φέρουσας ικανότητας 929kN . Λόγω της τρίτης

διάστασης (z), που μας παρέχει το πρόγραμμα, οι θέσεις- αποστάσεις των αγκυρίων προσομοιώθηκαν όπως προβλέπει η μελέτη¹⁶.

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

Η προσομοίωση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στις αναλύσεις, έγινε μέσω της επιλογής liner, όπου οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν είναι το πάχος του, η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη, μειωμένη με συντελεστή ασφαλείας σκυροδέματος $\gamma_c=1,5$ και το μέτρο ελαστικότητας που σύμφωνα με την μελέτη², είναι $E=15.000 \text{ MN/m}^2$. Στις περιπτώσεις, όπου τοποθετείται δομικό πλέγμα μαζί με το σκυρόδεμα, ορίζεται αντοχή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε εφελκυσμό, $\sigma_t= 5\text{MPa}$. Για την προσομοίωση το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, θεωρήθηκε ότι συμπεριφέρεται ελαστικά.

Στις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε η κατηγορία μέτρων προσωρινής υποστήριξης E2i, όπου περιλαμβάνει εκτοξευόμενο σκυρόδεμα C30/37 με δομικό πλέγμα, το πάχος του οποίου περιμετρικά της εκσκαφής είναι 45cm, ενώ στα προσωρινά ανάστροφα τόξα 25cm.

- Οπλισμένο σκυρόδεμα

Το οπλισμένο σκυρόδεμα, χρησιμοποιήθηκε ως μέτρο μόνιμης υποστήριξης των οδικών σηράγγων. Η προσομοίωση του οπλισμού του σκυροδέματος, έγινε μέσω της επιλογής beam, όπου οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν είναι το εμβαδό του οπλισμού και το μέτρο ελαστικότητας του. Στις αναλύσεις τοποθετήθηκε μονή σχάρα οπλισμού $\Phi 25/100$, σύμφωνα με την μελέτη¹⁷. Ο οπλισμός προσομοιώθηκε με την μορφή truss type, όπου το εμβαδό του είναι $A= 982\text{mm}^2$, ενώ το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα θεωρήθηκε $E=200\text{GPa}$. Στην συνέχεια το σκυρόδεμα που τοποθετείται σύμφωνα με την μελέτη³, είναι τύπου C30/37.στις προσομοιώσεις το σκυρόδεμα προσομοιώνεται μέσω της επιλογής liner, όπου οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν είναι το πάχος του, η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη, μειωμένη με συντελεστή ασφαλείας σκυροδέματος $\gamma_c=1,5$ και το μέτρο ελαστικότητας, όπου είναι $E=30.000 \text{ MN/m}^2$. Στις προσομοιώσεις το σκυρόδεμα, θεωρήθηκε ότι συμπεριφέρεται ελαστικά.

¹⁶ Οριστική Μελέτη Σήραγγας Παναγοπούλας- Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης

¹⁷ Tunnel 26 Final Design Excavation and Support

- Τοξωτά μεταλλικά πλαίσια

Τα τοξωτά μεταλλικά πλαίσια, προσομοιώνονται στις αναλύσεις μέσω τις επιλογής beams και οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν, είναι το εμβαδόν διατομής τους, το μέτρο ελαστικότητας τους και η ροπή αδρανείας. Συγκεκριμένα η κατηγορία μέτρων προσωρινής υποστήριξης περιλαμβάνει τοξωτά μεταλλικά πλαίσια HEB 140, όπου $A=4296\text{mm}^2$, $E=200\text{GPa}$, $I_{\text{max}}=1509\text{cm}^4$ και $I_{\text{min}}=549,7\text{cm}^4$. Στα αναλύσεις θεωρούμε ότι συμπεριφέρονται ελαστικά. Τα πλαίσια τοποθετούνται σε απόσταση 0,5m σύμφωνα με την μελέτη².

- Δοκοί προπορείας- forepoling

Οι δοκοί προσομοιώνονται ως ράβδοι (beams) πάνω από την εκσκαφή. Συγκεκριμένα η κατηγορία μέτρων προσωρινής υποστήριξης E2i, περιλαμβάνει δοκούς Φ114/101 St37, με τα ακόλουθα μηχανικά χαρακτηριστικά: $A=2940\text{mm}^2$, $E=200\text{GPa}$, $I_{\text{max}}=411\text{cm}^4$ και $I_{\text{min}}=411\text{cm}^4$. Οι δοκοί έχουν συνολικό μήκος $L=14\text{m}$, τοποθετούνται ανά 0,3m πάνω από την εκσκαφή, ενώ κάθε νέα ομπρέλα τοποθετείται ανά 8m (επικάλυψη 6m). Η κατηγορία προσωρινής υποστήριξης E2i, περιλαμβάνει δύο σειρές δοκών προπορείας με κλίση 6° και 12° αντίστοιχα, όπως και προσομοιώθηκαν.

- Μικροπάσαλλοι

Οι μικροπάσαλλοι, προσομοιώθηκαν ως αγκύρια πλήρους πάκτωσης. Στις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε η κατηγορία μέτρων προσωρινής υποστήριξης E2i, όπου περιλαμβάνει ζεύγως μικροπασάλλων αγκύρια πλήρους πάκτωσης (fully bonded), διαμέτρου Φ52, μήκους $L=6,00\text{m}$ και φέρουσας ικανότητας 929kN.

- Αγκύρια Μετώπου

Η κατηγορία μέτρων προσωρινής υποστήριξης E2i, προβλέπει την τοποθέτηση αγκυρίων fiberglass στο μέτωπο των φάσεων I, II, V. Τα αγκύρια προσομοιώθηκαν ως συνεχόμενη πίεση υποστήριξης του μετώπου, με τάση $P=36\text{KPa}$, σύμφωνα με την μελέτη².

7.4. Λήψη μετρήσεων

Σε κάθε ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, μετρήθηκαν και στους δύο κλάδους, οι κατακόρυφες μετακινήσεις (vertical displacements), οριζόντιες μετακινήσεις (horizontal displacements) και συνολικές μετακινήσεις (total displacements). Οι μετρήσεις έγιναν τόσο ως προς την κατακόρυφη διεύθυνση του μοντέλου, όσο και περιμετρικά όλης της εκσκαφής (κατά τον άξονα z).

7.5. Τριδιάστατη Προσομοίωση 1 (Οριζόντια Διέλευση)

Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε στην Χ.Θ. 104+000, όπου οι σιδηροδρομικές σήραγγες διέρχονται κάτω από τις οδικές σήραγγες T26, με διαφορά υψομέτρου 8m. Στην συγκριμένη θέση, το απόλυτο υψόμετρο της ερυθράς των σιδηροδρομικών σηράγγων είναι +32,38m, ενώ το απόλυτο υψόμετρο του εδάφους είναι +247,52m (υπερκείμενο 215,14m). Οριζοντιογραφικά ο άξονας των οδικών σηράγγων, σχηματίζει γωνία 21° με τον άξονα των σιδηροδρομικών σηράγγων. Το πρόγραμμα RS3, δεν μας επιτρέπει να ορίσουμε εκσκαφή με συντεταγμένες (x,y,z.). Για τον λόγο αυτό επειδή η γωνία διέλευσης είναι σχετικά μικρή και πλησιάζει την παράλληλη ταύτιση των δύο αξόνων, για τις αναλύσεις θεωρούμε την δυσμενέστερη περίπτωση διέλευση, δηλαδή ότι οι σιδηροδρομικές σήραγγες διανοίγονται οριζόντια σε σχέση με τις οδικές σήραγγες.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης¹⁸, στην περιοχή αυτή συναντάτε ο γεωλογικός σχηματισμός των ραδιολαριτών-κερατόλιθων. Επίσης στην περιοχή αυτή βρίσκεται η δειγματοληπτική γεώτρηση **ΣΔ3Γ2**, όπου λαμβάνοντας τα στοιχεία των εργαστηριακών δοκιμών της γεώτρησης αυτής σε αυτό το βάθος και τα δεδομένα της μελέτης⁴, αλλά και τα δεδομένα από την κατασκευάστρια κοινοπραξία, όπου στην θέση αυτή συναντήθηκαν κερατόλιθοι έντονα αποσαθρωμένοι, καταλήγουμε πως οι μηχανικοί παράμετροι για την προσομοίωση, είναι οι ακόλουθοι:

σ_t	0,133 MPa
c	0,28 MPa
φ	34°

¹⁸ ΕΚΘΕΣΗ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΑΣ

E	350 MPa
γ	0,0235 MN/m ³
ν	0,3
k_0	0,5
Material type	Plastic

Πίνακας 7.1 (Γεωτεχνικά Χαρακτηριστικά Προσομοίωσης)

Η αλληλουχία των σταδίων ανάλυσης, παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.2. Η διάνοιξη του αριστερού κλάδου ξεκινάει στο στάδιο ν και αφού ολοκληρωθεί η πλήρης διάνοιξη του, ξεκινάει η διάνοιξη του δεξιού κλάδου στο στάδιο y ($y-\nu=82$).

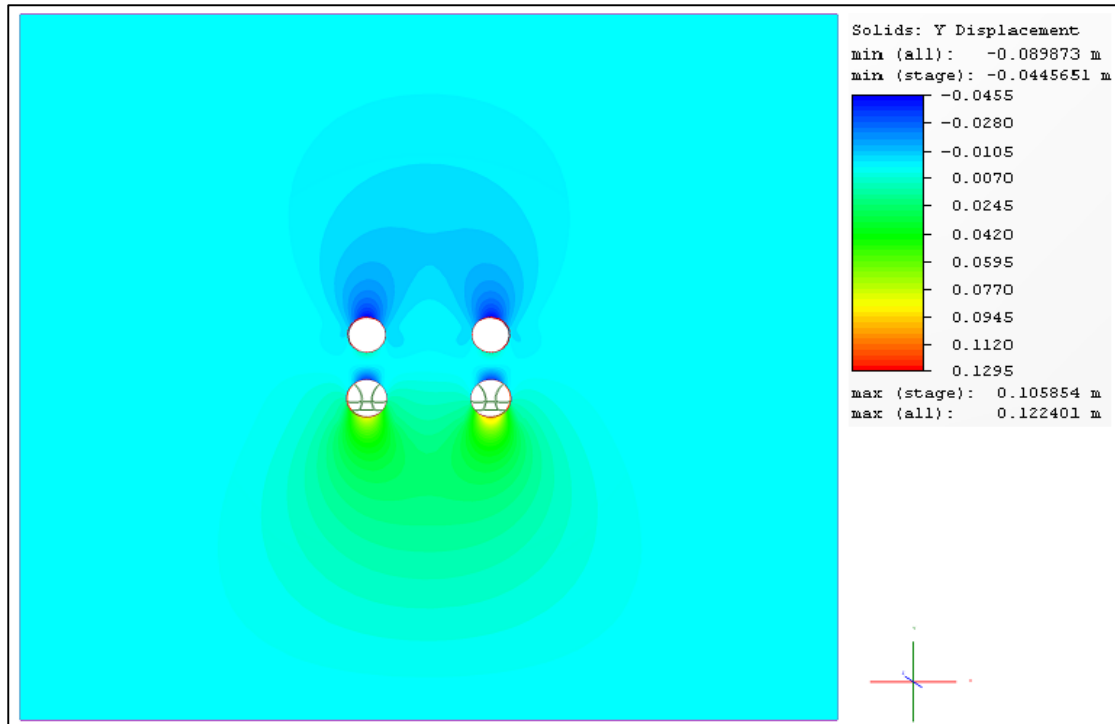
	<i>Αριστερός Κλάδος</i>	<i>Δεξιός Κλάδος</i>
ΦΑΣΗ I	ν	y
ΦΑΣΗ II	$\nu+4$	$y+4$
ΦΑΣΗ III	$\nu+20$	$y+20$
ΦΑΣΗ IV	$\nu+24$	$y+24$
ΦΑΣΗ V	$\nu+40$	$y+40$
ΦΑΣΗ VI	$\nu+48$	$y+48$
ΦΑΣΗ VII	$\nu+64$	$y+64$

Πίνακας 7.2 (Στάδια Προσομοίωσης)

Τα αποτελέσματα των ορθών τάσεων (σ_1) και των ολικών μετακινήσεων (total displacements), παρατίθενται στο Παράρτημα Γ (Εικόνες 7.5.3, 7.5.4).

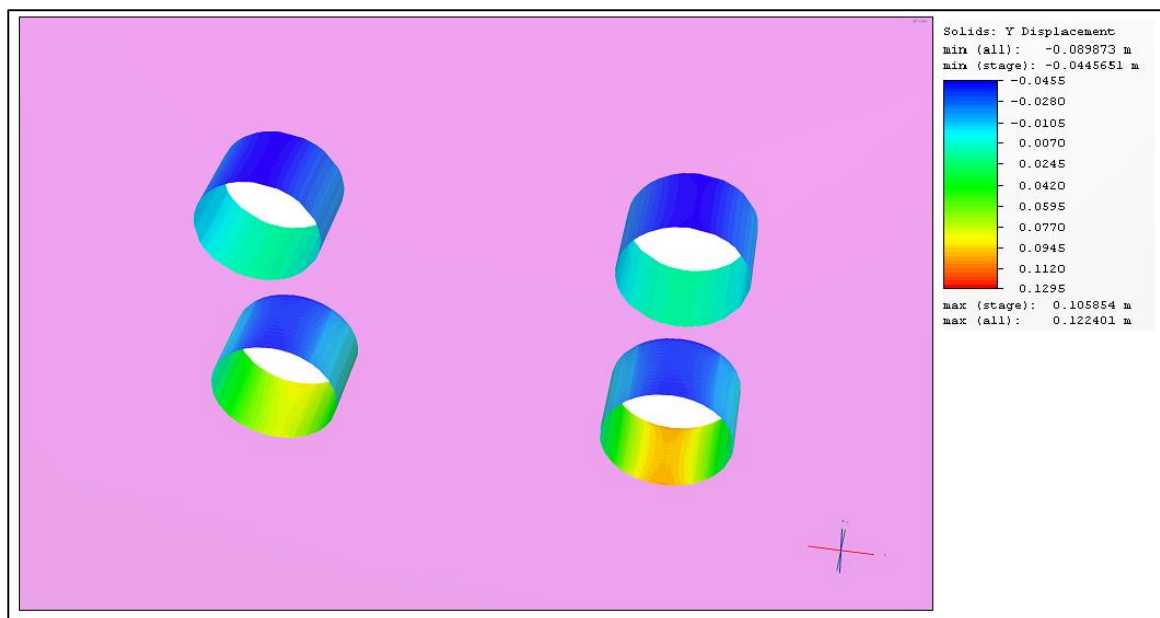
7.5.1. Αποτελέσματα (Κατακόρυφες Μετακινήσεις)

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε και θεωρώντας ότι οι μετακινήσεις ξεκινάνε αμέσως μετά το στάδιο κατασκευής των οδικών σηράγγων, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα (Σχήμα 7.5.1a,b):



Εικόνα 7.5.1a (Κατανομή Κατακόρυφων Μετακινήσεων)

Παρατηρούμε ότι τόσο στην οροφή των οδικών σηράγγων, όσο και στη οροφή των σιδηροδρομικών σηράγγων μια σύγκλιση της τάξης των 2cm. Αντίθετα στο δάπεδο των οδικών σηράγγων υπάρχει μία ανύψωση του πυθμένα που φτάνει τα 90mm.



Εικόνα 7.5.1b (Κατανομή Κατακόρυφων Μετακινήσεων- 3D)

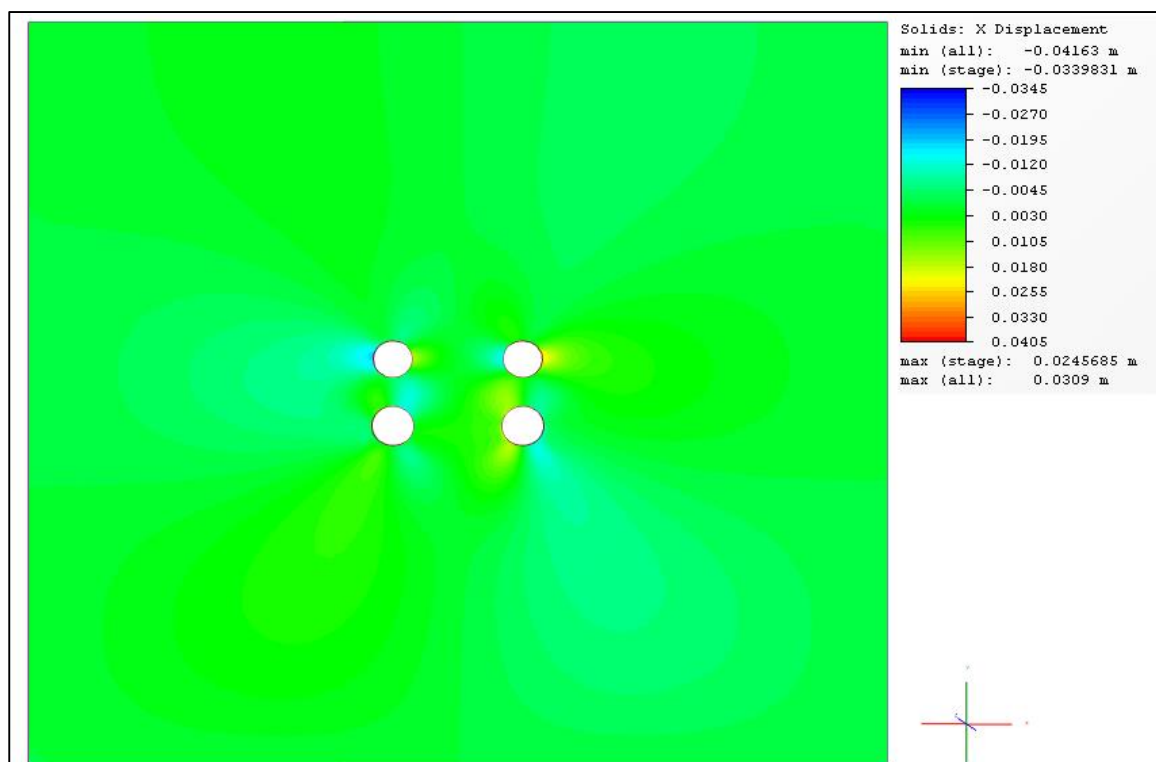
Κατά την τριδιάστατη αποτύπωση των κατακόρυφων μετακινήσεων περιμετρικά της εκσκαφής, παρατηρούμε την ανύψωση του πυθμένα, που φτάνει τα 2,3cm. Τόσο η

οροφή των οδικών σηράγγων όσο και των υπό κατασκευή σιδηροδρομικών σηράγγων συγκλίνει κατά 30mm. Τέλος παρατηρούμε πως ο πυθμένας των σιδηροδρομικών σηράγγων, ανυψώνεται κατά 9-11cm. Μεγαλύτερη ανύψωση παρατηρείται στον πυθμένα του δεξιού κλάδου, λόγω της επίδρασης και καταπόνησης από την προηγούμενη διάνοιξη του αριστερού κλάδου.

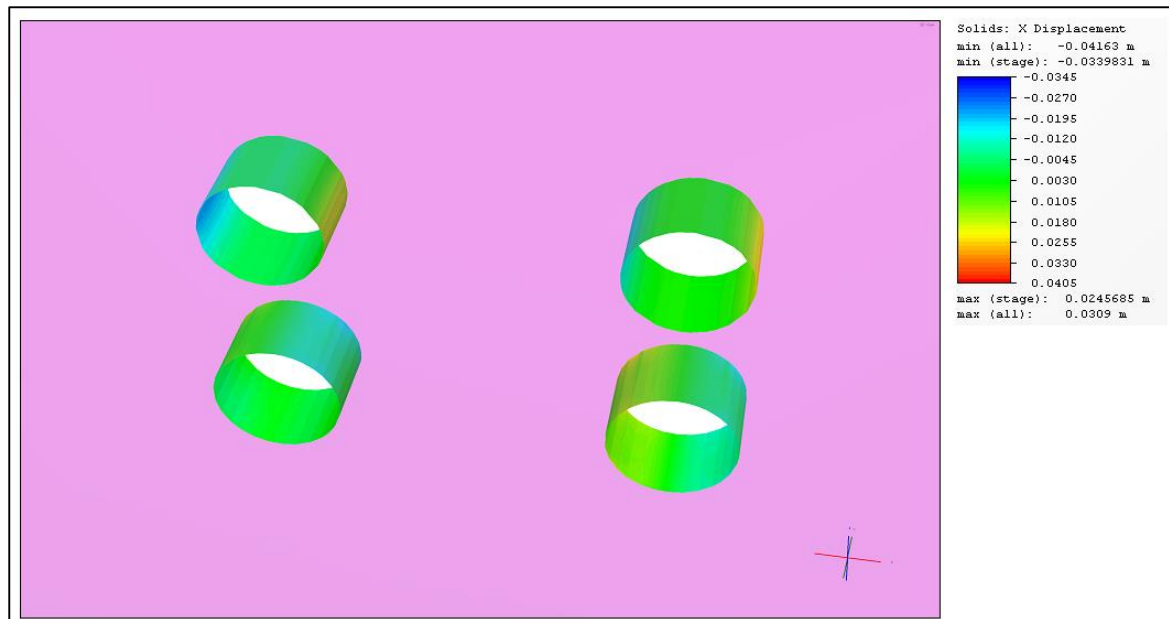
Οι μετακινήσεις αυτές στις οδικές σήραγγες είναι ανεκτές σύμφωνα με την Αττικό Μετρό (βλέπε Πίνακα 6.5.1).

