

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ : Σ.Τ.Ε

ΤΜΗΜΑ :ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε

ΤΙΤΛΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΠΛΑΤΑΝΟΥ.  
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕ ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ .**

*Platanos's tunnel construction and geotechnical issues. Comparison of the  
used support system with empeirical methods.*

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ : ΜΠΙΜΠΑ ΤΖΕΣΙΑΝΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ : ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ

ΠΑΤΡΑ 2018

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή αποτελεί την πτυχιακή εργασία της Μπίμπα Τζεσιάνα, Προπτυχιακής φοιτήτριας του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτική Ελλάδα στον τομέα της Μηχανικής Πετρωμάτων και Σηράγγων.

Ως θέμα η εργασίας μου πραγματεύεται την παρουσίαση της κατασκευής και των γεωτεχνικών προβλημάτων της σήραγγας T15 Πλατάνου - Κωστή Παλαμά και την συγκριτική μελέτη των μέτρων υποστήριξης που εφαρμόστηκαν με αυτά που προκύπτουν από εμπειρικές μεθόδους.

Από την θέση αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κ. Ειρήνη Βγενοπούλου, για την καθοδήγηση που μου πρόσφερε αλλά την ουσιαστική υποστήριξη της και το ενδιαφέρον της καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας μου.

Ευχαριστώ οφείλω και στον Πολιτικό Μηχανικό κ. Πέτρο Πίμπα για την βοήθεια του για το συγκεκριμένο έργο.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας είναι η παρουσίαση των μεθόδων διάνοιξης μιας σήραγγας και ο τρόπος διάνοιξης της σήραγγας T15. Καθώς και τα γεωτεχνικά προβλήματα που προέκυψαν κατά την διάρκεια της κατασκευής της .

Τελος παρουσιάζεται η συγκριτική μελέτη των εφαρμοσθέντων μέτρων που προέκυψαν με αυτά που προβλέπονται από τις εμπειρικές μεθόδους.

Η πτυχιακή μου εργασία είναι δομημένη σε 9 κεφάλαια στα οποία :

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μέθοδοι διάνοιξης σηράγγων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται το υπέδαφος η στρωματολογία της περιοχής του έργου

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται η γεωτεχνικές ενότητες .

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται ο τρόπος κατασκευής της σήραγγας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι προτεινόμενες κατηγορίες άμεσης υποστήριξης και τα κρητήρια εφαρμογής .

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται η διατομές της σήραγγας .

Στο εβδομό κεφάλαιο αναφέρονται οι τεχνικές προδιαγραφές.

Στο όγδοο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τεχνική οργάνωση – παρακολούθηση.

Στο έννατο κεφάλαιο αναφέρεται στην ταξινόμηση των εδαφών με εμπειρικές μεθόδους .

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> .....	7
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ.....	7
1.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ.....	8
1.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ.....	8
1.3.1 ΜΕΘΟΔΟΣ NATM.....	9
1.3.2 ΜΕΘΟΔΟΣ CUT-COVER.....	20
1.3.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΒΜ.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> : ΥΠΕΔΑΦΟΣ - ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΓΟΥ.....	26
2.1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ.....	26
2.2 ΓΕΝΙΚΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ.....	29
2.3 ΔΟΜΗ Ν. ΑΧΑΙΑΣ.....	36
2.3.1 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ.....	36
2.3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΔΟΜΗ.....	37
2.3.3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	38
2.3.4 ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> : ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΜΗΚΟΤΟΜΗ.....	42
3.1 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ.....	42
3.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ.....	43
3.3 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ.....	51
3.3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ.....	56
3.3.2 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	57
3.4 ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΕ ΚΑΘΕΤΗ ΤΑΝΙΣΗ ,Κ.....	66
3.5 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ.....	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> - ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	67
4.1 ΦΑΣΕΙΣ ΕΚΣΑΦΗΣ.....	67
4.2 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ.....	71
4.3 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΣΗΡΑΓΓΑΣ.....	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup> - ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΜΕΣΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ & ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	75

5.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	75
5.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΕΤΡΩΝ ΑΜΕΣΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ .....	76
5.2.1 ΕΚΣΚΑΦΗ – ΑΜΕΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ .....	76
5.2.2 ΚΥΡΙΑ ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ.....	76
5.2.3 ΕΚΣΚΑΦΗΣ – ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ –R1 .....	77
5.2.4 ΕΚΣΚΑΦΗ – ΑΜΕΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ R2 .....	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 <sup>ο</sup> – ΔΙΑΤΟΜΕΣ.....	83
6.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Α.....	83
6.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ C.....	88
6.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ S1 .....	95
6.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ S2.....	97
6.5 ΔΙΑΤΟΜΗ ΠΕΖΟΝ .....	100
6.6 ΔΙΑΤΟΜΗ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	103
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 <sup>ο</sup> - ΟΔΗΓΙΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ .....	110
7.1 ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΡΓΑ .....	110
7.2 ΕΡΓΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	112
7.3 ΠΟΔΑΣ ΕΛΕΦΑΝΤΑ- ΜΙΚΡΟΠΑΣΣΑΛΟΙ .....	113
7.4 ΧΑΛΥΒΔΙΝΑ ΤΟΞΑ ( ΗΕΒ ) .....	114
7.5 ΑΓΚΥΡΙΑ ΒΡΑΧΟΥ .....	115
7.6 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΜΕΤΩΠΟΥ .....	117
7.7 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΟΡΟΦΗΣ (SPILES) .....	118
7.8 ΜΕΤΡΑ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ .....	119
7.9 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ .....	121
7.10 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΚΣΚΑΦΗ ΜΕΤΩΠΟΥ.....	122
7.11 ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΡΑΒΔΩΝ ΣΗΡΑΓΓΑΣ .....	124
7.12 ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΜΕΤΡΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ .....	125
7.13 ΘΕΣΕΙΣ .....	125
7.14 ΔΙΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ .....	127
7.15 ΚΡΙΣΙΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	128
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 <sup>ο</sup> - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΟΡΓΑΝΩΣΗ – ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ.....	131
8.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	131
8.2 ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ .....	131
8.3 ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ – ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ .....	132
8.4 ΥΠΕΡΒΑΣΗ ΟΡΙΩΝ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	133
8.5 ΥΠΕΡΒΑΣΗ ΟΡΙΩΝ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ .....	133