7.5.2. Αποτελέσματα (Οριζόντιες Μετακινήσεις)

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε και θεωρώντας ότι οι μετακινήσεις ξεκινάνε αμέσως μετά το στάδιο κατασκευής των οδικών σηράγγων, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα (Σχήμα 7.5.2a,b):



Εικόνα 7.5.2a (Κατανομή Οριζόντιων Μετακινήσεων)

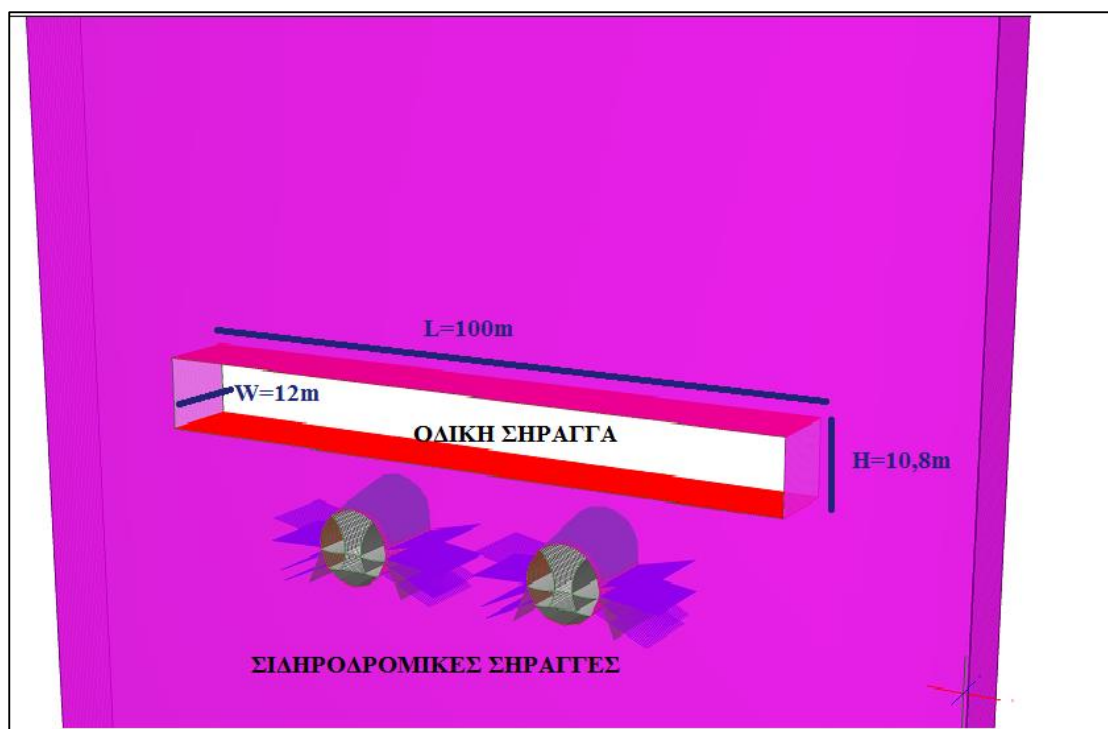


Εικόνα 7.5.2b (Κατανομή Οριζόντιων Μετακινήσεων- 3D)

Από τα παραπάνω αποτελέσματα (Εικόνες 7.5.2a,b), παρατηρούμε στην αριστερή παρειά των οδικών σηράγγων σύγκλιση κατά 20mm και άνοιγμα της δεξιάς παρειάς κατά 20mm. Το αντίθετο συμβαίνει στις σιδηροδρομικές σήραγγες, όπου η δεξιά παρειά συγκλίνει, ενώ αριστερή παρειά "ανοίγει", με μετακινήσεις αντίστοιχες με αυτές των οδικών σηράγγων.

7.6. Τριδιάστατη Προσομοίωση 2 (Κάθετη Διέλευση)

Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε στην Χ.Θ. 104+000, όπου οι σιδηροδρομικές σήραγγες διέρχονται κάτω από τις οδικές σήραγγας T26, με διαφορά υψόμετρου 8m. Στην συγκριμένη θέση, το απόλυτο υψόμετρο της ερυθράς των σιδηροδρομικών σηράγγων είναι +32,38m, ενώ το απόλυτο υψόμετρο του εδάφους είναι +247,52m (υπερκείμενο 215,14m). Στην συγκεκριμένη προσομοίωση θεωρούμε πως οι οδικές σήραγγες διέρχονται κάθετα πάνω από τις οδικές σήραγγες. Η προσομοίωση περιλαμβάνει μόνο τον ένα από τους δύο κλάδους των οδικών σηράγγων, όπου στο υπολογιστικό μοντέλο προσομοιώθηκε ως ορθογώνια διατομή ύψους $H=10,8m$, πλάτους $W=12m$ και συνολικού μήκους $L=100m$ (50m εκατέρωθεν του κεντρικού άξονα) (Σχήμα 7.6). Για υπολογιστικούς λόγους, θεωρούμε πως η βραχόμαζα συμπεριφέρεται ελαστικά (elastic).



Σχήμα 7.6 (Προσομοίωσης Εκσκαφής)

Τα γεωτεχνικά στοιχεία της περιοχής που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση, είναι τα ίδια που χρησιμοποιήθηκαν και στη Τριδιάστατη Προσομοίωση 1 (βλέπε Πίνακας 7.1).

Η αλληλουχία των σταδίων ανάλυσης, παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.3. Η διάνοιξη του αριστερού κλάδου ξεκινάει στο στάδιο v ενώ η διάνοιξη του δεξιού κλάδου στο στάδιο y ($y-v=80$).

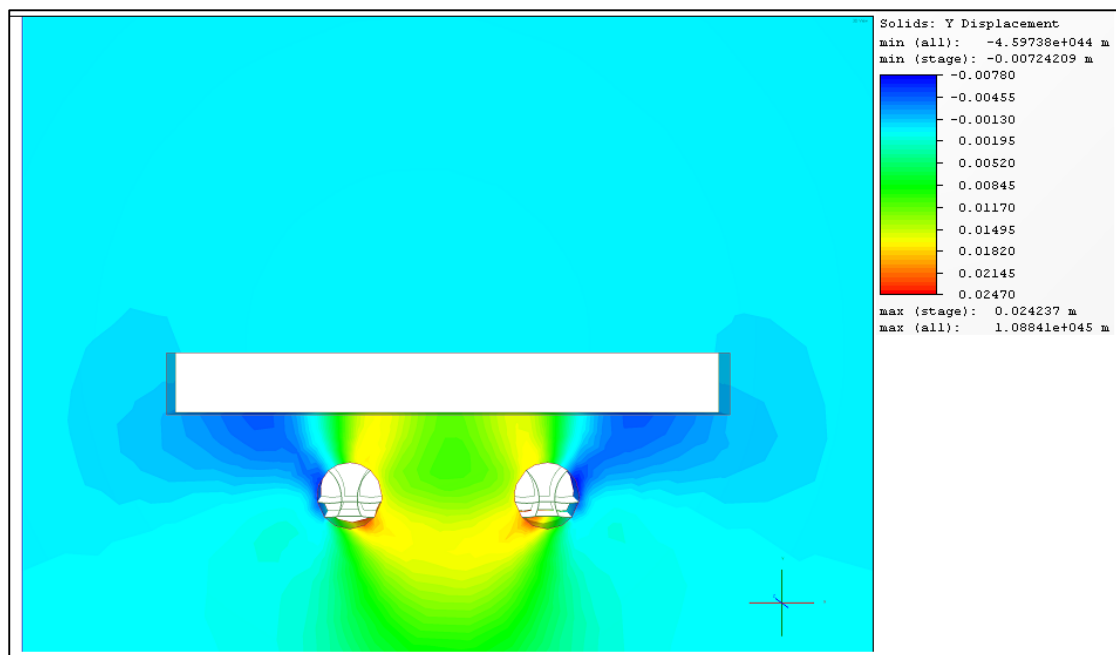
	<i>Αριστερός Κλάδος</i>	<i>Δεξιός Κλάδος</i>
ΦΑΣΗ I	v	y
ΦΑΣΗ II	$v+8$	$y+8$
ΦΑΣΗ III	$v+24$	$y+24$
ΦΑΣΗ IV	$v+32$	$y+32$
ΦΑΣΗ V	$v+48$	$y+48$
ΦΑΣΗ VI	$v+56$	$y+56$
ΦΑΣΗ VII	$v+72$	$y+72$

Πίνακας 7.3 (Στάδια Προσομοίωσης)

Τα αποτελέσματα των ορθών τάσεων (σ_1) και των ολικών μετακινήσεων (total displacements), παρατίθενται στο Παράρτημα Γ (Εικόνες 7.6.3, 7.6.4).

7.6.1. Αποτελέσματα (Κατακόρυφες Μετακινήσεις)

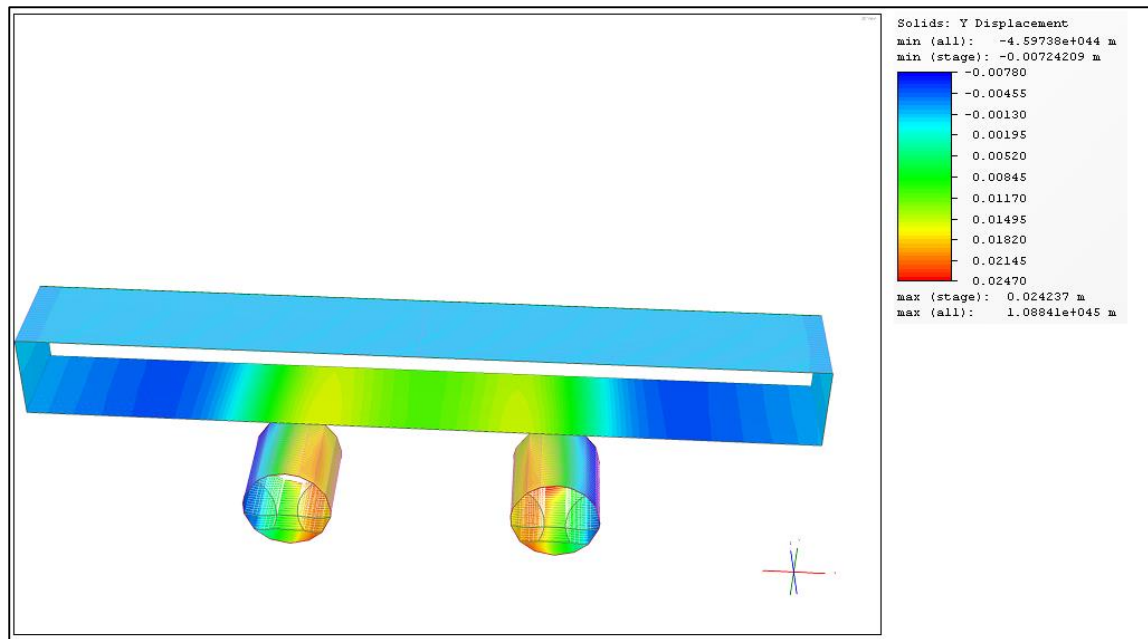
Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε και θεωρώντας ότι οι μετακινήσεις ξεκινάνε αμέσως μετά το στάδιο κατασκευής των οδικών σηράγγων, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα (Σχήμα 7.6.1a,b):



Εικόνα 7.6.1a (Κατανομή Κατακόρυφων Μετακινήσεων)

Από την παραπάνω αποτελέσματα της ανάλυσης, παρατηρούμε ανύψωση του πυθμένα της οδικής σήραγγας κατά 1,7cm κοντά στην περιοχή των σηράγγων, ενώ στο κέντρο της οδικής σήραγγας η ανύψωση φτάνει τα 8mm. Πέρα από την ζώνη επιρροής μεταξύ των δύο σιδηροδρομικών σηράγγων, το δάπεδο της οδικής σήραγγας παρουσιάζει καθίζηση της τάξης των 7mm.

Στις υπό κατασκευή σιδηροδρομικές σήραγγες παρατηρείται ανύψωση του τμήματος των σηράγγων στην περιοχή μεταξύ των δύο κλάδων, όπου στην οροφή είναι της τάξης των 15mm, ενώ στον πυθμένα αγγίζει τα 24mm. Στην υπόλοιπη περιοχή των σηράγγων παρατηρείται σύγκλιση των τοιχωμάτων με μέγιστη τιμή τα 7mm.



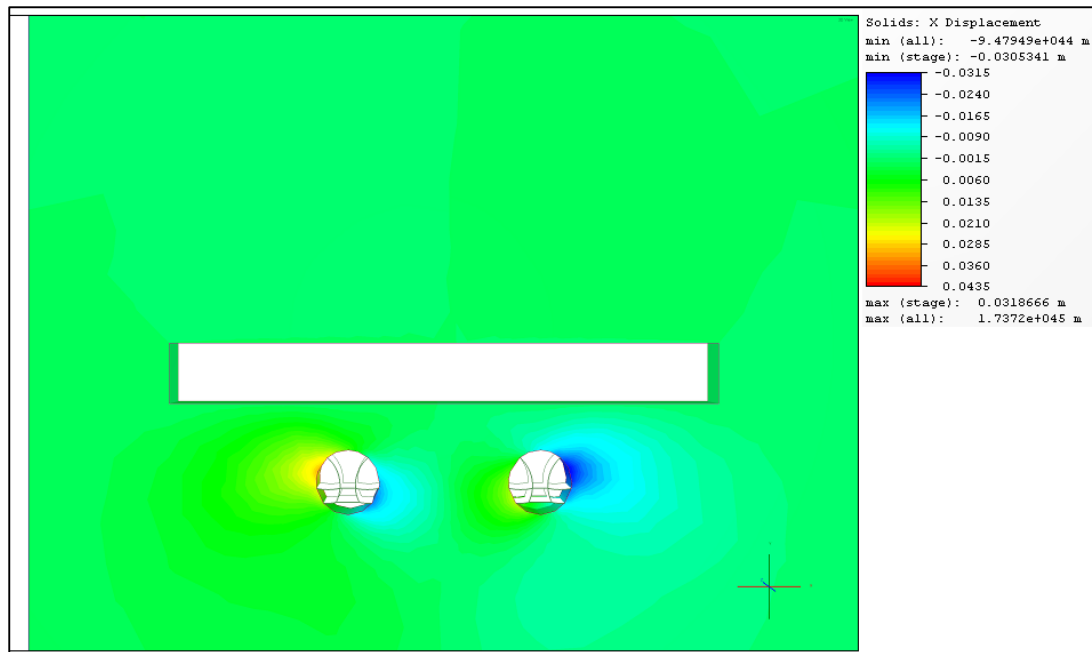
Εικόνα 7.6.1b (Κατανομή Κατακόρυφων Μετακινήσεων- 3D)

Στην Εικόνα 7.6.2b, παρατηρούμε καλύτερα την ανύψωση του πυθμένα της οδικής σήραγγας, όπου η μέγιστη ανύψωση συμβαίνει ακριβώς πάω από την περιοχή των σιδηροδρομικών σηράγγων και συγκεκριμένα στο τμήμα μεταξύ των δυο κλάδων , όπου κοντά στις σήραγγες φτάνει τα 17mm, ενώ στο κέντρο μεταξύ των δύο κλάδων τα 8,5mm.

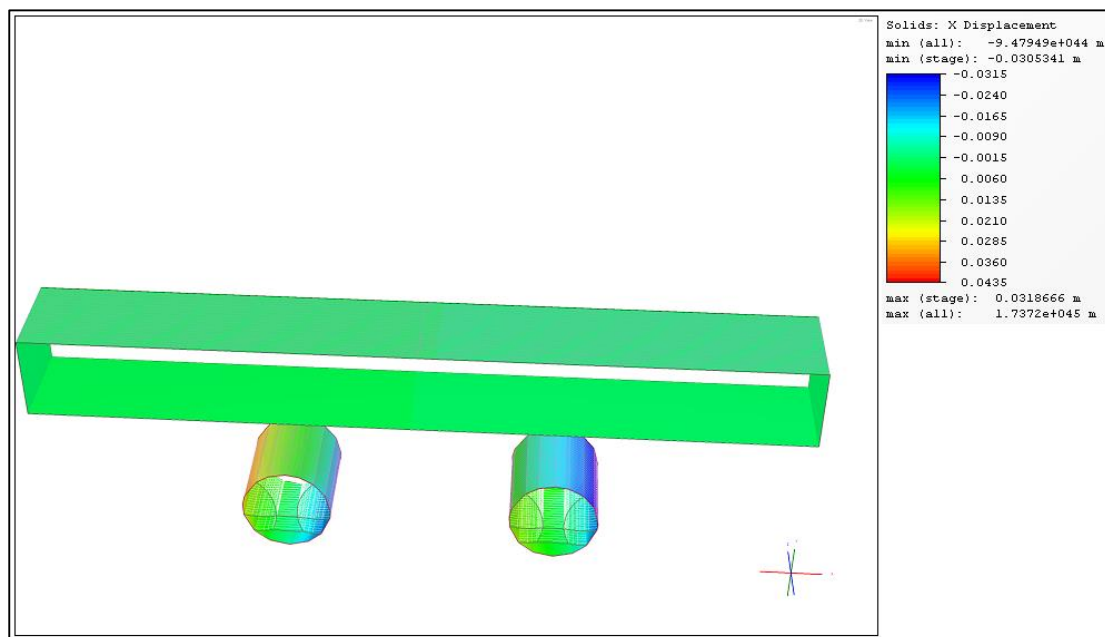
Οι μετακινήσεις αυτές στις οδικές σήραγγες είναι ανεκτές σύμφωνα με την Αττικό Μετρό (βλέπε Πίνακα 6.5.1).