8.6 ΟΡΓΑΝΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ .....	134
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 <sup>ο</sup> - ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΕ ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ.....	135
9.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ ΒΙΕΝΙΑWSKI. ....	135
9.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΤΗΝ ΣΗΡΑΓΓΑ Τ15 .....	137
9.2.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ.....	137
9.2.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕ ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ .....	140
9.3 ΤΑΧΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ ΒΑRTON.....	141
9.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	142
ΕΙΚΟΝΕΣ ΕΡΓΟΥ.....	143
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	153

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

### 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

Παραδοσιακά σήραγγα ονομάζεται η οριζόντια ή παραοριζόντια τεχνητά σκαμμένη υπόγεια δίοδος. Σήραγγες κατασκευάζονται τόσο ως πολιτικά-στρατιωτικά όσον και ως εξορυκτικά έργα. Και μολονότι οι τεχνικές διάνοιξης τους είναι παρόμοιες, διαφέρουν ως προς τη σπουδαιότητα τους και το χρόνο ζωής τους, άρα και τη βαρύτητα της κατασκευής τους. Η γεωτεχνική μηχανική, η πιο σημαντική επιστήμη που χρησιμοποιείται στη σήραγγοποιία, έχει τις ρίζες της στο 18<sup>ο</sup> αιώνα. Η σήραγγοποιία διακρίνεται αφενός στο σχεδιασμό-μελέτη και αφετέρου στη διάνοιξη-κατασκευή. Αν και υπάρχει αλληλοεπικάλυψη μεταξύ αυτών των δύο φάσεων, και οι δύο απαιτούν τις ίδιες πληροφορίες αλλά για διαφορετικούς λόγους. Ο μελετητής της σήραγγας ενδιαφέρεται για τις γεωτεχνικές ιδιότητες του εδάφους, οι οποίες περιλαμβάνουν παραμέτρους εδάφους, υδροφορία, κλπ, που τις χρησιμοποιεί για να καθορίσει την χάραξη της σήραγγας, το βάθος, τον τύπο της απαιτούμενης επένδυσης και άλλες λεπτομέρειες για την ασφαλή τελική χρήση. Επειδή οι σήραγγες είναι ακριβές κατασκευές, πρέπει να εκπονήσει τον πιο οικονομικό σχεδιασμό που θα επιτυγχάνει τους στόχους της σήραγγας. Γι' αυτό θα πρέπει να έχει αρκετή γνώση των τεχνικών της σήραγγοποιία για να είναι ο σχεδιασμός κατασκευάσιμος. Οι πρώτες σήραγγες διαμορφώθηκαν σε φυσικά σπήλαια, επιλέγοντας τύπους πετρωμάτων ικανούς για διάνοιξη, με επαρκή αντοχή και σφιχτή δομή ώστε να είναι συσταθείς δίχως υποστήριξη. Μεγάλο μέρος των υπογείων μεταλλευτικών εκμεταλλεύσεων πραγματοποιούνται αρχικά σε τέτοια πετρώματα ακολουθώντας φλέβες με επιφανειακές εμφανίσεις.

Στον ελληνικό χώρο έχουν κατασκευαστεί πολλές σήραγγες για την διάνοιξη και κατασκευή των μεγάλων οδικών αρτηριών. ( ΙΩΝΙΑ ΟΔΩΣ, ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ κλπ).

Η σύγχρονη περίοδος των υπογείων έργων ξεκίνησε με την επιτακτική δικτύων για την ανάπτυξη, κυρίως, των αλπικών σιδηροδρόμων και της προσπέλασης της δυτικής ακτής των Ηνωμένων Πολιτειών.

Η τάχιστη εξέλιξη του σύγχρονου πολιτισμού και η έντονη αστικοποίηση οδήγησαν στην ευρύτατη χρήση του υπόγειου χώρου με κατασκευές όπως υπόγειος ή υποθαλάσσιος σιδηρόδρομος υπόγειο ή υποθαλάσσιος οδικό δίκτυο, υπόγειο αποθηκευτικοί χώροι ποικίλης ανθρώπινης δραστηριότητας ( καταστήματα, αθλητικά κέντρα, στρατιωτικές εγκαταστάσεις, κ α).

Τα τελευταία τριάντα χρόνια ο κλάδος της μελέτης και κατασκευής υπογείων έργων παρουσιάζει πολύ μεγάλους ρυθμούς ανάπτυξης, με την ζήτηση να αυξάνεται συνεχώς.

Τα υπόγεια έργα μπορούν να χωριστούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες :

- α) σήραγγες ( μεταλλευτικές, οδικές, σιδηροδρομικές, υδραυλικές και πεζών)
- β) θάλαμοι (σταθμοί ενέργειας, αποθηκευτικοί χώροι, σιδηροδρομικοί σταθμοί χώροι ποικίλης ανθρώπινης δραστηριότητας )

γ) φρέατα ( μεταλλευτικά, αερισμού σηράγγων, υδραυλικά έργα ).

## 1.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Στην παρούσα όμως εργασία θα ασχοληθούμε μόνο με της σήραγγες.

Η μελέτη και κατασκευή οδικών σηράγγων παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν, λόγω της ποικιλομορφείας των εδαφικών και βραχωδών σχηματισμών στον ελληνικό χώρο.

Γενικά μία σήραγγα είναι ένα υπόγειο πέρασμα. Ο ορισμός του τι αποτελεί μία σήραγγα δεν είναι καθολικά αποδεκτός. Παρ όλα αυτά, γενικά, οι σήραγγες έχουν τουλάχιστον δύο φορές μεγαλύτερο μήκος από το πλάτος τους. Επιπλέον, πρέπει να είναι πλήρως κλεισμένες από όλες τις πλευρές, εκτός από τα ανοίγματα σε κάθε πλευρά.

Η ελάχιστη διάρκεια ζωής σχεδιασμού μιας σήραγγας είναι 100 χρόνια.

Σε σήραγγες μήκος μεγαλύτερου των 500 m, εάν η κατά μήκος κλίση της οδού εντός της σήραγγας υπερβαίνει το 3% θα πρέπει να δικαιολογείται, θεωρουμένων και των επιπτώσεων στο σύστημα αερισμού. Το ίδιο θα ισχύει και για σήραγγες διπλής κατεύθυνσης κυκλοφορίας μήκους μεγαλύτερου των 2 km, εάν η κατά μήκος κλίση υπερβαίνει το 2%.

Λωρίδες στάθμευσης ανάγκης ( Lay-bys)

Σε σήραγγες μήκους μεγαλύτερου των 2,00 km, θα προβλέπονται "λωρίδες στάθμευσης ανάγκης" για στάθμευση χαλασμένων φορητών οχημάτων. Οι λωρίδες στάθμευσης ανάγκης θα έχουν καθαρή ωφέλιμη επιφάνεια.

- Σε διπλές σήραγγες (μιας κατεύθυνσης ανά κλάδο) οι λωρίδες στάθμευσης ανάγκης θα κατασκευάζονται ανά 1.000 m στην δεξιά πλευρά του αντίστοιχου κλάδου.
- Σε διπλές σήραγγες μονής κατεύθυνσης ανά κλάδο, μήκους μεγαλύτερου των 2 km, θα προβλέπονται διασυνδέσεις οδοστρωμάτων για Οχήματα έκτακτης ανάγκης (Vehicle Cross Overs) ανά 1 km, τοποθετημένες απέναντι από τις λωρίδες στάθμευσης έκτακτης ανάγκης.
- Σε μονές σήραγγες διπλής κατεύθυνσης, θα γίνεται πρόβλεψη για αναστροφή κατεύθυνσης οχημάτων μεγάλου μήκους.
- Σε μονές σήραγγες διπλής κατεύθυνσης, οι λωρίδες στάθμευσης ανάγκης θα τοποθετούνται ανά 1.000 m αντικρουστά στις δύο πλευρές της σήραγγας. Σε περιπτώσεις δυσχερών εδαφικών συνθηκών. Θα μπορούν να γίνουν αποδεκτές αποκλίσεις από τον παραπάνω κανόνα για μονές σήραγγες διπλής κατεύθυνσης, μετά από επαρκή αιτιολόγηση εκ μέρους του μελετητή και μετά από έγκριση από την ΕΟΑΕ.

## 1.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

- 1) Διάνοιξη σηράγγων με την μέθοδο NATM
- 2) Διάνοιξη σηράγγων με την μέθοδο CUT AND COVER
- 3) Διάνοιξη σηράγγων με την μέθοδο TBM



### 1.3.1 ΜΕΘΟΔΟΣ NATM

Η λεγόμενη “Νέα Αυστριακή μέθοδος Διάνοιξης Σηράγγων” (New Austrian tunnelling Method - NATM) ουσιαστικώς δεν αποτελεί μια μέθοδο αλλά περιλαμβάνει ένα σύνολο τεχνικών διάνοιξης και υποστήριξης σηράγγων οι οποίες εφαρμόστηκαν συστηματικά κατά τη διάνοιξη σηράγγων στις Αυστριακές Άλπεις στις αρχές της δεκαετίας του 1960. Οι τεχνικές αυτές είχαν εφαρμοσθεί και πριν το 1960 τόσο στην Αυστρία όσο και σε άλλα μέρη του κόσμου αλλά η συστηματοποίηση και ονομασία τους (NATM) έγινε από Αυστριακούς Μηχανικούς (Rabciewicz, Mueller, Brunner, και Pacher) περί το 1960. Έστι, αν και η “Μέθοδος NATM ” όταν προτάθηκε δεν ήταν ούτε “Νέα ” ούτε από Αυστριακή (αφού έχει εφαρμοσθεί και στο παρελθόν σε άλλες χώρες ) αλλά ούτε και “Μέθοδος” ( αφού ουσιαστικά αποτελείται από ένα σύνολο τεχνικών οι οποίες μάλιστα αλλάζουν με την πρόοδο της τεχνολογίας), διατήρησε διεθνώς μέχρι σήμερα το όνομα της.

Αν και δεν υπάρχει γενικώς αποδεκτός ορισμός της “Μέθοδος NATM” ο όρος συνήθως χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διάνοιξη σηράγγων με εκτεθειμένο το μέτωπο εκσκαφής (δηλαδή χωρίς την εφαρμογή πίεσης με μηχανικά μέσα) και υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ( άοπλό ή οπλισμένο ) ή/και αγκύρια βράχου. Σύμφωνα με τα ανωτέρω, οι εναλλακτικοί τρόποι διάνοιξης σηράγγων που δεν υπάγονται στην μέθοδο NATM είναι :

1. Διάνοιξη με μηχανήματα ολομέτωπης κοπής (TBM), επειδή κατά την μέθοδο, αυτή η κοπτική κεφαλή του μηχανήματος ασκεί πίεση επί του μετώπου εκσκαφής.
2. Διάνοιξη με προστατευτική ασπίδα (shield) επειδή η άμεση υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας γίνεται μέσω της ασπίδας και όχι με εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος ή αγκυρίων.
3. Οποιαδήποτε άλλη μέθοδος διάνοιξης κατά την οποία η άμεση υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας γίνεται χωρίς εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ή αγκύρια, όπως π.χ. με έγχυτο σκυρόδεμα, προκατασκευασμένα στοιχεία από σκυρόδεμά, μέταλλο ή άλλο υλικό.