7.6.2. Αποτελέσματα (Οριζόντιες Μετακινήσεις)

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε και θεωρώντας ότι οι μετακινήσεις ξεκινάνε αμέσως μετά το στάδιο κατασκευής των οδικών σηράγγων, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα (Σχήμα 7.6.2a,b):



Εικόνα 7.6.2a (Κατανομή Οριζόντιων Μετακινήσεων)



Εικόνα 7.6.2b (Κατανομή Οριζόντιων Μετακινήσεων- 3D)

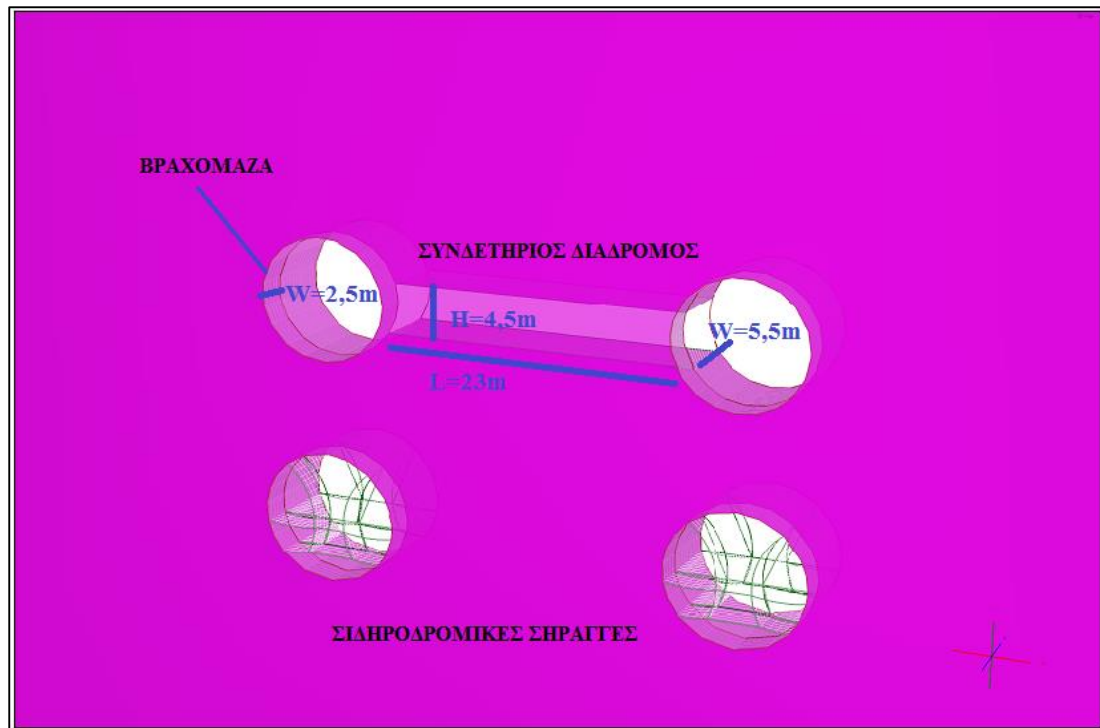
Από τα παραπάνω αποτελέσματα (Εικόνες 7.6.2a,b), παρατηρούμε στον αριστερό κλάδο που εκσκάπτεσαι πρώτος, "άνοιγμα" στο αριστερό άνω τμήμα κατά 30mm και σύγκλιση του αντιδιαμετρικού κάτω δεξιού τμήματος κατά 30mm. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι καθώς εκσκάπτεται η σιδηροδρομική σήραγγα, η οδική σήραγγας έχει τη τάση να "πιέζει" την σιδηροδρομική σήραγγα και συμπεριφέρεται ανάλογα. Στον δεξιό κλάδο παρατηρείται σύγκλιση της άνω δεξιά παρειάς και "άνοιγμα" της κάτω

αριστερής. Εδώ συμβαίνει το αντίθετο με τον αριστερό κλάδο διότι ο κλάδος αυτός εκσκάπτεται μετά τον αριστερό και η βραχόμαζα έχε είδη επηρεαστεί.

7.7. Τριδιάστατη Προσομοίωση 3 (Cross Passage)

Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε στην Χ.Θ. 104+000, όπου οι σιδηροδρομικές σήραγγες διέρχονται κάτω από τις οδικές σήραγγας T26, με διαφορά υψομέτρου 8m. Στην συγκριμένη θέση, το απόλυτο υψόμετρο της ερυθράς των σιδηροδρομικών σηράγγων είναι +32,38m, ενώ το απόλυτο υψόμετρο του εδάφους είναι +247,52m (υπερκείμενο 215,14m).

Στην συγκεκριμένη προσομοίωση λαμβάνουμε υπόψιν τον συνδετήριο διάδρομο που υπάρχει μεταξύ των οδικών σηράγγων και την επίδραση των υπό κατασκευή σιδηροδρομικών σηράγγων σε αυτόν. Η προσομοίωση έχει συνολικό μήκος 8m, όσο και κάθε ομπρέλα δοκών προπορείας. Από τα 8m της ανάλυσης τα πρώτα 2,5m είναι βραχόμαζα και τα επόμενα 5,5m ο συνδετήριος διάδρομος. Ο συνδετήριος διάδρομος έχει πλάτος $W=5,5m$, ύψος $H=4,5m$ και μήκος $L=23m$. Η μόνιμη επένδυση του συνδετήριου διαδρόμου, θεωρούμε πως είναι ίδια με αυτή των οδικών σηράγγων (Σχήμα 7.7). Για υπολογιστικούς λόγους, θεωρούμε πως η βραχόμαζα συμπεριφέρεται ελαστικά (elastic).



Σχήμα 7.7 (Προσομοίωση Εκσκαφής)

Τα γεωτεχνικά στοιχεία της περιοχής που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση, είναι τα ίδια που χρησιμοποιήθηκαν και στη Τρισδιάστατη Προσομοίωση 1 (βλέπε Πίνακας 7.1).

Η αλληλουχία των σταδίων ανάλυσης, παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.4. Η διάνοιξη του αριστερού κλάδου ξεκινάει στο στάδιο v και αφού ολοκληρωθεί η πλήρης διάνοιξη του, ξεκινάει η διάνοιξη του δεξιού κλάδου στο στάδιο y ($y-v=60$).

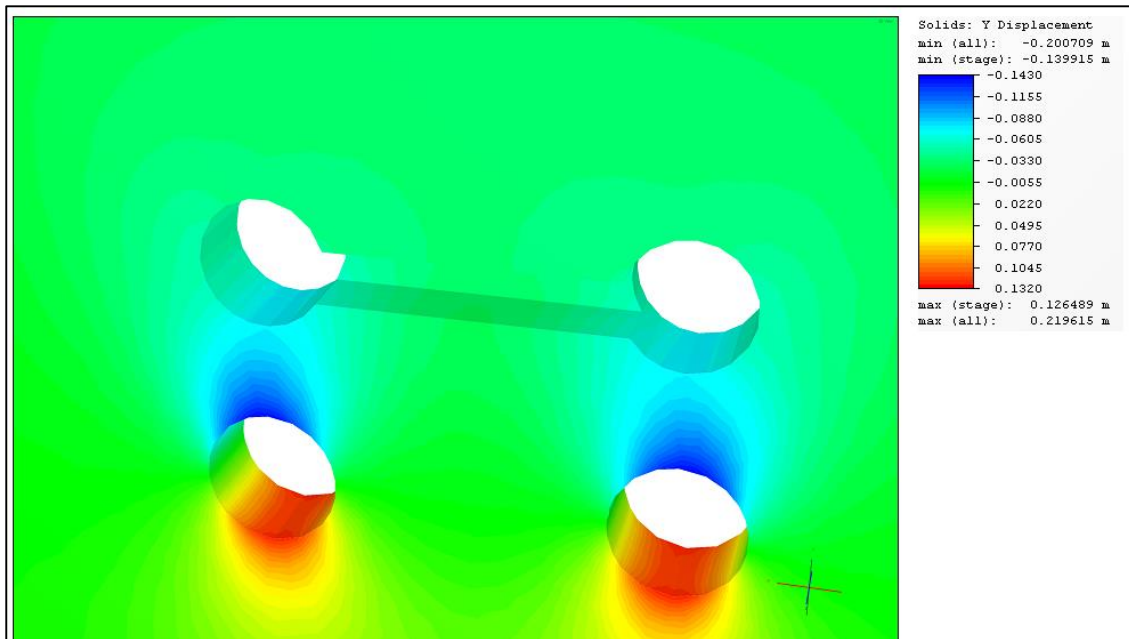
	<i>Αριστερός Κλάδος</i>	<i>Δεξιός Κλάδος</i>
ΦΑΣΗ I	v	y
ΦΑΣΗ II	$v+8$	$y+8$
ΦΑΣΗ III	$v+16$	$y+16$
ΦΑΣΗ IV	$v+24$	$y+24$
ΦΑΣΗ V	$v+32$	$y+32$
ΦΑΣΗ VI	$v+40$	$y+40$
ΦΑΣΗ VII	$v+48$	$y+48$

Πίνακας 7.4 (Στάδια Ανάλυσης)

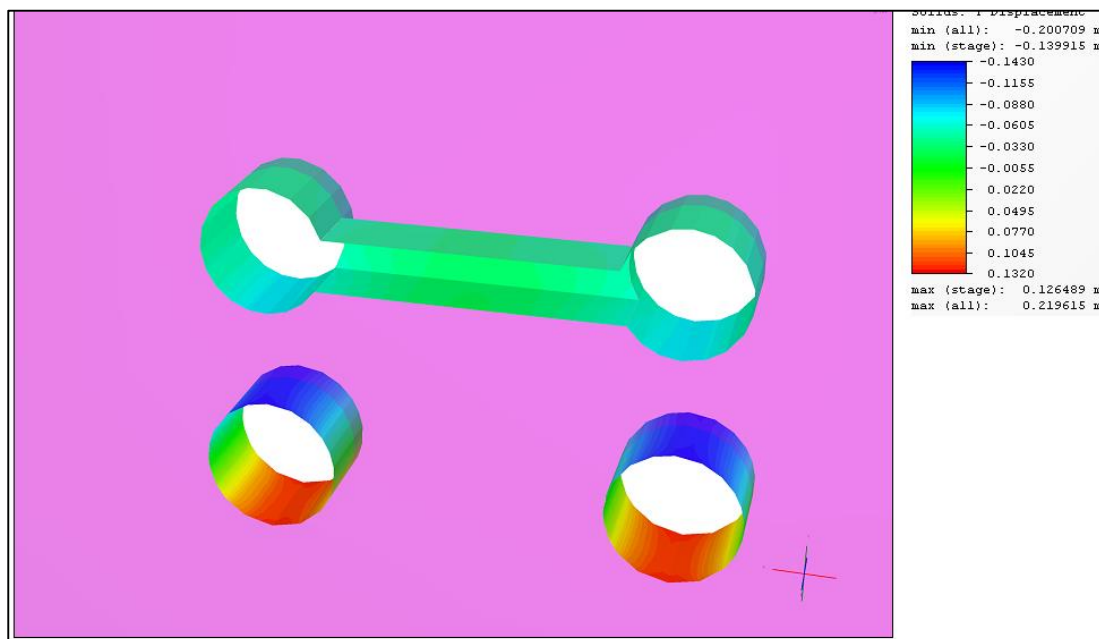
Τα αποτελέσματα των ορθών τάσεων (σ_1) και των ολικών μετακινήσεων (total displacements), παρατίθενται στο Παράρτημα Γ (Εικόνες 7.7.3, 7.7.4).

7.7.1. Αποτελέσματα (Κατακόρυφες Μετακινήσεις)

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε και θεωρώντας ότι οι μετακινήσεις ξεκινάνε αμέσως μετά το στάδιο κατασκευής των οδικών σηράγγων, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα (Σχήμα 7.7.1a,b):



Εικόνα 7.7.1a (Κατανομή Κατακόρυφων Μετακινήσεων)



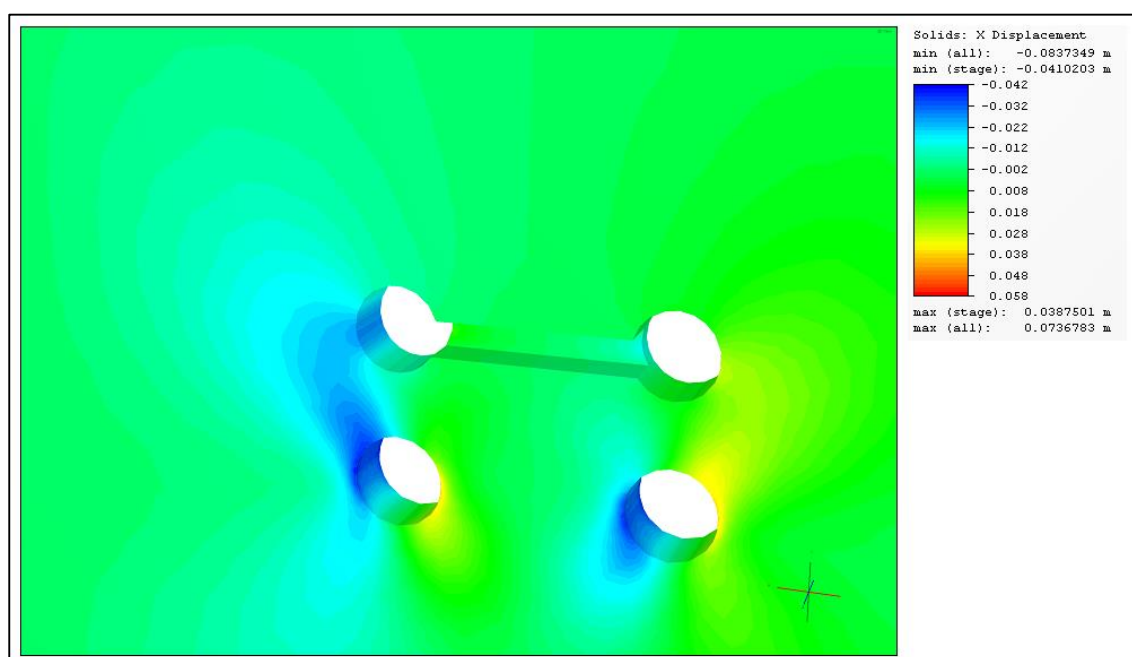
Εικόνα 7.7.1b (Κατανομή Κατακόρυφων Μετακινήσεων- 3D)

Από την παραπάνω αποτελέσματα της ανάλυσης (Εικόνες 7.7.1a,b), παρατηρούμε ότι η κατασκευή των σιδηροδρομικών σηράγγων, έχει άμεση επίδραση στις οδικές σήραγγες και των συνδετήριο διάδρομο. Συγκεκριμένα παρατηρείται καθίζηση στον πυθμένα των οδικών σηράγγων, της τάξης των 2,5cm η οποία συνεχίζεται και στο δάπεδο του συνδετηρίου διαδρόμου και φτάνει στο κέντρο το 1,5 cm. Παρόμοια σύγκλιση παρατηρείται και στην οροφή του συνδετηρίου διαδρόμου, διότι λειτουργεί ο διάδρομος ως ενιαίο στοιχείο. Στις σιδηροδρομικές σήραγγες παρατηρείται σύγκλιση της τάξης των 90mm, ενώ ο πυθμένας τους ανυψώνεται κατά 100mm.

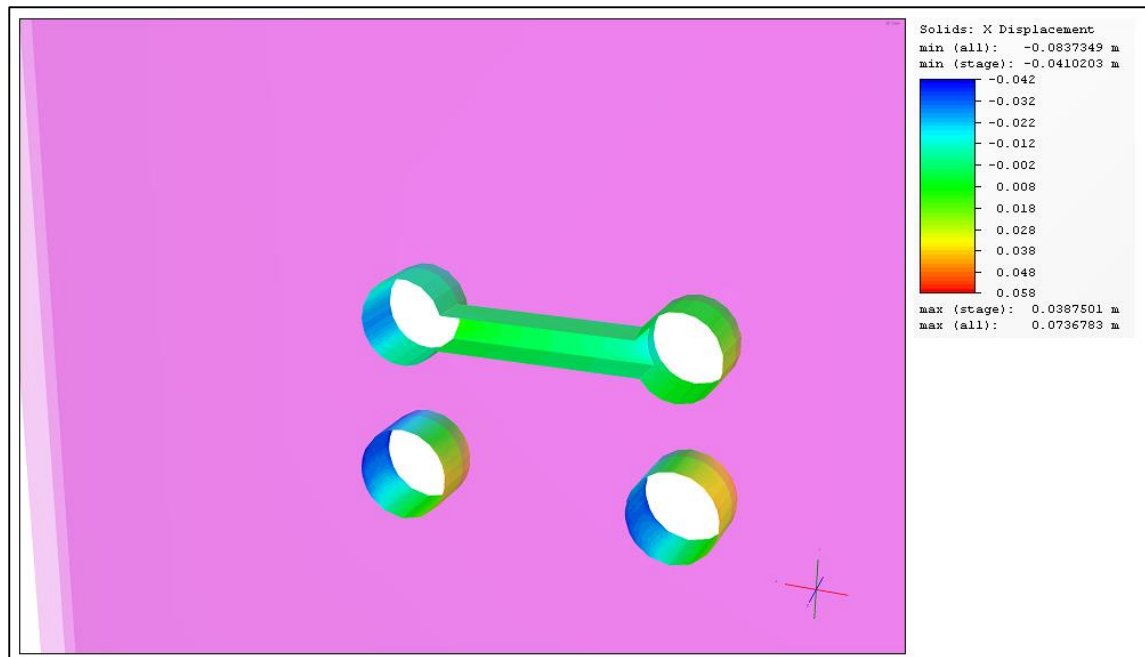
Οι μετακινήσεις αυτές στις οδικές σήραγγες είναι ανεκτές σύμφωνα με την Αττικό Μετρό (βλέπε Πίνακα 6.5.1).

7.7.2. Αποτελέσματα (Οριζόντιες Μετακινήσεις)

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε και θεωρώντας ότι οι μετακινήσεις ξεκινάνε αμέσως μετά το στάδιο κατασκευής των οδικών σηράγγων, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα (Σχήμα 7.7.2a,b):



Εικόνα 7.7.2a (Κατανομή Οριζόντιων Μετακινήσεων)



Εικόνα 7.7.2b (Κατανομή Οριζόντιων Μετακινήσεων- 3D)

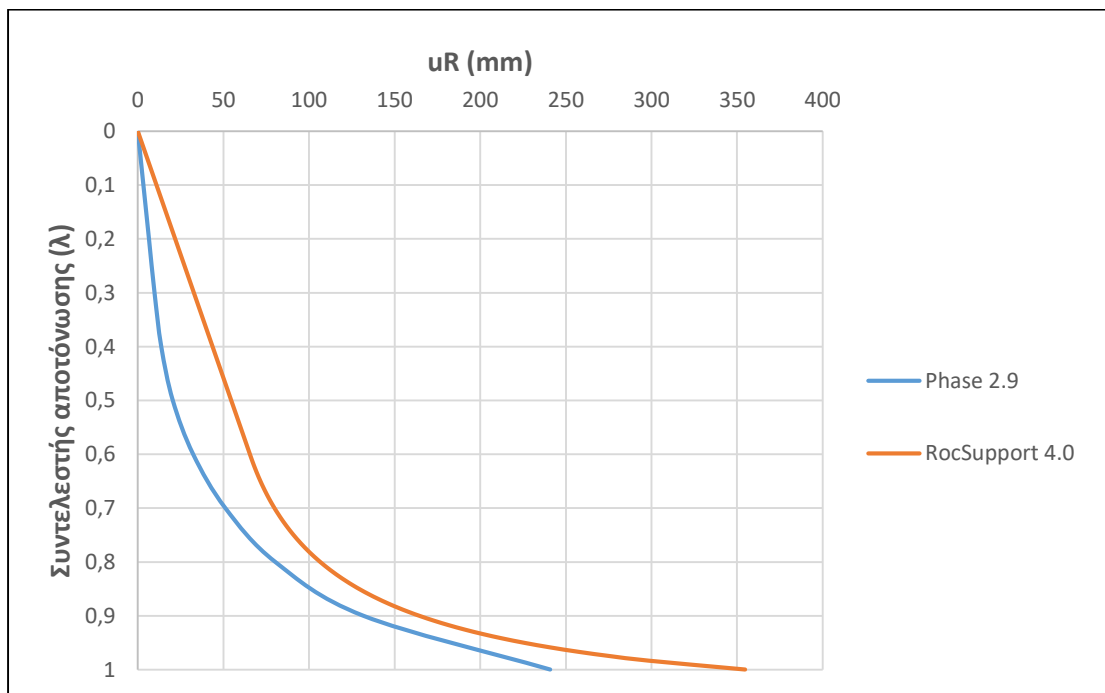
Από τα παραπάνω αποτελέσματα (Εικόνες 7.7.2a,b), παρατηρούμε στον αριστερό κλάδο που εκσκάπτεσαι πρώτος, "άνοιγμα" στο αριστερό άνω τμήμα κατά 40mm και σύγκλιση του αντιδιαμετρικού κάτω δεξιού τμήματος κατά 40mm. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι καθώς εκσκάπτεται η σιδηροδρομική σήραγγα, η οδική σήραγγας έχει τη τάση να "πιέζει" την σιδηροδρομική σήραγγα και συμπεριφέρεται ανάλογα. Στον δεξιό κλάδο παρατηρείται σύγκλιση της άνω δεξιά παρειάς και "άνοιγμα" της κάτω αριστερής. Εδώ συμβαίνει το αντίθετο με τον αριστερό κλάδο διότι ο κλάδος αυτός εκσκάπτεται μετά τον αριστερό και η βραχόμαζα έχε είδη επηρεαστεί.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται συμπεράσματα, σχετικά με την συμπεριφορά της σιδηροδρομικής σήραγγας κατά την διάνοιξη της και την επίδρασή της στις οδικές σήραγγες. Τα συμπεράσματα αυτά προκύπτουν βάση των αποτελεσμάτων από τις αναλύσεις που έγιναν με τους κώδικες πεπερασμένων στοιχείων.