Η συνήθης εφαρμογή της μεθόδου NATM είναι η διάνοιξη της διατομής της σήραγγας σε μία ή περισσότερες φάσεις και η άμεση υποστήριξη του τοιχώματος με εκτοξευόμενο σκυρόδεμά (απλό, ινοπλισμένο, οπλισμένο με χαλύβδινο πλέγμα ή ενισχυμένο με χαλύβδινες νευρώσεις από ράβδους ή διατομές I) και αγκύρια (παθητικά ή προεντεταμένα). Σημειώνεται ότι η υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας μόνον με αγκύρια χωρίς εκτοξευόμενο σκυρόδεμά 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 βραχόμαζας ).

➤ Χαρακτηριστικά της μεθόδου NATM

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 βραχόμαζας (μέσω της ελεγχόμενης σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας) σε ικανό βαθμό ώστε να μειωθούν αρκετά οι πιέσεις επί της άμεσης υποστήριξης αλλά όχι τόσο ώστε να προκληθεί αποδιοργάνωση της βραχόμαζας με συνέπεια την αύξηση των πιέσεων στην άμεση υποστήριξη και τελικώς την κατάρρευση της διατομής της σήραγγας. Δεδομένου ότι ένα σημαντικό ποσοστό της σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας συμβαίνει εμπρός από το μέτωπο εκσκαφής (δηλαδή πριν η εκσκαφή φθάσει στη συγκεκριμένη θέση) και επιπλέον ότι η σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας αυξάνει με ταχείς ρυθμούς στην περιοχή του μετώπου εκσκαφής, προκύπτει ότι στις περισσότερες περιπτώσεις η αντοχή της βραχόμαζας έχει ενεργοποιηθεί επαρκώς πολύ κοντά στο μέτωπο της εκσκαφής και συνεπώς η άμεση υποστήριξη θα πρέπει να κατασκευασθεί κατά το δυνατόν πλ ησιέστερα στο μέτωπο εκσκαφής.

➤ Η παραπάνω αρχή της μεθόδου NATM εξειδικεύεται ως εξής:

1. Η εκσκαφή της διατομής της σήραγγας συνήθως γίνεται σε περισσότερες της μιας φάσεις. 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 βραχόμαζας.

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

3. 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 βραχόμαζας. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πλεονεκτεί ως προς την άποψη αυτή επειδή βρίσκεται σε απόλυτη επαφή με την περιβάλλουσα βραχόμαζας (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 σπλίζει την περιβάλλουσα βραχόμαζα και συντελεί στην καλύτερη ανάπτυξη της λειτουργίας τόξου στη βραχόμαζα. Πράγματι, η τάση της βραχόμαζας να παραμορφωθεί διατμητικά προκαλεί (μέσω της διασταλτικότητας) την ανάπτυξη εφελκυσμού στα αγκύρια και συνεπώς θλίψης στη βραχόμαζα. Η θλίψη της βραχόμαζας αυξάνει την αντοχή της και μειώνει την παραμορφωσιμότητα της λόγω εγκιβωτισμού (λειτουργία ανάλογη με αυτή του σπειροειδούς σπλισμού στα υποστηλώματα).

4. Ολοκλήρωση του δακτυλίου του εκτοξευόμενου 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. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση βραχόμαζας με καλά μηχανικά χαρακτηριστικά συχνά δεν είναι απαραίτητο να ολοκληρώνεται ο δακτύλιος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, δηλαδή δεν επενδύεται με σκυρόδεμα το δάπεδο της σήραγγας.

5. Στην περίπτωση διάνοιξης σηράγγων σε βραχόμαζα 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 βραχόμαζας 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 προτορείας (forepoling), κατασκευή τσιμεντενέσεων, επένδυση του μετώπου με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κλπ.

6. 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 βραχόμαζας 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.

Ως εκ της φύσεως της μεθόδου, ο σχεδιασμός της διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης της σήραγγας θα πρέπει να είναι ευπροσάρμοστος στις επιτόπου συνθήκες. Για το σκοπό αυτό ο σχεδιασμός γίνεται ως εξής:

1. Με βάση τα αποτελέσματα των γεωτεχνικών ερευνών η βραχόμαζα που αναμένεται να συναντηθεί κατά μήκος της σήραγγας κατατάσσεται σε 3-5 κατηγορίες (με βάση τα μηχανικά χαρακτηριστικά). Οι κατηγορίες αυτές συνήθως βασίζονται στα γνωστά συστήματα κατατάξεως (RMR, GSI, Q).

2. Μορφώνονται 3-5 τυπικές διατομές διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης της σήραγγας οι οποίες διαφέρουν ως προς το είδος των μέτρων υποστήριξης (π.χ. εάν διαθέτουν ενίσχυση με χαλύβδινα πλαίσια) και την πυκνότητά τους (π.χ. διάσταση του κανάβου των αγκυρίων ή πάχος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος). Οι τυπικές διατομές μπορεί να διαφέρουν και ως προς τον αριθμό των φάσεων εκσκαφής. Κατά τη μόρφωση των διατομών λαμβάνεται υπόψη ότι θα πρέπει να είναι κατασκευαστικά δυνατή η αλλαγή της διατομής της σήραγγας από τον ένα τύπο στον άλλο με σχετική ευχέρεια.

3. Διατυπώνεται ένα σύνολο κριτηρίων με βάση τα οποία θα είναι δυνατή η επιλογή της εφαρμοστέας τυπικής διατομής κατά την κατασκευή της σήραγγας. Τα κριτήρια αυτά συνήθως βασίζονται σε ένα συνδυασμό παραγόντων όπως η ποιότητα της

βραχώμαζας, το πάχος των υπερκειμένων γαιών, ο προσανατολισμός των ασυνεχειών της βραχώμαζας, τα αποτελέσματα των μετρήσεων συμπεριφοράς του έργου σε προηγούμενες διατομές ή σε προηγούμενη φάση εκσκαφής στη συγκεκριμένη θέση κλπ.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η άμεση υποστήριξη της σήραγγας ακολουθείται από την κατασκευή της τελικής επένδυσης η οποία αναλαμβάνει μέρος (ή το σύνολο) των φορτίων της περιβάλλουσας βραχώμαζας. Η τελική επένδυση συνήθως κατασκευάζεται μετά την ολοκλήρωση της διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης του συνόλου του μήκους της σήραγγας αλλά οπωσδήποτε αφού η σήραγγα ισορροπήσει με την άμεση υποστήριξη, δηλαδή αφού πρακτικώς μηδενισθούν οι ρυθμοί εξέλιξης των μετακινήσεων, εντάσεων κλπ. Η τελική επένδυση συνήθως σχεδιάζεται για να αναλάβει τα εξής φορτία:

1. Το φορτίο που αναλαμβάνεται από τα αγκύρια στην περίπτωση προσωρινών αγκυρίων ή στην περίπτωση βραχώμαζας με έντονα ερπυστική συμπεριφορά.
2. Μέρος του φορτίου που αναλαμβάνεται από το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ώστε το απομένον φορτίο του εκτοξευόμενου σκυροδέματος να ικανοποιεί τις απαιτήσεις ασφαλείας μονίμου έργου (δεδομένου ότι κατά την άμεση υποστήριξη της σήραγγας το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μπορεί να λειτουργεί με μειωμένο συντελεστή ασφαλείας προσωρινού έργου).
3. Τυχόν αυξημένα μακροχρόνια φορτία της βραχώμαζας λόγω ερπυσμού.
4. Τυχόν υδατικές πιέσεις λόγω πλημμελούς αποστράγγισης ή απρόβλεπτης απόφραξης του συστήματος αποστράγγισης.
5. Τυχόν φορτία από μελλοντικές κατασκευές που φορτίζουν τη σήραγγα.
6. Τυχόν σεισμική επιφόρτιση της σήραγγας.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου NATM σε σχέση με τις εναλλακτικές μεθόδους (διάνοιξη με TBM ή ασπίδα) είναι τα εξής:

1. Προσαρμόζεται εύκολα σε μεταβαλλόμενες γεωτεχνικές συνθήκες.
2. Προσαρμόζεται εύκολα σε μεταβολές της γεωμετρίας της διατομής και στη διάνοιξη μή-κυκλικών διατομών.
3. Περιλαμβάνει μηχανικό εξοπλισμό σχετικώς μικρού κόστους και συνεπώς πλεονεκτεί οικονομικά σε σήραγγες μικρού μήκους.
4. Επιτρέπει ευκολότερη στεγάνωση της σήραγγας με συνθετική μεμβράνη (η οποία συνήθως τοποθετείται μεταξύ της άμεσης και της τελικής επένδυσης).

➤ Φάσεις εκσκαφής

Η εκσκαφή σήραγγων με τη μέθοδο NATM συνήθως γίνεται σε περισσότερες της μιας φάσεις. Τα κυριότερα συστήματα εκσκαφής είναι:

1. Εκσκαφή μετώπου-βαθμίδας (top heading and bench). Η εκσκαφή της σήραγγας γίνεται από πάνω προς τα κάτω. Η πρώτη φάση εκσκαφής (top heading) μπορεί να εκσκαφεί και σε περισσότερες υποφάσεις κατά το πλάτος της σήραγγας. Στην περίπτωση αυτή η πρώτη φάση ουσιαστικά αποτελεί σήραγγα-πιλότο που χρησιμεύει και για τη διερεύνηση των συνθηκών που αναμένεται να συναντηθούν κατά τη διάνοιξη της σήραγγας.

2. Εκσκαφή με πλευρικές στοές (side-wall drifts). Η μέθοδος εφαρμόζεται σε σήραγγες μεγάλου εύρους σε βραχώμαζες με σχετικώς πτωχά χαρακτηριστικά ή στις περιπτώσεις όπου είναι κρίσιμος ο περιορισμός της σύγκλισης του τοιχώματος ( π.χ. σε αστικές περιοχές). Περιλαμβάνει την υποδιαίρεση της διατομής κατά το πλάτος και διάνοιξη πρώτα της μιας πλευράς και στη συνέχεια της άλλης πλευράς. Σε ιδιαιτέρως δύσκολες συνθήκες η μέθοδος μπορεί να περιλάβει δυο πλευρικές στοές και ενδιάμεσο πυλώνα (twin side-wall drifts with central pillar). Στην περίπτωση αυτή πρώτα διανοίγονται οι πλευρικές στοές και στο τέλος διανοίγεται ο κεντρικός πυλώνας.