8.1. Καμπύλη σύγκλισης- αποτόνωσης

Η καμπύλη σύγκλισης- αποτόνωσης της βραχόμαζας στην υπό εξέταση περιοχή, υπολογίστηκε πρώτα θεωρητικά με το πρόγραμμα RocSupport 4.0, και στη συνέχεια η πραγματική βάση του προγράμματος διδιάστατων αναλύσεων Phase 2.9 Τα αποτελέσματα παρατίθενται στο Διάγραμμα 8.1.



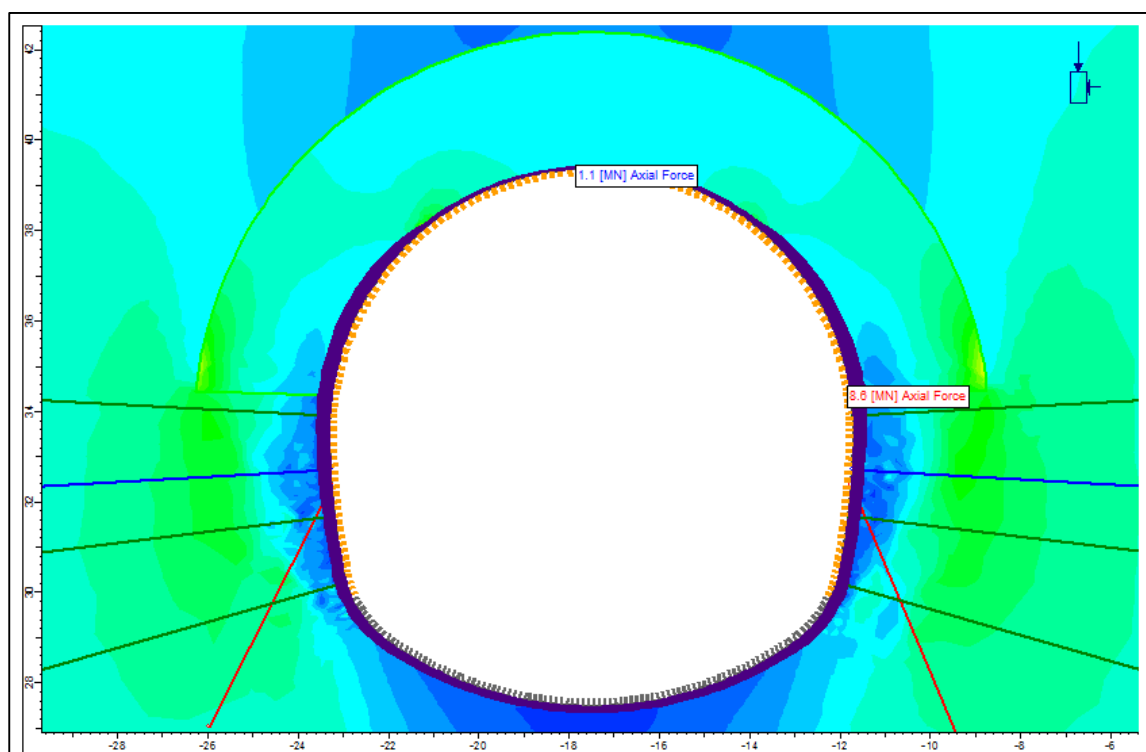
Διάγραμμα 8.1 (Καμπύλη Σύγκλισης- Αποτόνωσης)

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε πως η βραχόμαζα συμπεριφέρεται ελαστικά, έως την τιμή αποτόνωσης 40%. Από εκεί και πέρα θα συμπεριφερθεί ελαστοπλαστικά, δημιουργώντας πλαστική ζώνη περιμετρικά της εκσκαφής. Επίσης παρατηρείται ότι οι συγκλίσεις είναι μικρότερες με βάση την ανάλυση με τα πεπερασμένα στοιχεία. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην ανάλυση με τα πεπερασμένα στοιχεία

(Phase 2.9), λαμβάνεται υπόψιν ο συντελεστής πλευρικών ωθήσεων K_o και η μη κυκλική διατομή της σήραγγας, κάτι που δεν μπορούμε να λάβουμε υπόψιν στην ανάλυση με το λογισμικό RocSupport 4.0.

8.2. Αξονικές δυνάμεις υποστήριξης

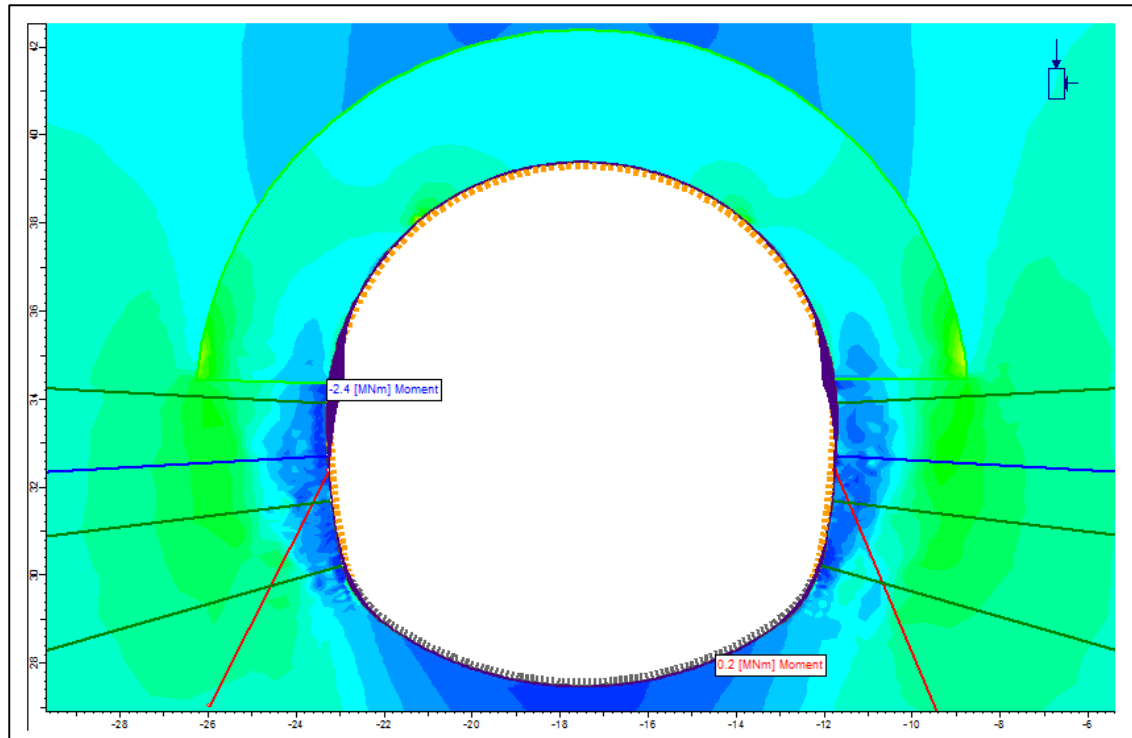
Η κατανομή των αξονικών δυνάμεων στην υποστήριξη των σιδηροδρομικών σηράγγων, λαμβάνοντας υπόψιν και την επίδραση των οδικών σηράγγων, παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.1.



Σχήμα 8.1 (Αξονικές Δυνάμεις Υποστήριξης)

8.3. Ροπές κάμψης υποστήριξης

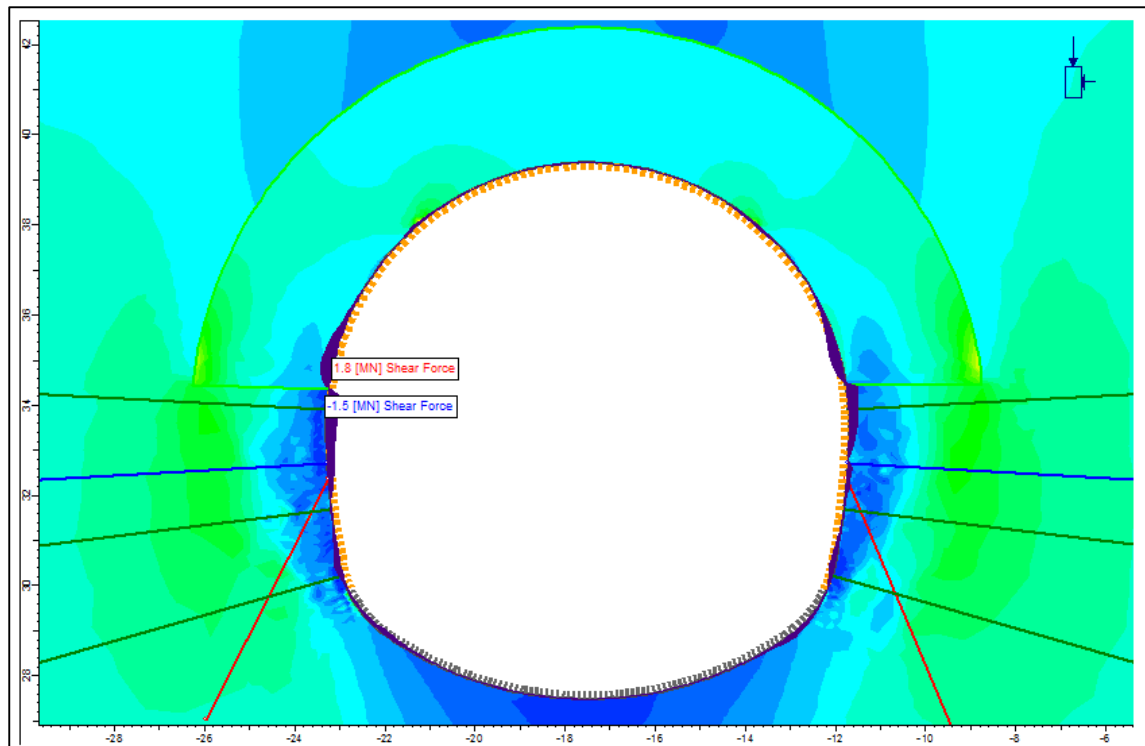
Η κατανομή των ροπών κάμψης στην υποστήριξη των σιδηροδρομικών σηράγγων, λαμβάνοντας υπόψιν και την επίδραση των οδικών σηράγγων, παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.2.



Σχήμα 8.2 (Ροπές Κάμψης Υποστήριξης)

8.4. Τέμνουσες δυνάμεις υποστήριξης

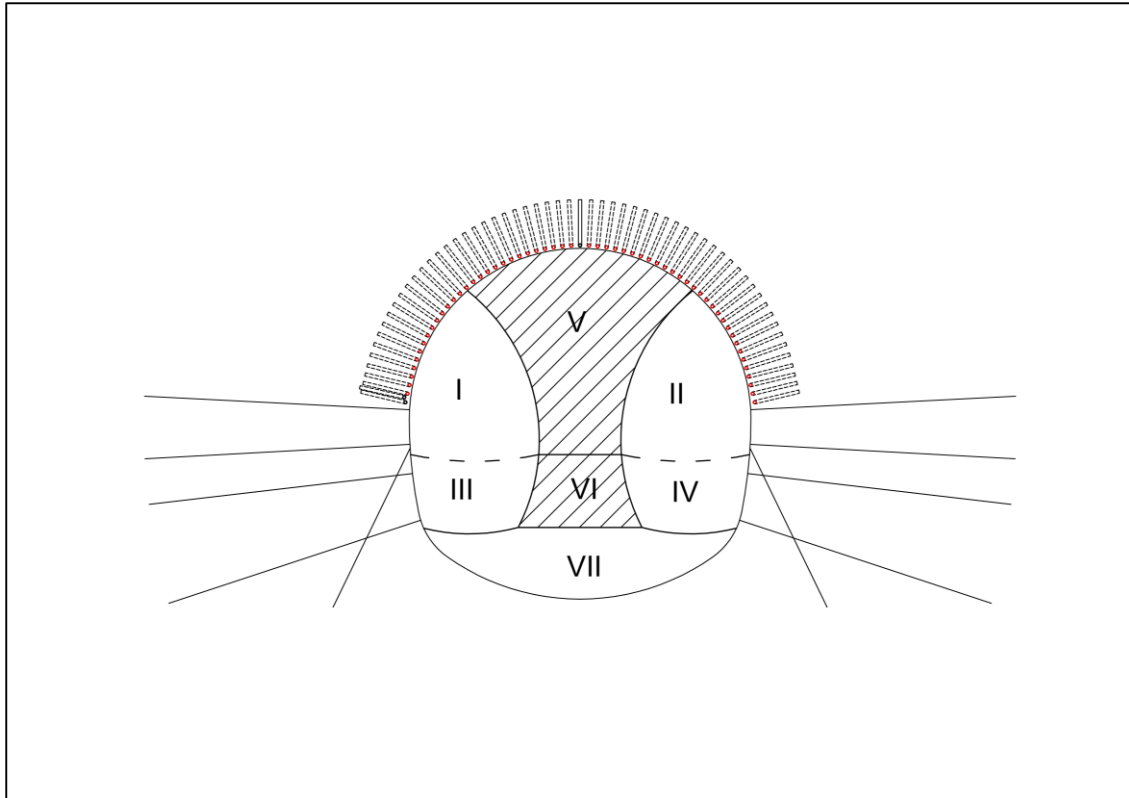
Η κατανομή των τεμνουσών δυνάμεων στην υποστήριξη των σιδηροδρομικών σηράγγων, λαμβάνοντας υπόψιν και την επίδραση των οδικών σηράγγων, παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.3.



Σχήμα 8.3 (Τέμνουσες Δυνάμεις Υποστήριξης)

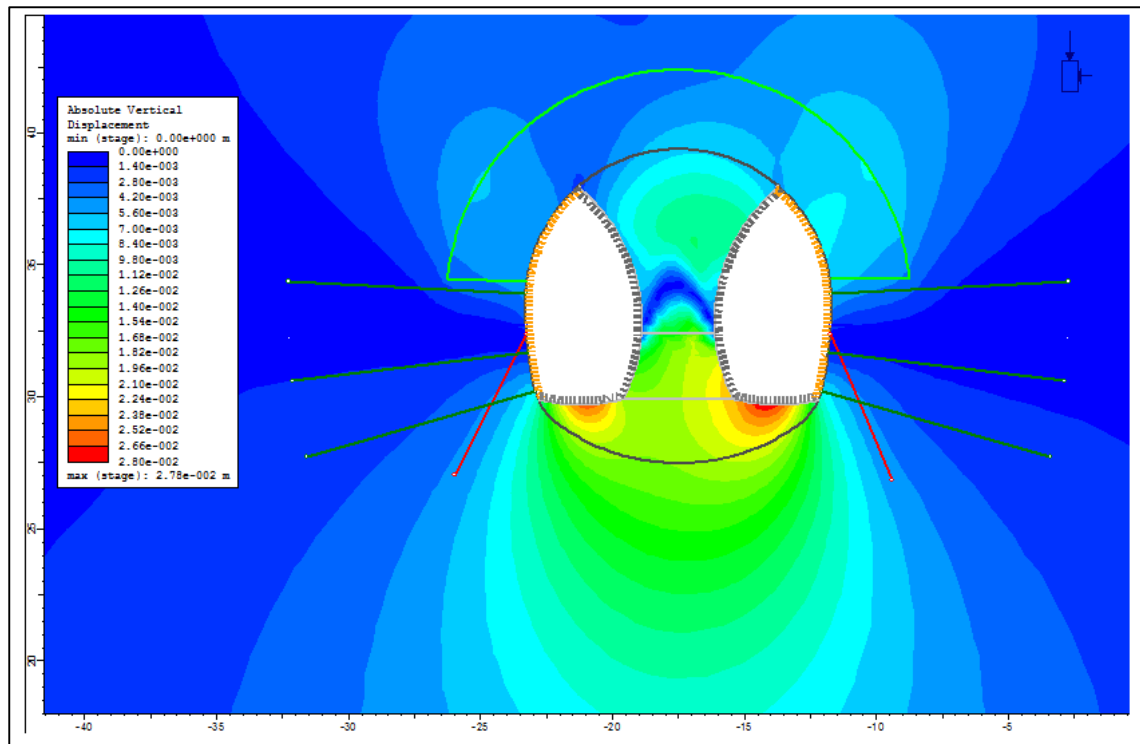
8.5. Επίδραση κεντρικού πυλώνα εκσκαφής

Η διάνοιξη των σιδηροδρομικών σηράγγων, στη περιοχή αλληλεπίδρασης με τις οδικές σήραγγες, πραγματοποιείται με την μέθοδο N.A.T.M, με εκσκαφή με πλευρικές στοές. Αρχικά εκσκάπτονται οι πλευρικές στοές (Φάσεις I,II,III,IV) και έπεται η εκσκαφή του κεντρικού πυλώνα (Φάση V) (Σχήμα 8.4).

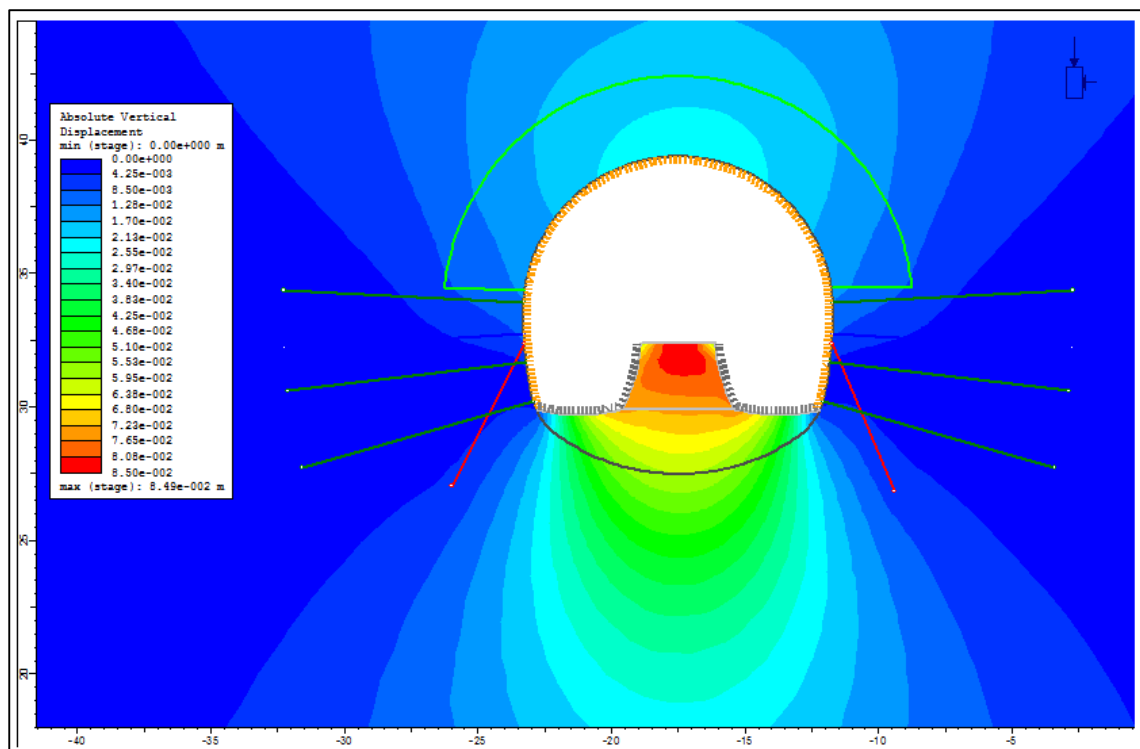


Σχήμα 8.4 (Κεντρικός Πυλώνας Εκσκαφής)

Από τις διδιάστατες αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, παρατηρήθηκε ότι κατά την εκσκαφή του κεντρικού πυλώνα (Φάση V), πραγματοποιούνται και οι μεγαλύτερες μετακινήσεις στην υπό κατασκευή σήραγγα (Εικόνα 8.1,8.2).