➤ Μέτρα άμεσης υποστήριξης

○ Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (shotcrete)

Ο όρος χρησιμοποιείται για σκυροδέματα που συνίστανται από τσιμέντο, νερό και λεπτόκοκκα αδρανή (συνήθως έως 10 mm) τα οποία εφαρμόζονται με εκτόξευση (με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα). Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα παρασκευάζεται είτε ως ξηρό μίγμα (dry mix) με προσθήκη νερού στο στόμιο εκτοξεύσεως είτε ως υγρό μίγμα (wet mix) όπου η ανάμιξη με νερό γίνεται στον αναδευτήρα κατά την παρασκευή του μίγματος. Το υγρό μίγμα χρησιμοποιείται συχνότερα στις περιπτώσεις κατανάλωσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε μεγάλες ποσότητες. Κατά την παρασκευή εκτοξευόμενου σκυροδέματος η αναλογία ανάμιξης είναι η εξής (για την παραγωγή ενός κυβικού μέτρου βάρους 2250-2350 kg):

- Τσιμέντο: 400-450 kg
- Αδρανή (διάσταση κόκκου έως 10mm): 1600-1700 kg
- Παιπάλη πυριτίου (micro-silica): 30-50 kg
- Επιταχυντής πήξεως: 10-15 kg
- Νερό: 200-250 kg

Η παιπάλη πυριτίου είναι μια λεπτόκοκκη ποζουλάνη η οποία αντιδρά με το υδροξείδιο του ασβεστίου ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) που παράγεται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου και συντελεί στην αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος και τη μείωση της διαπερατότητάς του. Επιπλέον με την προσθήκη της ποζουλάνης επιτυγχάνεται μείωση της αναπήδησης (rebound) κατά την εκτόξευση, βελτίωση της πρόσφυσης

στη βραχόμαζα και δυνατότητα αύξησης του πάχους της στρώσης του νωπού σκυροδέματος (λόγω αύξησης του ιξώδους και της πρόσφυσης) έως και σε 200mm.

Η αντοχή και η πλαστιμότητα του εκτοξευόμενου σκυροδέματος μπορούν να αυξηθούν με την προσθήκη μεταλλικών ινών (steel fibres) οι οποίες δρουν ως οπλισμός. Η προσθήκη μεταλλικών ινών ως οπλισμού του εκτοξευόμενου σκυροδέματος τείνει να αντικαταστήσει την όπλιση με μεταλλικά πλέγματα (wire mesh reinforcement). Η συνήθης αναλογία μεταλλικών ινών είναι 40-60 kg ανά κυβικό μέτρο σκυροδέματος. Η προσθήκη μεταλλικών ινών πλεονεκτεί ως προς τη χρήση μεταλλικού πλέγματος και για τους εξής λόγους:

1. Δεν προκαλεί αυξημένη αναπήδηση (rebound) του σκυροδέματος όπως το μεταλλικό πλέγμα.
2. Δεν υπόκειται σε ηλεκτρολυτική διάβρωση (corrosion) επειδή οι ίνες δεν είναι συνεχείς όπως το μεταλλικό πλέγμα.
3. Η χρήση των ινών είναι ταχύτερη και κατασκευαστικά ευκολότερη απ' ό,τι η χρήση μεταλλικού πλέγματος ιδίως στην περίπτωση που η επιφάνεια της βραχόμαζας είναι αρκετά ανώμαλη.

#### ο Αγκύρια βράχου

Τα αγκύρια βράχου διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

(α) Προεντεταμένα αγκύρια, (tensioned cables) που αποτελούνται από χαλύβδινους τένοντες (strands) και βασίζονται στην ενεργητική φόρτιση της βραχόμαζας λόγω της προέντασης.

(β) Παθητικά αγκύρια (rock-bolts) των οποίων η λειτουργία βασίζεται στη φόρτισή τους λόγω της παραμόρφωσης της βραχόμαζας. Τα παθητικά αγκύρια διακρίνονται σε αγκύρια συνεχούς πρόσφυσης (fully bonded) και πρόσφυσης άκρου (end anchored). Τα αγκύρια πρόσφυσης άκρου είναι συνήθως τύπου διαστελόμενης κεφαλής.

Στα αγκύρια συνεχούς πρόσφυσης ανήκουν οι εξής τύποι:

(α) Οι ηλώσεις βράχου (grouted nails) που αποτελούνται από μια χαλύβδινη ράβδο (τυπικά ράβδο οπλισμού St1V διαμέτρου 20-25mm) η οποία τοποθετείται εντός οπής στη βραχόμαζα ( διαμέτρου 38-50mm) που πληρούται με ένεμα (τσιμεντένεμα ή ένεμα συνθετικής ρητίνης). Οι ηλώσεις αυτές είναι συνήθως προσωρινές (δηλαδή έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής) μπορούν όμως να λειτουργήσουν και ως μόνιμες με κατάλληλη προστασία από τη διάβρωση (double corrosion protection).

(β) Οι ηλώσεις χωρίς ενεμάτωση τύπου Swellex (που παράγονται από την εταιρεία Atlas-Corco) ή τύπου Split-Set (που παράγονται από την εταιρεία IngersollRand). Οι ηλώσεις αυτές αποτελούνται από κοίλη μεταλλική διατομή και αποκτούν συνεχή πρόσφυση με τη βραχόμαζα με εισπίεση νερού στο εσωτερικό της διατομής που προκαλεί τη διόγκωσή της. Λόγω έλλειψης προστασίας από τη διάβρωση αλλά και λόγω της λεπτότοιχης διατομής τα αγκύρια αυτά έχουν μικρή διάρκεια ζωής. Το κύριο πλεονέκτημά τους είναι ότι αναλαμβάνουν φορτία πολύ γρήγορα επειδή δεν

απαιτούν την πήξη του ενέματος για την επίτευξη πρόσφυσης με την περιβάλλουσα βραχόμαζα.