Εικόνα 8.1 (Κατανομή Κατακόρυφων Μετακινήσεων πριν την Καθαίρεση του Κεντρικού Πυλώνα)

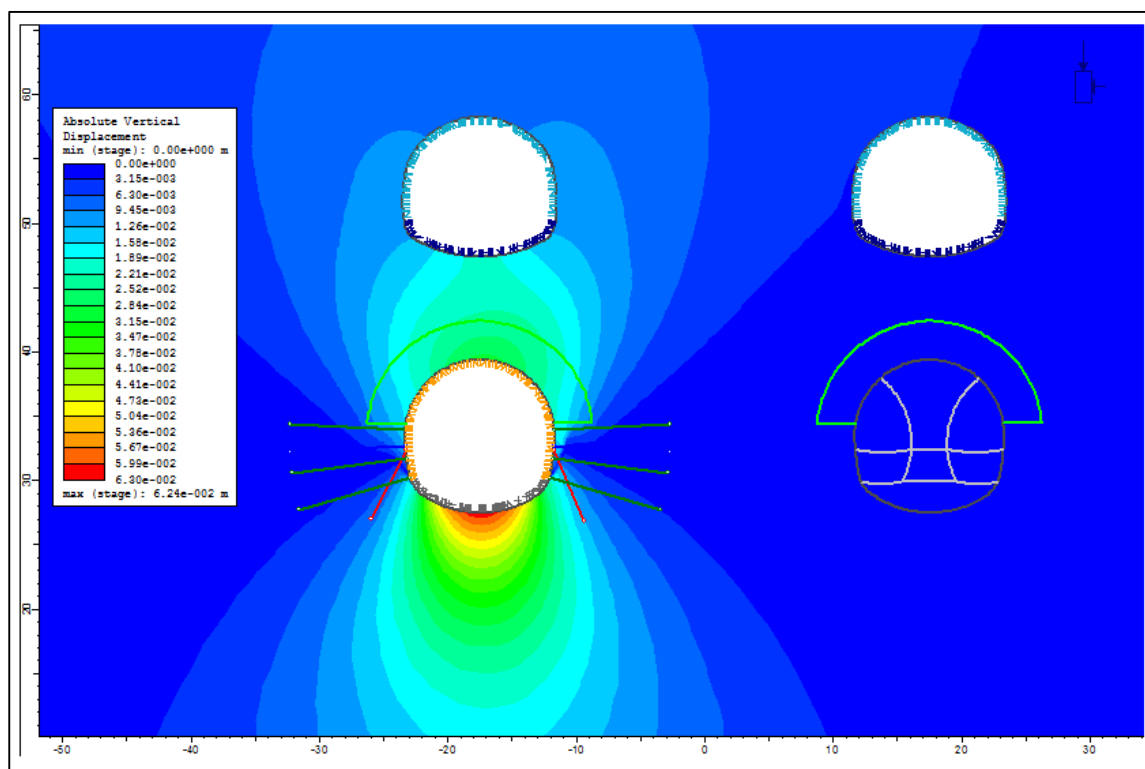


Εικόνα 8.2 (Κατανομή Κατακόρυφων Μετακινήσεων μετά την Καθαίρεση του Κεντρικού Πυλώνα)

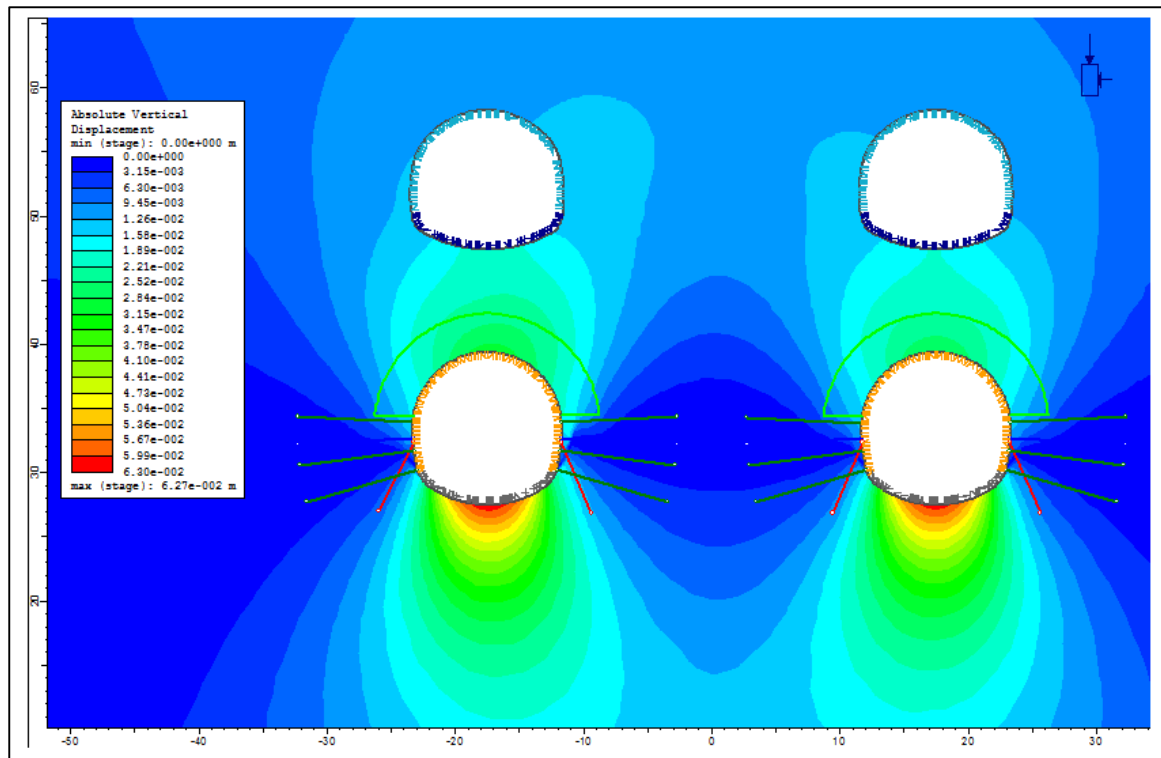
Στην Εικόνα 8.1, παρατηρούμε ότι οι κατακόρυφες μετακινήσεις στην οροφή των δυο πλευρικών στοών δεν ξεπερνούν τα 7mm. Αντίθετα στην Εικόνα 8.2, όπου έχει γίνει εκσκαφή του κεντρικού πυλώνα, παρατηρούμε ότι οι μετακινήσεις στην οροφή της σήραγγας είναι της τάξης των 25mm. Αυτό επιβεβαιώνει την αποτελεσματικότητα της μεθόδου των πλευρικών στοών, για ελεγχόμενη διάνοιξη της σήραγγας, και περιορισμό στις μετακινήσεις.

8.6. Αλληλεπίδραση κλάδων

Από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, παρατηρήθηκε ότι η διάνοιξη κάθε κλάδου των σιδηροδρομικών σηράγγων, δεν επηρεάζει την διάνοιξη του άλλου κλάδου της σήραγγας, ούτε προκαλεί επιπλέον μετακινήσεις στις οδικές σήραγγες (Εικόνες 8.3, 8.4).



Εικόνα 8.3 (Αλληλεπίδραση Σηράγγων- Μετακινήσεις)



Εικόνα 8.4 (Αλληλεπίδραση Σηράγγων- Μετακινήσεις)

Κατά την διάνοιξη του αριστερού κλάδου της σιδηροδρομικής σήραγγας (Εικόνα 8.3), παρατηρούμε ότι οι κατακόρυφες μετακινήσεις στην οροφή της είναι της τάξης των 30mm, ενώ στον αριστερό κλάδο των οδικών σηράγγων προκαλείται καθίζηση της τάξης των 2cm. Στη φάση αυτή, ο δεξιός κλάδος των οδικών σηράγγων έχει επηρεαστεί με μετακίνηση της τάξης των 3mm.

Όταν εκσκάπτεται και ο δεύτερος κλάδος των σιδηροδρομικών σηράγγων (Εικόνα 8.4), παρατηρείται πάλι στη οροφή κατακόρυφη μετακίνηση της τάξης των 30mm, ενώ στον δεξιό κλάδο των οδικών σηράγγων προκαλείται καθίζηση της τάξης των 2cm. Μετά και την εκσκαφή των δύο κλάδων των σιδηροδρομικών σηράγγων, οι κατακόρυφες μετακινήσεις στο δάπεδο των οδικών σηράγγων παράμειναν στα 2cm, ενώ στον αριστερό κλάδο των οδικών σηράγγων, δεν παρατηρήθηκε κάποια μεταβολή.

8.7. Επίδραση γεωμετρίας εκσκαφής

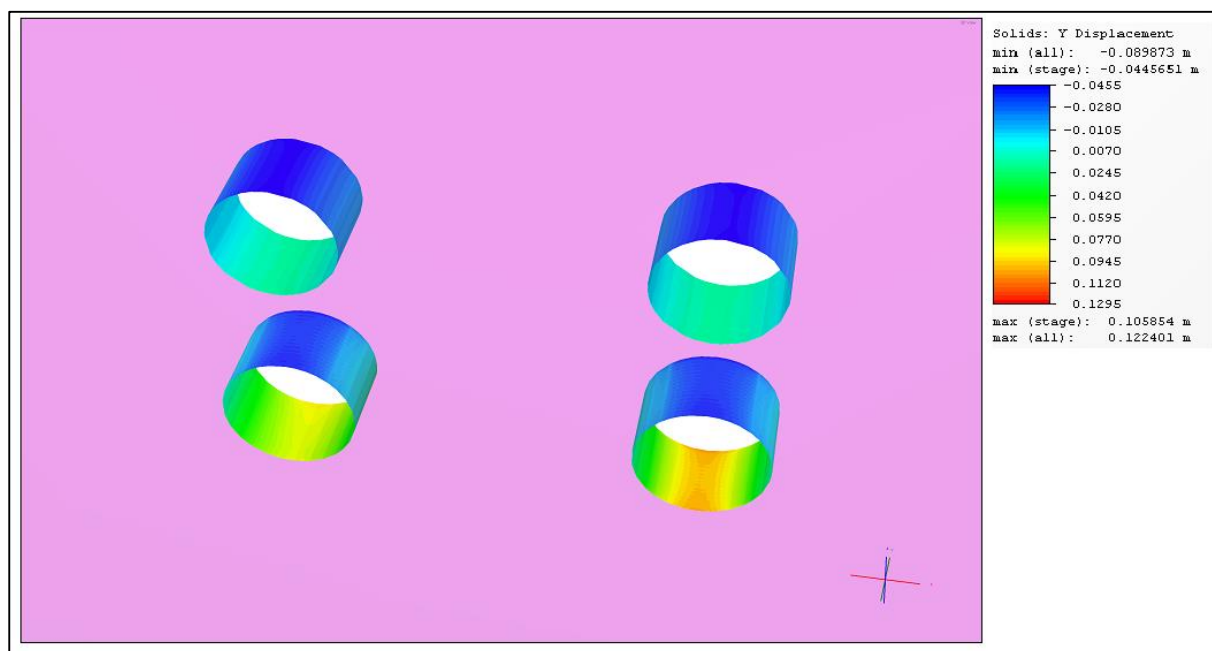
Στις αναλύσεις που έγιναν και κυρίως στις τριδιάστατες αναλύσεις, που επιτράπηκε η προσομοίωση σύνθετης γεωμετρίας εκσκαφής, έγινε αντιληπτό ότι καθώς μεταβάλλεται η γεωμετρία-θέση των σιδηροδρομικών σηράγγων στο χώρο σε σχέση με τις οδικές σήραγγες, υπάρχει διαφορετικός τρόπος αλληλεπίδρασης και σε διαφορετικό βαθμό κάθε φορά, στις οδικές σήραγγες. Εδώ θα γίνει σχολιασμός των

συμπερασμάτων, εξετάζοντας κάθε φορά την γεωμετρία των οδικών σηράγγων, ως προς τις σιδηροδρομικές σήραγγες.

- **Παράλληλη διέλευση**

Παρατηρήθηκε ότι αποτελεί την πιο δυσμενή περίπτωση διέλευση των οδικών σηράγγων σε σχέση με τις σιδηροδρομικές σήραγγες, διότι τόσο οι οδικές όσο και οι σιδηροδρομικές σήραγγες, απέχουν αξονική απόσταση 35m. Το πλάτος των οδικών σηράγγων είναι λίγο μεγαλύτερο από των σιδηροδρομικών. Όλοι αυτοί οι λόγοι οδηγούν στο συμπέρασμα πως αυτή η περίπτωση διέλευσης είναι η πιο δυσμενής, διότι υπάρχει άμεση επίδραση στις οδικές, όταν αυτές απέχουν μόλις 8m από πάνω.

Στην Εικόνα 8.5 αυτό γίνεται φανερό.

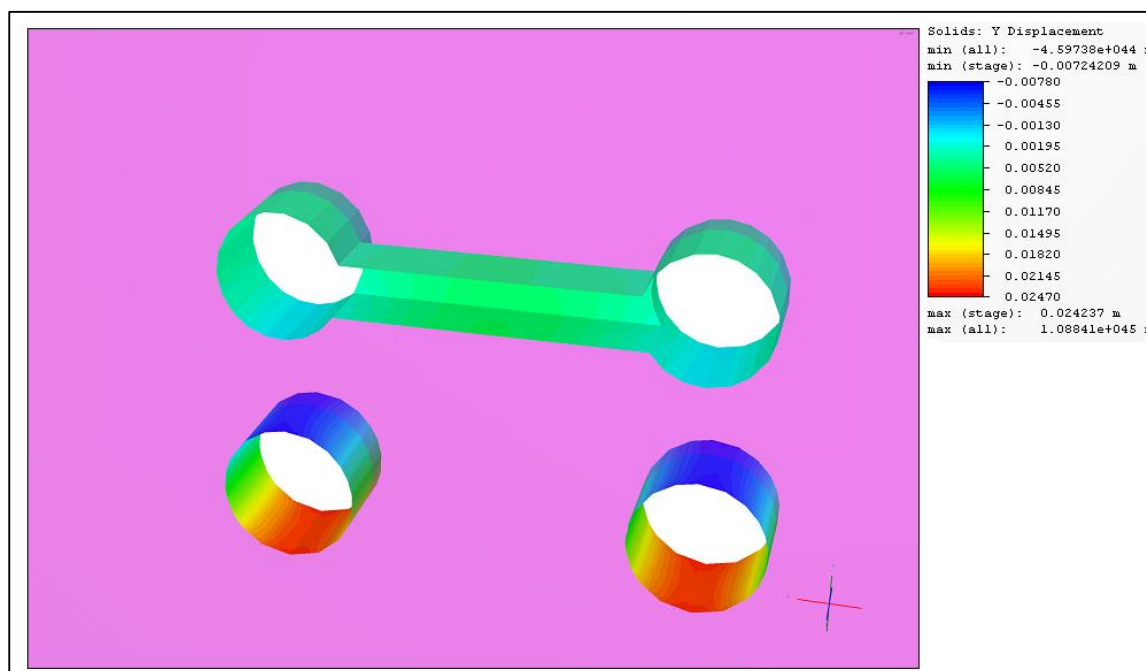


Εικόνα 8.5 (Κατανομή Κατακόρυφων Μετακινήσεων- Παράλληλη Διέλευση)

Παρατηρούμε πως οι οδικές σήραγγες έχουν επηρεαστεί έντονα από την διάνοιξη των υποκείμενων σιδηροδρομικών, διότι ο πυθμένας τους παρουσιάζει ανύψωση της τάξης των 2cm. Αυτό έχει αντίκτυπο και τις σιδηροδρομικές σήραγγες που παρουσιάζουν σύγκλιση στην οροφή της τάξης των 45mm.

- **Συνδετήριο Διαδρόμος**

Αποτελεί μια ανάλυση που συνδυάζει τόσο την συμπεριφορά της οριζόντιας διέλευσης στην περιοχή των οδικών σηράγγων, όσο και της κάθετης διέλευσης στην περιοχή του συνδετηρίου διαδρόμου. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης, παρουσιάζονται στη Εικόνα 8.7.



Εικόνα 8.7 (Κατανομή Κατακόρυφων Μετακινήσεων- Συνδετήριο Διαδρόμος)

Παρατηρούμε πως προκαλείται καθίζηση στον πυθμένα των οδικών σηράγγων κατά 2cm, όπως και στη οροφή τους. Η καθίζηση αυτή συνεχίζει να επεκτείνεται κατά μήκος του συνδετηρίου διαδρόμου, όπου καθώς κινούμαστε προς το κέντρο του η καθίζηση, μετατρέπεται σε ανύψωση του πυθμένα που φτάνει τα 2,5cm. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο κέντρο μεταξύ των δύο κλάδων αναπτύσσονται όλες οι τάσεις, που οδηγούν στην ανύψωση του διαδρόμου.

Από τις παραπάνω παραδοχές που κάναμε για την γεωμετρία της εκσκαφής, κάθε έργου, μπορούμε να συμπεράνουμε, πως στο πραγματικό πρόβλημα, με γωνία μεταξύ των αξόνων των δύο έργων τις 21°, οι μετακινήσεις που θα προκληθούν θα είναι ελάχιστα μικρότερες από αυτές της παράλληλης διέλευσης.

8.8. Προσομοίωση δοκών προπορείας

Γίνεται μνεία στην προσομοίωση των δοκών προπορείας και κυρίως στην τριδιάστατη ανάλυση, διότι έχουν άμεση επίδραση στα αποτελέσματα των αναλύσεων. Στις διδιάστατες αναλύσεις, παρατηρήσαμε ότι στις οδικές σήραγγες ο πυθμένας τους παρουσιάζει καθίζηση της τάξης των 2cm όταν εκσκάπτονται οι σιδηροδρομικές σήραγγες (βλέπε Εικόνα 8.4). Αντίθετα στις τριδιάστατες αναλύσεις, παρατηρήσαμε πάλι μετακίνηση του πυθμένα των οδικών σηράγγων κατά 2cm, αλλά αυτή την φορά ως ανύψωση (βλέπε Εικόνα 8.5). Αυτή διαφοροποίηση προκάλεσε προβληματισμό στον τρόπο συμπεριφοράς της σήραγγας και τελικά οδήγησε σε περαιτέρω αναλύσεις για να διευκρινιστεί αυτή η διαφοροποίηση.

Διαπιστώθηκε λοιπόν πως αυτό προκύπτει λόγω της προσομοίωσης των δοκών προπορείας. Θεωρούνται ως μια ενισχυμένη ζώνη βραχόμαζας άκαμπτη, όπου κατά την διάνοιξη των σιδηροδρομικών σηράγγων, οι οδικές σήραγγες τείνουν να κινηθούν προς τα κάτω (καθίζηση). Όμως το έδαφος μεταξύ του πυθμένα της οδικής και της οροφής της σιδηροδρομικής σήραγγας συμπυκνώνεται και συγκρατείται από τις άκαμπτες δοκούς προπορείας, που έχει ως αποτέλεσμα την πλευρική καθίζηση της οδικής σήραγγας μαζί με την οροφή, όπου όμως δεν επιτρέπουν οι δοκοί προπορείας περαιτέρω καθίζηση του δαπέδου της οδικής σήραγγας και τελικά αυτό ανυψώνεται (Σχήμα 8.5).



Σχήμα 8.5 (Κατανομή Μετακινήσεων στις Οδικές Σήραγγες)

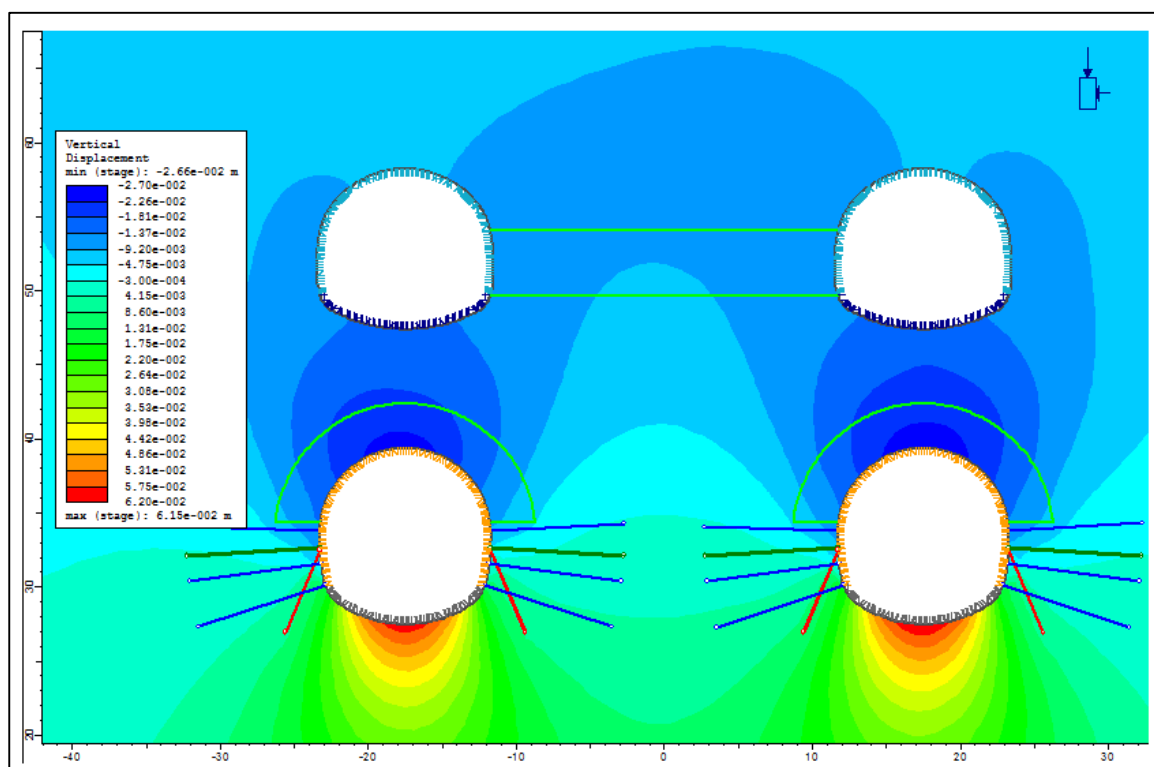
Στην πραγματικότητα δεν θα εμφανιστεί ανύψωση, αλλά καθίζηση, διότι οι δοκοί προπορείας δεν είναι τόσο άκαμπτες ώστε να συγκρατήσουν όλη αυτή την καθίζηση.

Επίσης διαπιστώθηκε καθίζηση στον πυθμένα των οδικών σηράγγων στην τριδιάστατη ανάλυση του συνδετήριου διαδρόμου (crosspassage), έναντι των άλλων αναλύσεων. Αυτό πιθανώς οφείλεται στον κώδικα των πεπερασμένων στοιχείων διότι έλαβε υπόψιν πρώτα μια περιοχή βραχόμαζας της τάξης των 2,5m, κάτι που δεν συμβαίνει στις υπόλοιπες αναλύσεις.

8.9. Σύγκριση αποτελεσμάτων 2D και 3D

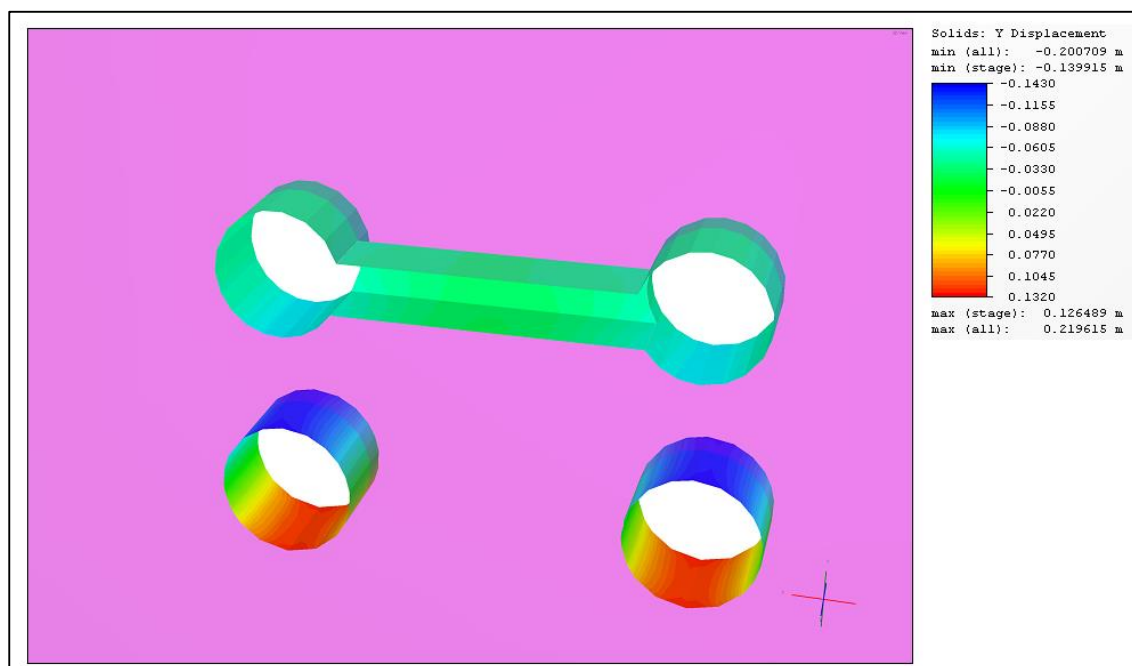
Από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, δεν προέκυψαν σημαντικές διαφορές στα αποτελέσματα μεταξύ των διδιάστατων αναλύσεων και των αντίστοιχων τριδιάστατων, εκτός από την ανύψωση του πυθμένα που επεξηγείται στη ενότητα 8.8. Οι διαφορές που πιθανώς θα προέκυπταν ήταν στις διδιάστατες αναλύσεις, διότι δεν μπορεί να προσομοιωθεί η τρίτη διάσταση και χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής αποτόνωσης, που όπως αποδεικνύεται από τα αποτελέσματα που προέκυψαν, εκτιμήθηκε σωστά.

Οι μόνες διαφορές εντοπίστηκαν στην προσομοίωση του συνδετήριου διαδρόμου στην διδιάστατη ανάλυση, που αποτελεί πρόβλημα για τριδιάστατη ανάλυση. Στην διδιάστατη ανάλυση προέκυψε ότι στα άκρα του συνδετήριου διαδρόμου θα προκληθεί καθίζηση της τάξης του 1cm και στο κέντρο της τάξης των 8,5m (Εικόνα 8.8).



Εικόνα 8.8 (Κατακόρυφες Μετακινήσεις- 2D Ανάλυση)

Αντίθετα στα αποτελέσματα της τριδιάστατης ανάλυσης προέκυψε ότι στα άκρα του συνδετήριου διαδρόμου θα προκληθεί καθίζηση της τάξης των 2cm, ενώ στο κέντρο του ανύψωση της τάξης των 2,5cm (Εικόνα 8.9).



Εικόνα 8.9 (Κατακόρυφες Μετακινήσεις- 3D Ανάλυση)

8.10. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώθηκε στην αλληλεπίδραση που έχει η κατασκευή των σιδηροδρομικών σηράγγων Παναγοπούλας, στις οδικές σήραγγες Παναγοπούλας. Όλες οι αναλύσεις και οι υπολογισμοί βασίστηκαν στις αντίστοιχες μελέτες που έγιναν και προτάθηκαν για την υλοποίηση του έργου.

Με βάση τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν και τα συμπεράσματα που προέκυψαν, προκύπτουν οι παρακάτω προτάσεις για μελλοντική έρευνα:

- Ανάλυση της αλληλεπίδρασης μεταξύ σιδηροδρομικού και οδικού έργου, με τριδιάστατο κώδικα πεπερασμένων στοιχείων, που θα επιτρέπει την ακριβή απεικόνιση της αλληλεπίδρασης (ταυτόχρονη εισαγωγή συντεταγμένων x,y,z), ώστε να προσομοιωθεί ο άξονας του ενός έργου με τον άξονα του άλλου έργου, υπό γωνία 21°.

- Στις αναλύσεις, να συμπεριληφθούν και τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης των οδικών σηράγγων, με αποτέλεσμα να προκύψουν μικρότερες μετακινήσεις στο οδικό έργο.
- Εξέταση για πιθανή λύση διάνοιξης των σιδηροδρομικών σηράγγων στην περιοχή αλληλεπίδρασης με μέθοδο μηχανικής όρυξης και συγκεκριμένα με την εφαρμογή της μεθόδου πρότμησης, όπου προϋποστήριζεται η εκσκαφή, δημιουργώντας κέλυφος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

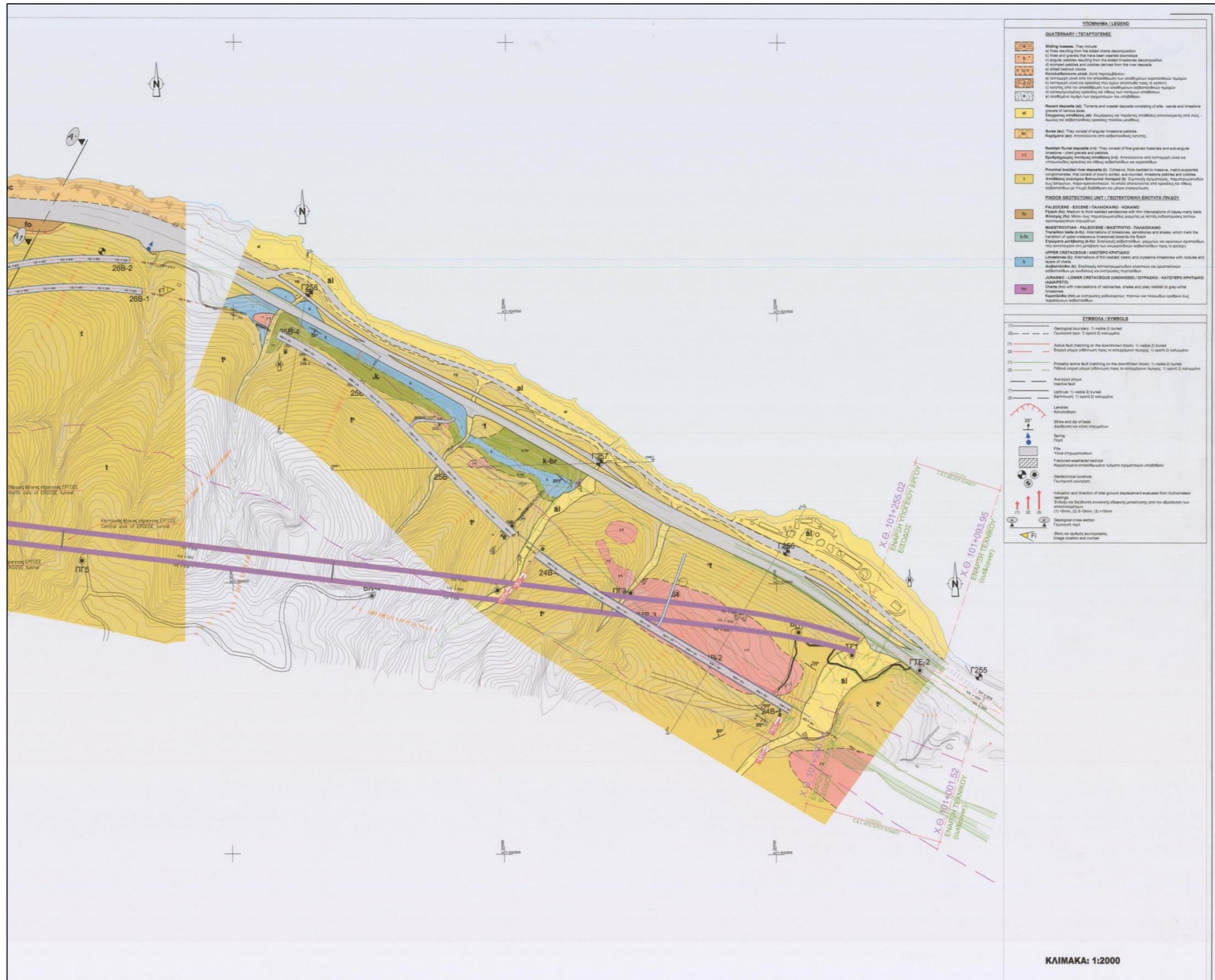
1. Οριστική Γεωλογική Μελέτη Σήραγγας Παναγοπούλας, ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΕΣ, ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΝΕΑ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ ΚΟΡΙΝΘΟΣ- ΠΑΤΡΑ, ΕΡΓΑ ΟΣΕ Α.Ε
2. Έκθεση Συμπληρωματικής Γεωτεχνικής Αξιολόγησης για την Σήραγγα Παναγοπούλας, ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΜΕΤΑΞΥ ΚΟΡΙΝΘΟΥ- ΠΑΤΡΩΝ ΣΤΟ ΤΜΗΜΑ ΑΠΟ ΧΛΜ 91,5 ΕΩΣ ΧΛΜ 113,6 (Σ.Σ. ΡΟΔΟΔΑΦΝΗΣ- Σ.Σ. ΔΡΕΠΑΝΟΥ), ΕΡΓΑ ΟΣΕ Α.Ε
3. Τεχνική Περιγραφή(Α.Δ.579), ΤΕΥΧΟΣ 1 ΑΠΟ 2, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΔΙΠΛΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΣΤΟ ΤΜΗΜΑ ΡΟΔΟΔΑΦΝΗ – ΨΑΘΟΠΥΡΓΟΣ ΑΠΟ Χ.Θ. 91+500 ΕΩΣ Χ.Θ. 113+000 ΚΑΙ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΑΣ, ΕΡΓΑ ΟΣΕ Α.Ε
4. Οριστική Μελέτη Σήραγγας Παναγοπούλας – Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης, ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΜΕΤΑΞΥ ΚΟΡΙΝΘΟΥ- ΠΑΤΡΩΝ ΣΤΟ ΤΜΗΜΑ ΑΠΟ ΧΛΜ 91,5 ΕΩΣ ΧΛΜ 113,6 (Σ.Σ. ΡΟΔΟΔΑΦΝΗΣ- Σ.Σ. ΔΡΕΠΑΝΟΥ), ΕΡΓΑ ΟΣΕ Α.Ε, Ν.ΛΟΥΚΑΤΟΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Α.Ε.Μ.-IMM KG- Α.ΓΕΡΓΙΟΥ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Ε.Ε.-TRADEMSCO Α.Ε.-PRESSPALI SpA
5. Οριστική Μελέτη Σήραγγας Παναγοπούλας – Αλληλεπίδραση Οδικής και Σιδηροδρομικής Σήραγγας, ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΜΕΤΑΞΥ ΚΟΡΙΝΘΟΥ- ΠΑΤΡΩΝ ΣΤΟ ΤΜΗΜΑ ΑΠΟ ΧΛΜ 91,5 ΕΩΣ ΧΛΜ 113,6 (Σ.Σ. ΡΟΔΟΔΑΦΝΗΣ- Σ.Σ. ΔΡΕΠΑΝΟΥ), ΕΡΓΑ ΟΣΕ Α.Ε, Ν.ΛΟΥΚΑΤΟΣ &

ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Α.Ε.Μ.-IMM KG- Α.ΓΕΡΓΙΟΥ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ
Ε.Ε.-TRADEMCO Α.Ε.-PRESSPALI SpA

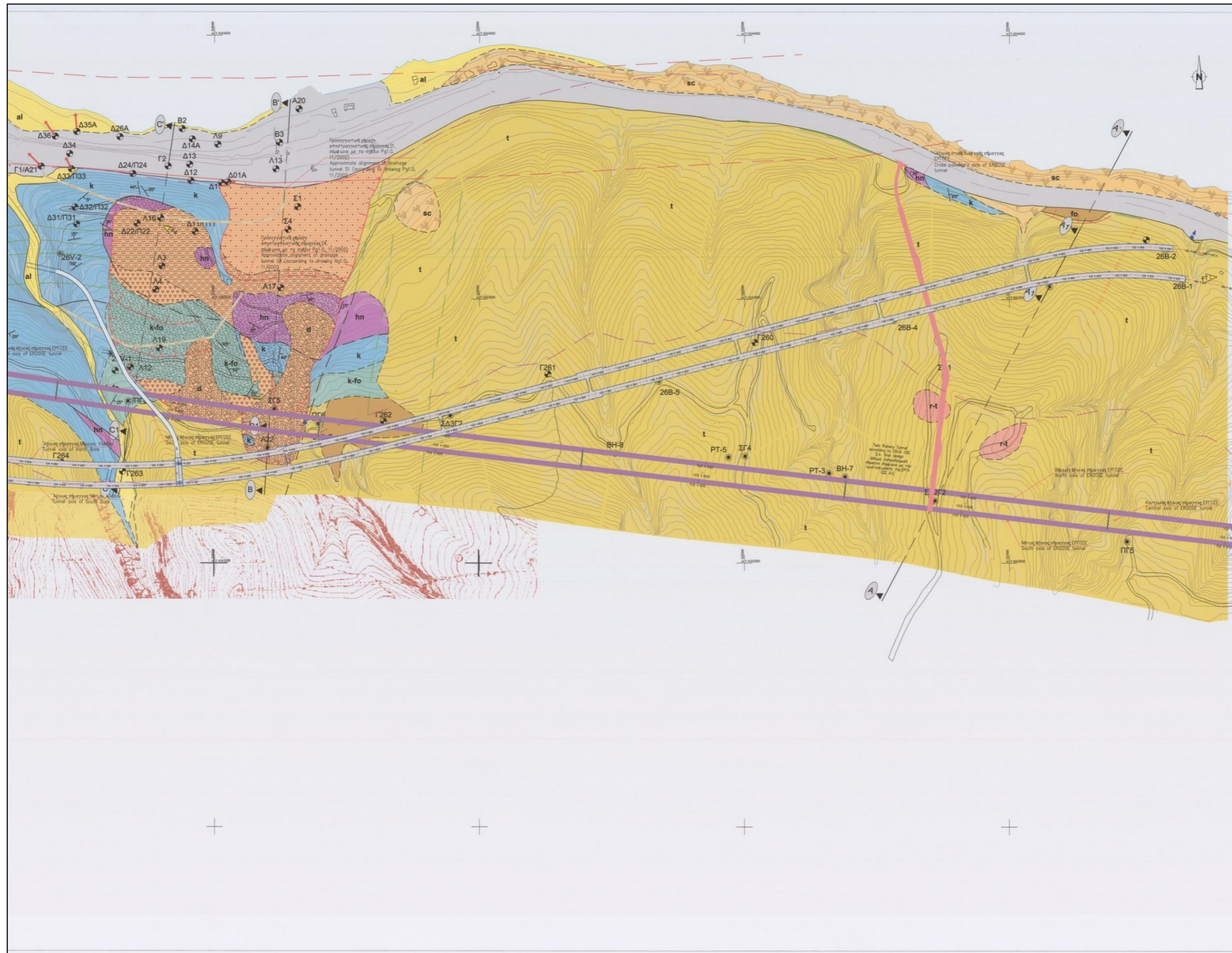
6. Tunnel 26, Final Design, Excavation and Support of the Running Tunnel from the East Portals Up to Ch. 105+850 of the South Bound, Omikron Kappa Consulting, 06/2010
7. Αξιολόγηση Ενεργών Ρηγμάτων σε σχέση με τις Σήραγγες Παναγοπούλας του Αυτοκινητοδρόμου Κορίνθου-Πατρών
8. Κεφάλαιο 5, Διάνοιξη Σηράγγων με την 'Μέθοδο Ν.Α.Τ.Μ.', Μ. ΚΑΒΒΑΔΑΣ, Ε.Μ.Π., 3/5/2004
9. Τεχνικές Διάνοιξης Σηράγγων, Α.Ι. ΣΟΦΙΑΝΟΣ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΕΜΠ
10. Modelling composite sections (e.g., steel sets and shotcrete) with FLAC and Phase 2, CARLOS CARRANZA- TORRES, TURIN, 21 FEBRUARY 2004
11. Tunnel Design and Sensitivity Analysis, P. YIOUTA- MITRA, P.P. NOMIKOS, E. MERTIRI, A.I.
12. Hoek-Brown failure criterion – 2002 Edition, E. Hoek, C. Carranza-Torres and B. Corkum, www.rocscience.com
13. Longitudinal Deformation Profile of a Tunnel driven within a Burger Rock Mass, P. YIOUTA- MITRA, A.I. SOFIANOS, R. RAHMANNEJAD
14. Phase 2.9, RocScience
15. RS3 1.0, RocScience
16. RocSupport 4.0, RocScience