- Χαλύβδινες νευρώσεις

Οι χαλύβδινες νευρώσεις λειτουργούν κυρίως ως σπλισμός του εκτοξευόμενου σκυροδέματος για την αύξηση της δυσκαμψίας και της πλαστιμότητάς του αλλά και για τη βελτίωση της δυνατότητας ανάληψης φορτίων. Οι χαλύβδινες νευρώσεις τοποθετούνται κατά τη διατομή της σήραγγας και είναι των εξής τύπων:

1. Τυποποιημένες διατομές, συνήθως πλατύπελμες HEB100-160.
2. Δικτυωτά πλαίσια (lattice girders) που αποτελούνται από ράβδους σπλισμού και συνδετήρες με τη μορφή χωροδικτυώματος.
3. Συστοιχίες χαλύβδινων ράβδων σπλισμού (π.χ. 4-6 ράβδοι Φ28 σε παράλληλη διάταξη συνδεδεμένες με εγκάρσιους συνδετήρες σε αποστάσεις της τάξεως του μέτρου).

- Σχεδιασμός των μέτρων άμεσης υποστήριξης

Ο σχεδιασμός των μέτρων άμεσης υποστήριξης μπορεί να γίνει με αναλυτικές μεθόδους από τις οποίες υπολογίζονται τα φορτία στην άμεση υποστήριξη της σήραγγας και στη συνέχεια ελέγχεται η επάρκεια των μέτρων υποστήριξης για την ανάληψη των φορτίων αυτών. Έχουν αναπτυχθεί και εμπειρικές μέθοδοι εκτίμησης των απαιτούμενων μέτρων άμεσης υποστήριξης. Μια τέτοια μέθοδος είναι η μέθοδος NGI (βλέπε Σχήμα 5) που βασίζεται στο σύστημα Q.

- Παρακολούθηση της συμπεριφοράς σηράγγων

#### Γενικά

Η επιτυχής διάνοιξη και προσωρινή υποστήριξη σηράγγων με τη μέθοδο NATM βασίζεται σε σημαντικό βαθμό στη συστηματική παρακολούθηση της συμπεριφοράς της σήραγγας και στη συνεχή προσαρμογή των χαρακτηριστικών της διάνοιξης και υποστήριξης με βάση τα αποτελέσματα της παρακολούθησης (π.χ. τροποποίηση του βήματος εκσκαφής και της διαδικασίας τοποθέτησης των μέτρων προσωρινής υποστήριξης, πύκνωση ή αραιώση των μέτρων προσωρινής υποστήριξης, τροποποίηση του πάχους του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, τροποποίηση του μήκους των αγκυρίων, προσθήκη αγκυρίων σε χαρακτηριστικές θέσεις κλπ). Η παρακολούθηση της συμπεριφοράς της σήραγγας γίνεται μέσω συστηματικών μετρήσεων και κατάλληλης αξιολόγησής των. Κατά τη διάνοιξη και υποστήριξη σηράγγων συνήθως μετρούνται τα εξής:

1. Μετακινήσεις: του τοιχώματος της σήραγγας, της βραχόμαζας που περιβάλλει τη σήραγγα και της επιφάνειας του εδάφους.

2. Πιέσεις: της βραχόμαζας στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, υδατικές πιέσεις στο έδαφος που περιβάλλει τη σήραγγα.

3. Δυνάμεις: εφελκυσμός στα αγκύρια, θλίψη/κάμψη στα χαλύβδινα πλαίσια.

4. Παροχή διηθήσεων υπογείων υδάτων. Στα επόμενα περιγράφονται συνοπτικά οι μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις ανωτέρω μετρήσεις. Σημειώνεται ότι το είδος των μετρήσεων, οι θέσεις τοποθέτησης των οργάνων μέτρησης, η συχνότητα των μετρήσεων, οι τρόπος της αξιολόγησής τους, τα αποδεκτά όρια των μετρήσεων και, τέλος, οι ενέργειες που θα πρέπει να αναλαμβάνονται σε περίπτωση που οι μετρήσεις υπερβούν τα αποδεκτά όρια θα πρέπει να αποτελούν αντικείμενο ειδικής μελέτης. Δεν είναι σπάνια η περίπτωση που οι μετρήσεις γίνονται μεν αλλά δεν αξιολογούνται ή δεν είναι γνωστά τα μέγιστα αποδεκτά όρια ή, τέλος, δεν έχουν αποφασισθεί οι ενέργειες σε περίπτωση υπέρβασης των αποδεκτών ορίων.

➤ Μετρήσεις των μετακινήσεων

○ Μετακινήσεις του τοιχώματος της σήραγγας

1. Τοπογραφική αποτύπωση της μετακίνησης σε τρεις άξονες (3-D convergence). Αμέσως μετά την εκσκαφή της σήραγγας τοποθετούνται στο τοίχωμα (με κατάλληλα βλήτρα) οπτικοί ανακλαστήρες (reflex targets). Οι συντεταγμένες στο χώρο των ανακλαστήρων μετρούνται σε τακτά διαστήματα με τοπογραφικό όργανο (total station). Με τον τρόπο αυτό μπορεί να παρακολουθείται η χρονική εξέλιξη της μετακίνησης ενός σημείου του τοιχώματος της σήραγγας ή η σχετική απόσταση μεταξύ δυο σημείων του τοιχώματος. Η ακρίβεια των μετρήσεων εξαρτάται από την απόσταση σκόπευσης, την ακρίβεια του οργάνου αλλά και άλλους παράγοντες όπως η θερμοκρασία του αέρα και η παρουσία καυσαερίων στη σήραγγα. Η συνήθης ακρίβεια τέτοιων μετρήσεων είναι 2-4mm.