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

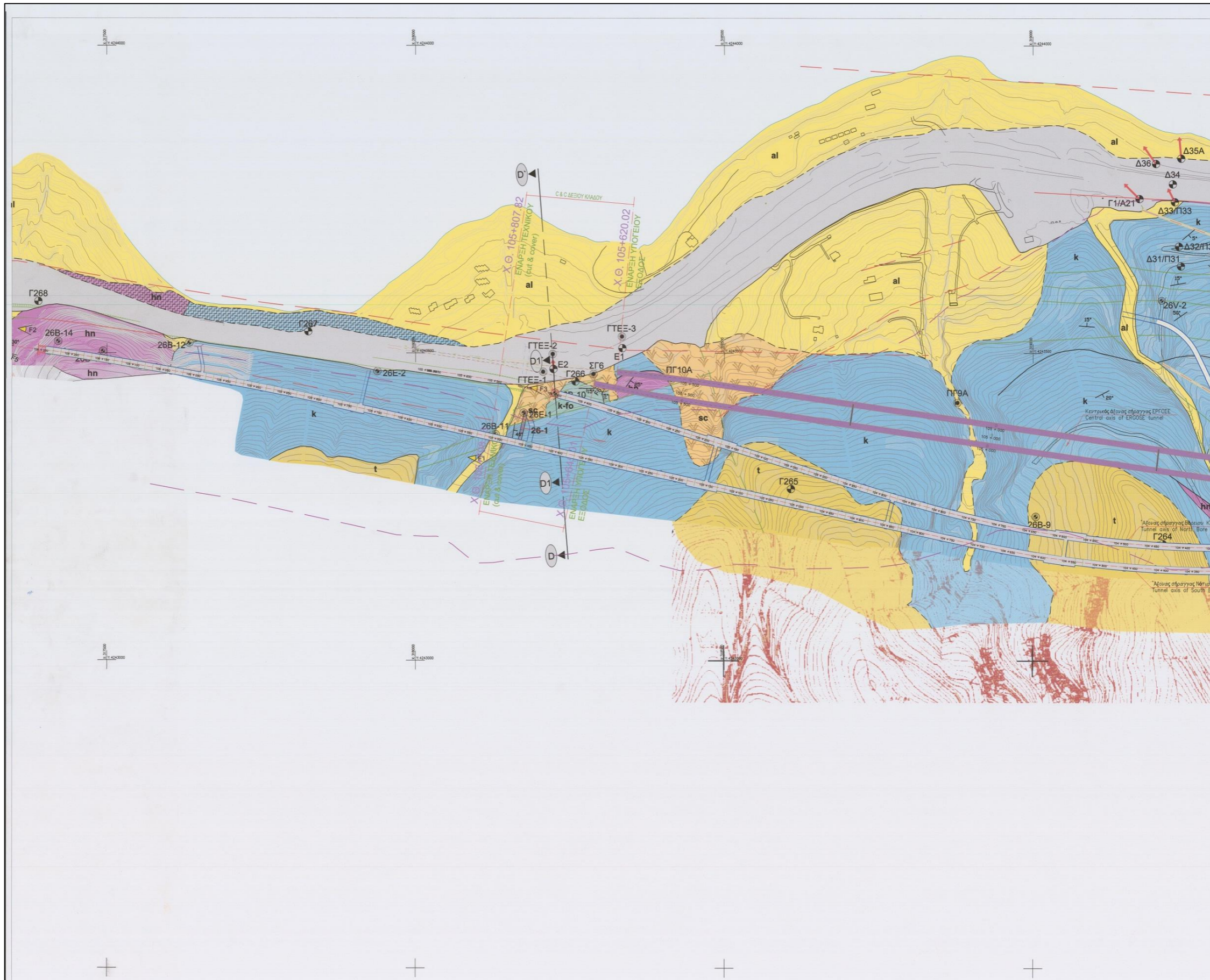
ΧΑΡΤΕΣ- ΣΧΕΔΙΑ



XAPTHE 1.3 (X.Θ. 101+255~ X.Θ. 102+800)



XAPTHE 1.4 (X.Θ. 102+800~ X.Θ. 104+600)



XAPTHE 1.5 (X.Θ. 104+600~ X.Θ. 105+650)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΠΙΝΑΚΕΣ

ΘΕΣΗ	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2	F1	F2
ΣΤΑΔΙΟ	<i>Κατακόρυφες Μετακινήσεις (mm)</i>											
3	0,45	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	1,28	-0,01	0,31	-0,03	0,17	-0,01
4	-0,23	-0,03	0,36	0,04	2,43	0,06	0,71	-0,06	0,09	-0,14	-0,13	-0,12
5	-1,22	0,08	0,67	0,21	4,37	0,21	0,29	0,03	-0,05	-0,10	-0,11	-0,12
6	-2,20	-0,10	-1,36	0,06	7,48	0,10	-0,76	-0,19	-1,20	-0,59	-0,64	-0,63
7	-3,06	0,09	-0,85	0,33	9,74	0,35	-1,09	-0,03	-1,20	-0,47	-0,59	-0,53
8	-25,56	-7,55	-17,96	-8,12	-7,88	-6,72	-21,38	-7,87	-16,49	-10,03	-14,68	-9,31
9	-4,70	0,01	-0,95	0,36	13,47	0,44	-1,98	-0,15	-1,53	-0,66	-0,84	-0,72
10	-27,33	-9,20	-28,02	-9,94	-3,44	-8,15	-22,57	-9,61	-18,97	-12,16	-15,04	-11,10
11	-6,54	-0,23	-4,06	0,23	18,52	0,40	-3,07	-0,47	-2,40	-1,22	-1,20	-1,25
12	15,24	7,83	14,53	9,57	55,36	8,36	16,22	7,61	12,69	8,21	12,07	7,29
13	-25,47	-1,10	-10,97	-0,55	59,36	-0,28	-16,34	-1,48	-9,95	-3,27	-6,70	-3,55
14	-40,26	-8,52	-27,53	-8,90	22,29	-7,26	-30,88	-9,03	-22,40	-12,14	-17,89	-11,47
15	-27,22	-1,24	-13,62	-0,64	63,44	-0,33	-17,97	-1,65	-11,01	-3,62	-7,45	-3,92
16	-71,88	-20,97	-65,11	-22,81	-9,63	-18,91	-61,30	-21,76	-47,04	-27,61	-39,24	-25,55
17	-29,12	-0,60	-15,89	-0,01	61,11	0,09	-19,27	-0,95	-11,52	-2,91	-7,60	-3,41
18	-29,12	-0,14	-15,88	0,06	61,12	0,23	-19,27	0,27	-11,54	-2,63	-7,61	-3,26
19	-29,35	-0,96	-15,99	-0,48	61,10	2,73	-19,50	-0,46	-11,99	-3,47	-8,07	-3,64
20	-29,21	-1,91	-15,74	0,08	61,38	4,75	-19,37	-0,84	-11,90	-3,51	-8,01	-3,59
21	-29,24	-2,95	-15,72	0,35	61,47	7,83	-19,40	-1,86	-11,96	-3,80	-8,08	-4,10
22	-29,14	-3,80	-15,56	0,41	61,61	10,02	-19,30	-2,19	-11,91	-3,92	-8,08	-4,05
23	-38,66	-26,23	-26,02	-26,40	53,15	-7,43	-28,92	-22,47	-23,40	-21,08	-18,53	-18,03
24	-29,61	-5,52	-15,74	-2,47	61,77	13,95	-19,74	-3,12	-12,49	-4,58	-8,61	-4,30
25	-37,23	-28,25	-24,25	-18,74	54,74	-2,78	-27,48	-23,68	-21,84	-19,77	-17,28	-18,49
26	-29,64	-7,42	-15,69	-1,99	61,94	19,09	-19,77	-4,22	-12,54	-4,89	-8,68	-4,67
27	-21,81	14,28	-6,39	15,76	70,01	56,00	-11,81	15,01	-3,32	9,78	-0,30	8,56
28	-30,44	-26,73	-16,60	-9,78	61,03	60,18	-20,71	-17,82	-14,72	-12,99	-11,19	-10,28
29	-38,03	-41,48	-25,07	-26,36	54,09	23,09	-28,36	-32,33	-23,58	-25,41	-19,16	-21,42
30	-30,60	-28,41	-16,70	-12,53	61,00	64,25	-20,87	-19,39	-15,05	-14,02	-11,54	-11,00
31	-50,58	-70,52	-39,04	-59,99	42,65	-9,76	-21,07	-20,49	-16,73	-15,14	-11,02	-11,66
32	-29,76	-27,95	-15,94	-10,84	61,39	60,87	-20,05	-18,63	-14,14	-13,17	-10,76	-10,23

Πίνακας 6.6α (Κατακόρυφες Μετακινήσεις)

ΘΕΣΗ	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2	F1	F2
ΣΤΑΔΙΟ	Οριζόντιες Μετακινήσεις (mm)											
3	-0,01	-0,09	0,07	-0,07	0,00	-0,04	-0,02	-0,09	0,22	-0,08	-0,01	-0,05
4	-0,12	-0,32	-1,22	-0,41	-1,35	-0,36	-0,06	-0,26	0,14	-0,21	0,03	-0,12
5	-0,87	-0,48	-1,64	-0,59	-2,07	-0,52	-0,24	-0,42	-0,15	-0,42	-0,05	-0,25
6	-1,33	-0,71	-3,62	-0,70	-0,58	-0,55	-0,26	-0,77	-0,63	-0,93	-0,16	-0,60
7	-0,48	-0,84	-4,28	-0,89	0,07	-0,74	-0,10	-0,86	-0,67	-1,02	-0,10	-0,64
8	-0,72	-1,25	-5,75	-0,83	-0,46	-0,08	-0,70	-1,92	-2,91	-2,56	-0,16	-1,82
9	-0,80	-1,39	-6,70	-1,68	-2,76	-1,44	-0,20	-1,28	-0,95	-1,37	-0,10	-0,87
10	-0,13	-2,20	-12,61	-1,71	-0,76	-0,61	0,94	-2,96	-2,96	-3,52	0,39	-2,60
11	-0,83	-2,05	-13,33	-2,41	0,24	-1,91	-0,25	-1,93	-1,46	-2,04	-0,23	-1,35
12	-0,98	-3,21	-17,59	-4,53	-1,43	-4,29	-0,64	-2,17	0,03	-1,71	-0,52	-0,89
13	-0,43	-1,45	-10,06	-1,33	-0,68	-1,13	-0,20	-1,89	-4,02	-2,91	-0,19	-1,81
14	-0,05	-2,02	-11,49	-1,49	0,18	-0,60	0,11	-2,96	-5,04	-4,12	0,06	-2,85
15	-0,45	-1,56	-10,87	-1,44	-0,63	-1,24	-0,22	-2,04	-4,39	-3,16	-0,21	-1,96
16	1,00	-2,41	-19,74	-0,93	-0,08	0,76	0,98	-4,49	-7,88	-6,45	0,59	-4,69
17	0,04	-0,53	-13,59	-0,15	-1,32	-0,36	0,20	-1,21	-4,55	-2,64	-0,03	-1,54
18	0,12	-0,50	-13,52	-0,17	-1,28	-0,36	0,28	-1,22	-4,49	-2,88	0,01	-1,54
19	0,54	-0,53	-13,07	2,18	-1,04	-1,71	0,73	-1,22	-3,96	-2,53	0,37	-1,46
20	0,73	-1,22	-12,77	2,39	-0,82	-2,42	0,88	-1,34	-3,81	-2,43	0,46	-1,49
21	0,78	-1,56	-12,61	3,15	-0,64	-0,89	0,87	-1,31	-3,85	-2,39	0,40	-1,56
22	0,93	-0,67	-12,45	3,21	-0,53	-0,20	1,03	-1,11	-3,64	-2,08	0,54	-1,47
23	2,13	-1,46	-11,55	12,30	-0,82	-1,62	3,03	-2,16	-1,37	-0,06	2,41	-1,91
24	1,92	-0,83	-11,03	13,09	0,31	-3,02	1,88	-1,07	-2,90	-1,62	1,09	-1,36
25	1,97	-0,93	-11,39	12,88	-0,58	-1,89	2,67	-0,55	-1,65	0,58	2,07	-1,38
26	2,14	-0,80	-10,60	13,87	0,74	0,17	2,01	-1,05	-2,81	-1,45	1,13	-1,44
27	3,44	0,15	-8,30	17,45	2,94	-0,10	2,35	-0,56	-2,92	-2,72	0,85	-1,03
28	1,53	-0,37	-11,89	10,35	-0,26	-0,22	2,04	-0,98	-1,68	1,54	1,75	-1,36
29	2,11	-0,72	-11,54	11,93	-0,66	-0,47	3,18	-1,28	-0,49	2,59	2,81	-1,60
30	1,63	-0,37	-11,75	11,34	-0,12	-0,14	2,18	-0,99	-1,45	1,89	1,89	-1,35
31	2,94	-1,21	-11,28	16,33	-1,53	-0,95	5,12	-1,69	1,92	5,32	4,81	-1,92
32	0,96	-0,39	-12,76	9,61	-0,79	-0,03	1,61	-1,01	-1,86	1,84	1,56	-1,37

Πίνακας 6.6b (Οριζόντιες Μετακινήσεις)

ΘΕΣΗ	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2	F1	F2	G
ΣΤΑΔΙΟ	<i>Κατακόρυφες Μετακινήσεις (mm)</i>												
3	1,16	-0,19	2,43	-0,16	1,42	-0,13	-2,06	-0,22	-1,54	-0,43	-1,12	-0,48	-0,75
4	-6,36	-0,75	2,22	-0,58	10,23	-0,47	-8,33	-0,86	-4,10	-1,50	-3,95	-1,63	-2,24
5	-7,79	-0,71	2,63	-0,45	14,23	-0,33	-9,24	-0,85	-4,39	-1,56	-4,25	-1,75	-2,36
6	-19,35	-1,65	9,08	-1,34	26,53	-1,06	-18,18	-1,92	-11,42	-3,87	-8,06	-4,15	-6,42
7	-21,36	-1,48	9,58	-1,10	29,15	-0,85	-19,10	-1,78	-11,61	-3,79	-8,16	-4,11	-6,42
8	-52,69	-9,29	-7,30	-9,71	20,77	-8,05	-45,54	-9,74	-28,16	-14,19	-24,67	-13,47	-19,23
9	-31,91	-1,77	9,55	-1,29	42,61	-0,97	-26,00	-2,13	-13,64	-4,42	-10,79	-4,92	-7,29
10	-60,77	-11,66	-26,74	-12,29	34,65	-10,08	-51,16	-12,25	-35,66	-18,26	-26,98	-17,03	-25,09
11	-40,01	-2,70	-2,67	-2,15	56,57	-1,60	-31,78	-3,22	-18,84	-6,74	-13,26	-7,17	-10,88
12	-26,36	4,70	12,83	6,57	109,66	5,79	-18,44	4,07	-7,46	1,92	-2,71	0,11	-0,82
13	-69,52	-4,44	-14,27	-3,76	119,42	-3,00	-53,41	-5,18	-30,45	-10,62	-22,59	-11,33	-17,34
14	-84,76	-11,78	-31,14	-12,07	82,12	-9,93	-68,36	-12,59	-43,18	-19,98	-33,95	-19,37	-28,51
15	-81,60	-5,43	-27,66	-4,76	132,36	-3,92	-64,64	-6,30	-37,55	-13,05	-28,33	-13,95	-21,53
16	-131,60	-25,45	-84,27	-27,30	63,27	-22,73	-113,16	-26,57	-76,75	-39,47	-62,76	-37,03	-54,07
17	-89,05	-5,20	-35,35	-4,65	135,40	-3,93	-71,26	-6,10	-41,20	-13,65	-31,29	-14,98	-23,09
18	-89,22	-4,03	-35,50	-2,17	135,30	-2,45	-71,45	-8,31	-41,60	-15,21	-31,75	-16,16	-23,79
19	-90,14	-11,98	-36,26	12,20	134,86	5,83	-72,41	-14,67	-43,53	-20,43	-33,62	-19,07	-26,99
20	-90,38	-13,40	-36,25	9,38	135,05	9,47	-72,63	-15,53	-43,95	-21,21	-34,00	-19,34	-27,64
21	-91,06	-25,11	-36,88	8,23	134,63	23,04	-73,34	-24,93	-45,11	-24,30	-35,29	-23,26	-29,26
22	-90,95	-27,10	-36,73	8,30	134,76	25,89	-73,25	-25,84	-45,06	-24,53	-35,30	-23,35	-29,27
23	-101,05	-58,83	-47,93	-24,42	125,67	17,80	-83,35	-52,15	-58,48	-46,32	-46,97	-39,85	-46,39
24	-92,04	-38,11	-37,64	-0,26	134,19	39,22	-74,34	-32,83	-47,06	-29,57	-37,25	-26,08	-32,37
25	-99,91	-66,97	-46,43	-16,36	127,14	32,19	-82,25	-58,39	-57,18	-45,45	-46,22	-42,38	-44,71
26	-92,35	-46,15	-37,87	0,35	134,22	54,54	-74,68	-38,80	-47,52	-31,03	-37,81	-28,56	-32,95
27	-85,18	-32,86	-29,27	13,99	141,51	107,73	-67,53	-25,74	-39,28	-20,89	-31,00	-18,20	-23,72
28	-94,06	-76,69	-39,81	-15,09	132,36	118,16	-76,60	-61,36	-51,78	-44,26	-42,31	-38,51	-40,20
29	-101,61	-92,26	-48,31	-32,48	125,45	80,44	-84,12	-76,60	-61,10	-57,15	-50,21	-50,01	-51,34
30	-94,85	-86,48	-40,68	-26,98	131,57	129,15	-77,49	-70,46	-53,66	-49,89	-44,25	-43,09	-43,40
31	-115,65	-138,79	-64,07	-86,14	112,47	62,13	-98,32	-121,23	-80,37	-90,36	-67,34	-78,77	-76,37
32	-94,89	-96,32	-40,97	-37,15	130,98	134,14	-77,67	-79,39	-54,72	-54,91	-45,56	-47,33	-45,71

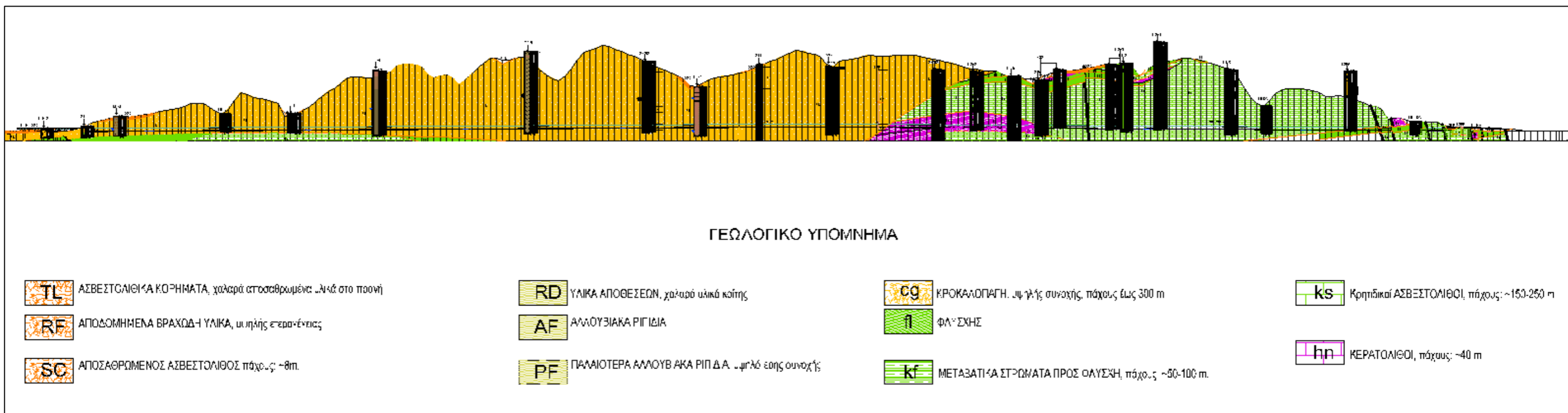
Πίνακας 6.7α (Κατακόρυφες Μετακινήσεις)

ΘΕΣΗ	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2	F1	F2	G
ΣΤΑΔΙΟ	Οριζόντιες Μετακινήσεις (mm)												
3	-0,01	-0,01	0,01	0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,07	-0,50	-0,21	0,00	-0,14	-0,42
4	-0,91	-0,37	-1,70	-0,43	-3,93	-0,45	-0,79	-0,43	-2,04	-0,83	-0,10	-0,45	-1,34
5	-1,59	-0,67	-2,82	-0,86	-6,74	-0,85	-0,98	-0,66	-2,43	-1,12	-0,11	-0,58	-1,67
6	-1,52	-0,77	-13,41	-0,54	-2,42	-0,61	-0,18	-1,19	-4,26	-2,51	-0,05	-1,47	-3,81
7	-0,72	-0,85	-13,84	-0,66	-1,74	-0,74	-0,02	-1,25	-4,41	-2,62	0,00	-1,51	-3,95
8	0,39	-0,84	-15,22	-0,15	-4,96	0,12	-0,68	-1,81	-7,57	-4,00	0,19	-2,36	-5,77
9	0,31	-0,90	-15,78	-0,94	-7,18	-1,15	-0,10	-1,11	-5,47	-2,74	0,22	-1,44	-4,20
10	-0,31	-2,08	-24,40	-0,91	-0,99	-0,19	1,02	-3,45	-8,41	-6,37	0,51	-3,91	-8,31
11	-0,90	-1,85	-25,34	-1,59	0,03	-1,43	-0,12	-2,33	-7,29	-4,71	-0,11	-2,67	-6,57
12	-0,86	-2,80	-28,69	-3,35	-2,06	-3,45	-0,47	-2,58	-7,20	-4,86	-0,37	-2,44	-6,91
13	-0,73	-1,03	-22,42	0,06	0,04	-0,12	-0,46	-2,36	-11,58	-6,03	-0,12	-3,44	-9,32
14	-0,46	-1,58	-23,86	0,03	0,88	0,48	-0,23	-3,40	-12,60	-7,50	0,12	-4,45	-10,69
15	-0,95	-0,21	-36,01	1,53	0,15	1,02	-0,75	-2,11	-13,60	-6,73	-0,19	-3,79	-10,81
16	-0,02	-1,07	-53,22	2,42	0,78	3,24	-0,16	-4,64	-17,85	-11,07	0,48	-6,72	-15,55
17	-0,85	0,90	-46,91	3,17	-0,45	2,18	-0,85	-1,23	-14,81	-6,72	-0,20	-3,66	-11,39
18	-0,87	0,95	-46,94	3,23	-0,42	2,22	-0,81	-1,28	-14,63	-6,25	-0,09	-3,68	-11,03
19	-0,20	-0,04	-46,36	4,08	-0,07	-1,70	0,11	-1,98	-13,21	-4,88	0,79	-3,76	-9,13
20	0,49	-0,64	-45,43	9,87	0,44	-4,32	0,73	-2,08	-12,50	-4,55	1,20	-3,71	-8,42
21	0,37	-0,65	-45,48	11,39	0,50	0,24	0,70	-1,15	-12,29	-2,75	1,27	-3,66	-7,85
22	0,44	0,17	-45,42	11,57	0,56	1,06	0,79	-0,94	-12,14	-2,33	1,37	-3,59	-7,60
23	1,36	0,54	-45,42	17,10	-0,40	-3,26	2,94	-2,11	-8,95	0,80	3,64	-3,99	-3,85
24	1,21	1,23	-44,73	18,43	0,82	-4,50	1,83	-0,89	-10,59	-0,28	2,42	-3,32	-5,54
25	1,01	-0,11	-45,20	18,34	0,03	1,26	2,33	-0,30	-9,53	2,40	3,08	-3,64	-4,11
26	1,15	0,06	-44,40	19,21	1,34	3,27	1,66	-0,81	-10,74	0,40	2,21	-3,63	-5,59
27	2,26	0,94	-42,69	26,15	3,05	2,15	2,12	-0,38	-10,19	0,79	2,30	-3,19	-4,62
28	0,10	0,33	-46,86	21,75	-0,55	2,40	1,72	-0,75	-9,26	4,95	3,17	-3,61	-2,45
29	0,51	-0,09	-46,80	23,94	-1,14	2,72	2,76	-1,10	-7,90	5,93	4,15	-3,92	-1,16
30	-0,45	0,16	-47,93	31,53	-1,26	2,39	1,61	-0,73	-8,79	6,48	3,45	-3,65	-1,37
31	0,04	-1,00	-48,94	57,17	-3,65	1,58	4,29	-1,39	-4,62	10,96	6,41	-4,39	3,35
32	-1,87	-0,08	-50,30	50,37	-2,83	2,64	0,79	-0,62	-8,98	7,95	3,35	-3,67	-0,77

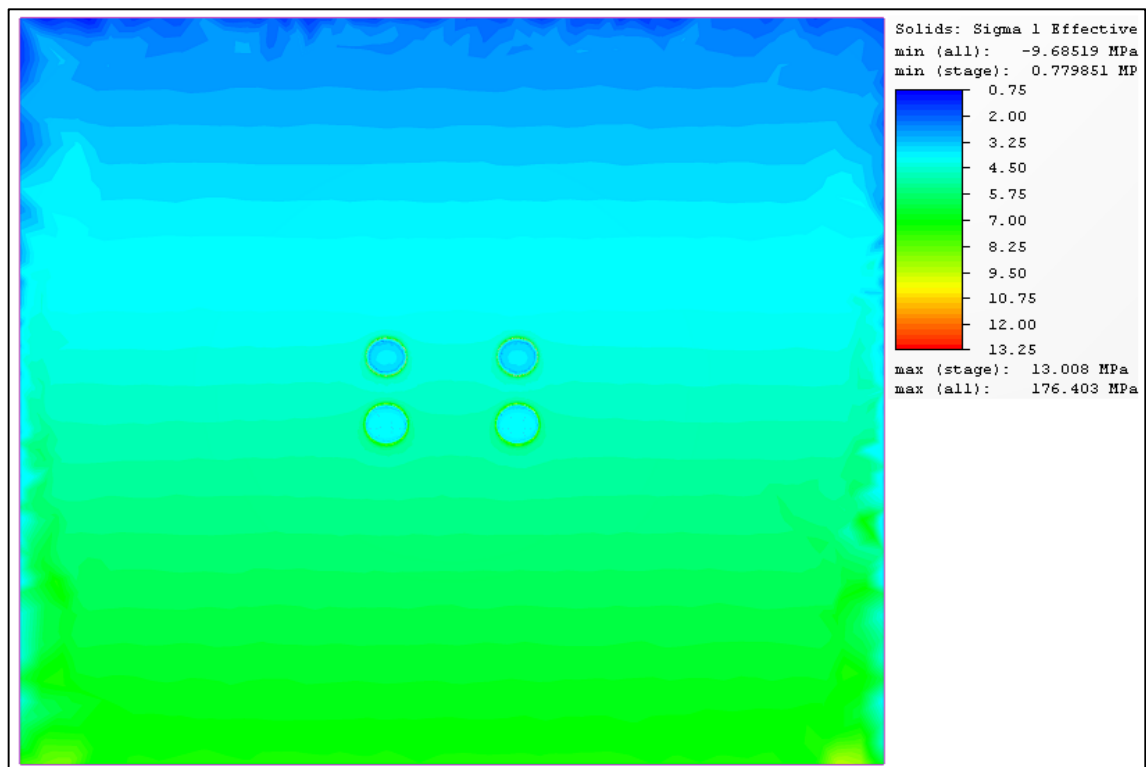
Πίνακας 6.7b (Οριζόντιες Μετακινήσεις)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

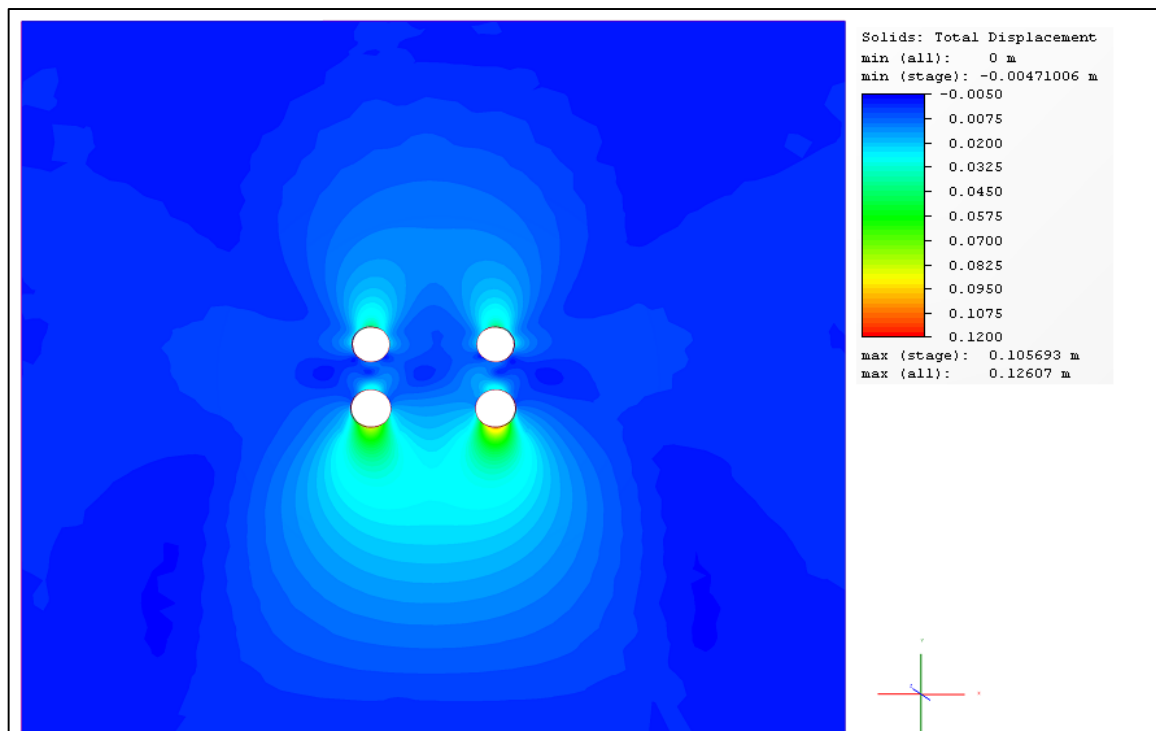
ΣΧΗΜΑΤΑ



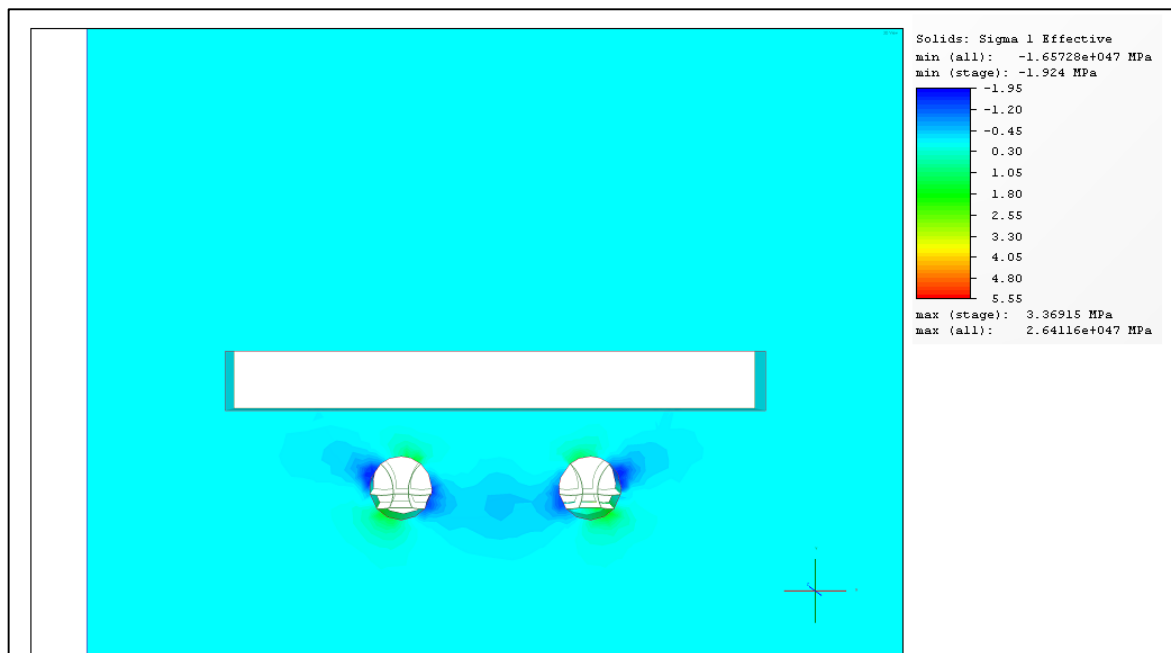
Σχήμα 3.1 (Γεωλογική Μηκτομή Σήραγγας)



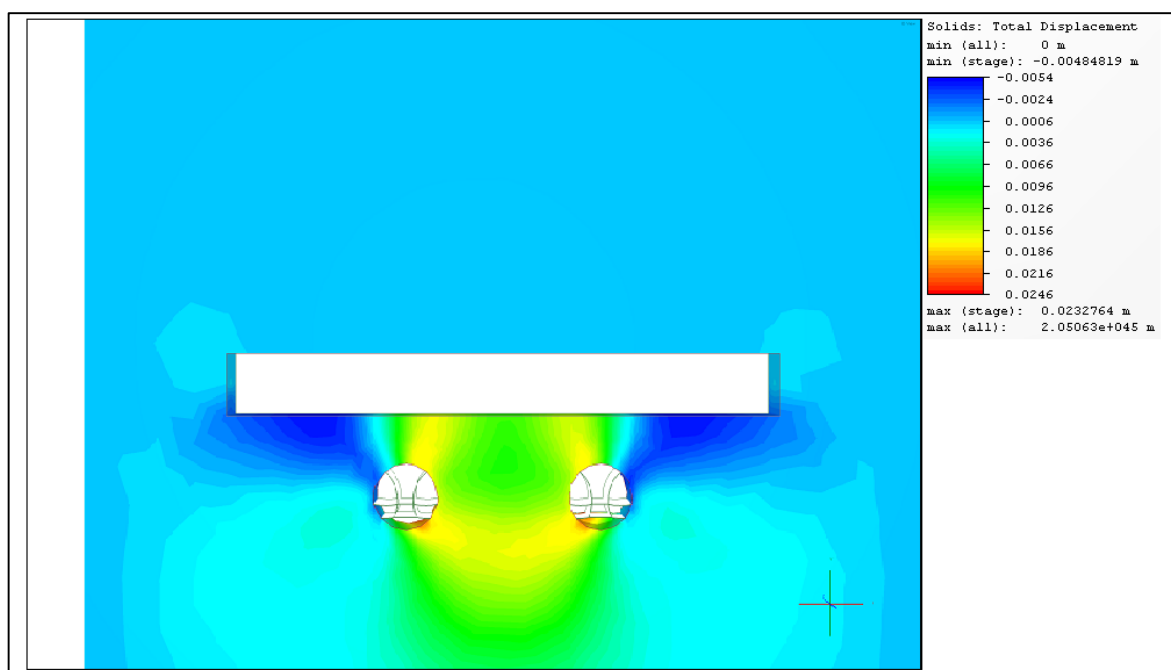
Σχήμα 7.5.3 (Τάση σ_1)



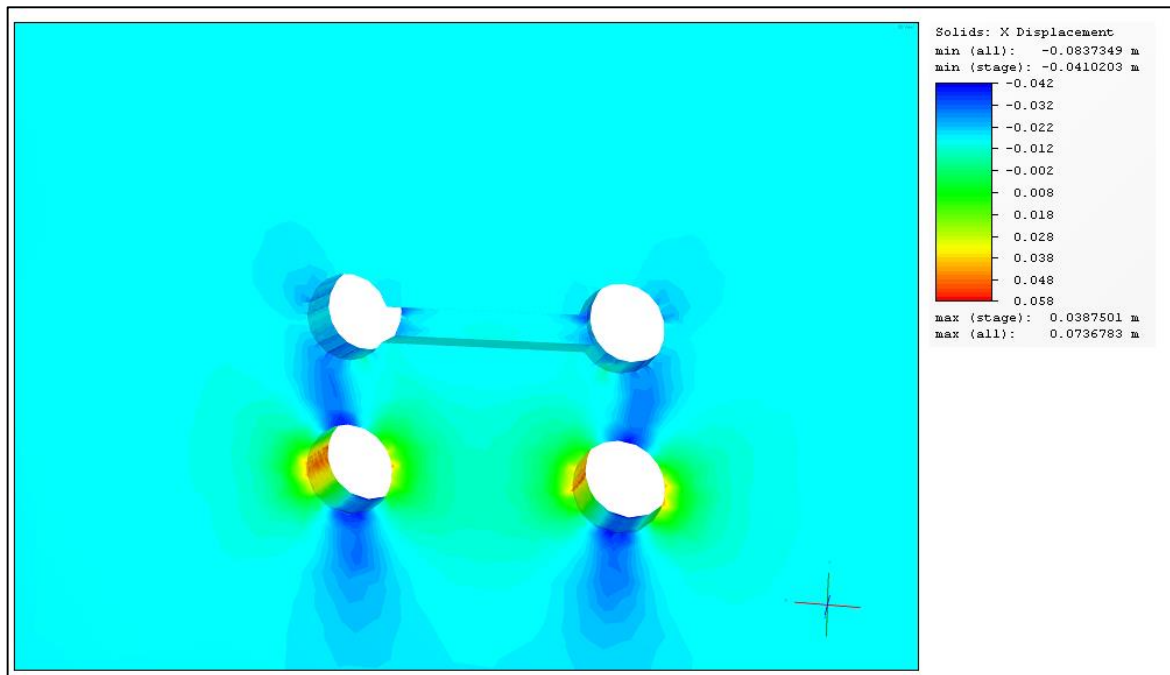
Σχήμα 7.5.4 (Ολικές Μετακινήσεις)



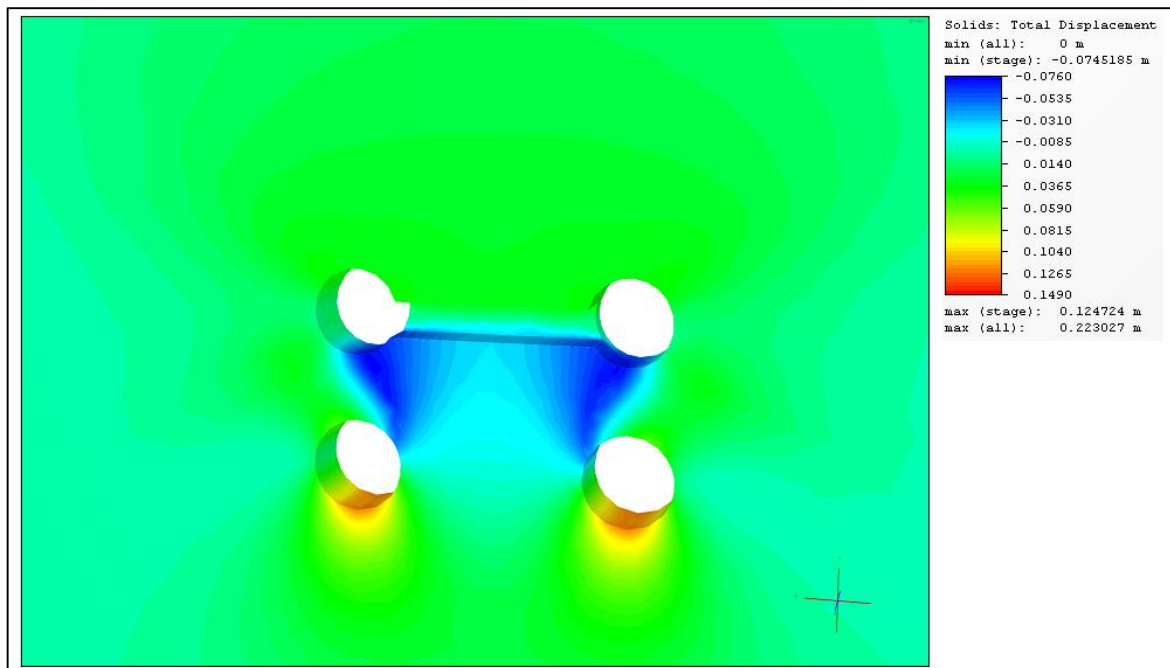
Σχήμα 7.6.3 (Τάση σ_1)



Σχήμα 7.6.4 (Ολικές Μετακινήσεις)



Σχήμα 7.7.3 (Τάση σ_1)



Σχήμα 7.7.4 (Ολικές Μετακινήσεις)