2. Χωροσταθμική υψομετρική αποτύπωση (levelling). Με τοπογραφικό όργανο (χωροβάτη) μετράται το υψόμετρο στόχων που τοποθετούνται στο δάπεδο και τις παρειές της σήραγγας. Η συνήθης ακρίβεια των μετρήσεων αυτών είναι 1-2mm.

3. Μέτρηση της απόστασης μεταξύ δυο σημείων στο τοίχωμα της σήραγγας με μεταλλική μετροταινία (tape extensometer). Η ακρίβεια των μετρήσεων είναι της τάξεως του 0.5mm.

○ Μετακινήσεις της βραχόμαζας

1. Εκτασιόμετρα ράβδου τοποθετούμενα εντός γεωτρήσεων (multi-point rod extensometers). Εντός γεώτρησης τοποθετούνται μεταλλικές ράβδοι των οποίων το ένα άκρο πακτώνεται εντός της γεώτρησης (με κάποιο σύστημα αγκύρωσης) και το άλλο άκρο προεξέχει ελαφρώς από το στόμιο της γεώτρησης. Στην ίδια γεώτρηση μπορούν να τοποθετηθούν περισσότερες της μιας ράβδοι που πακτώνονται σε διάφορα βάθη. Με το όργανο αυτό μετράται η σχετική μετακίνηση του σημείου πακτώσεως της ράβδου ως προς το στόμιο της γεώτρησης (δηλαδή ως προς το



τοίχωμα της σήραγγας, εφόσον οι γεωτρήσεις γίνονται από το εσωτερικό της σήραγγας.

2. Μαγνητικά εκτασιόμετρα τοποθετούμενα εντός γεωτρήσεων (magnetic probe extensometers). Εντός γεώτρησης τοποθετείται πλαστικός σωλήνας ο οποίος φέρει μεταλλικούς δακτυλίους σε τακτά διαστήματα (π.χ. ανά 0.50m). Ο σωλήνας πακτώνεται εντός της γεωτρήσεως με τσιμεντένεμα. Κατά τη μέτρηση, εισάγεται στο σωλήνα μια βολίδα η οποία με μαγνητική μέθοδο μετρά την απόσταση μεταξύ των δακτυλίων. Η σχετική μετακίνηση των δακτυλίων δίνει την παραμόρφωση της βραχόμαζας αφού οι δακτύλιοι παρακολουθούν τη μετακίνηση της βραχόμαζας.

3. Ολισθαίνοντα εκτασιόμετρα (sliding micrometer). Εντός γεώτρησης τοποθετείται ειδικός πλαστικός σωλήνας ο οποίος σε τακτά διαστήματα φέρει μεταλλικούς δακτυλίους κατάλληλου σχήματος (measuring marks). Ο σωλήνας πακτώνεται εντός της γεώτρησης με τσιμεντένεμα. Κατά τη μέτρηση εισάγεται στο σωλήνα μεταλλικό στέλεχος που ολισθαίνει κατά μήκος του σωλήνα και σταματά (κλειδώνει) στις θέσεις των μεταλλικών δακτυλίων. Με τον τρόπο αυτό μετράται η σχετική απόσταση μεταξύ των δακτυλίων με μεγάλη ακρίβεια (της τάξεως του 0.01mm). Η σχετική μετακίνηση των δακτυλίων δίνει την παραμόρφωση της βραχόμαζας αφού οι δακτύλιοι παρακολουθούν τη μετακίνηση της βραχόμαζας.

4. Αποκλισιόμετρα (inclinometers). Εντός γεώτρησης τοποθετείται (και πακτώνεται με τσιμεντένεμα) ειδικός πλαστικός σωλήνας. Κατά τη μέτρηση εισάγεται εντός του σωλήνα ειδική βολίδα η οποία εφαρμόζει ακριβώς και ολισθαίνει κατά μήκος του σωλήνα. Η βολίδα διαθέτει ένα ηλεκτρονικό σύστημα (ηλεκτρονικό εκκρεμές) με το οποίο καταγράφεται η απόκλιση από την κατακόρυφο της βολίδας σε κάθε θέση. Με ολοκλήρωση των αποκλίσεων μπορεί να υπολογισθεί η μετακίνηση του σωλήνα σε διεύθυνση εγκάρσια προς τον άξονά του. Τα αποκλισιόμετρα συνήθως τοποθετούνται από την επιφάνεια του εδάφους σε κατακόρυφη διεύθυνση και μετρώνται οι οριζόντιες αποκλίσεις του σωλήνα με την πάροδο του χρόνου.

ο Μετακινήσεις (βυθίσεις) της επιφάνειας του εδάφους  
Οι βυθίσεις (καθιζήσεις) της επιφάνειας του εδάφους λόγω της κατασκευής υπογείων έργων μπορούν να μετρηθούν με τα εξής όργανα:

1. Με χωροσταθμική υψομετρική αποτύπωση (levelling) με χρήση χωροβάτη.
2. Με οριζοντίως διατεταγμένα αποκλισιόμετρα (electro-levels). Με τα όργανα αυτά μετράται η απόκλιση από την οριζόντια διεύθυνση σε διάφορα σημεία μιας πρακτικώς οριζόντιας γραμμής (π.χ. κατά μήκος του δαπέδου ενός κτιρίου). Με ολοκλήρωση των αποκλίσεων μπορεί να υπολογισθούν οι βυθίσεις των σημείων της αρχικώς οριζόντιας γραμμής.
3. Με όργανα μέτρησης του ανοίγματος ρωγμών (crack meters). Τέτοια όργανα τοποθετούνται π.χ. στη μεσοτοιχία γειτονικών κτιρίων με σκοπό να μετρηθεί η σχετική απομάκρυνσή τους.

#### ❖ Μετρήσεις των πιέσεων

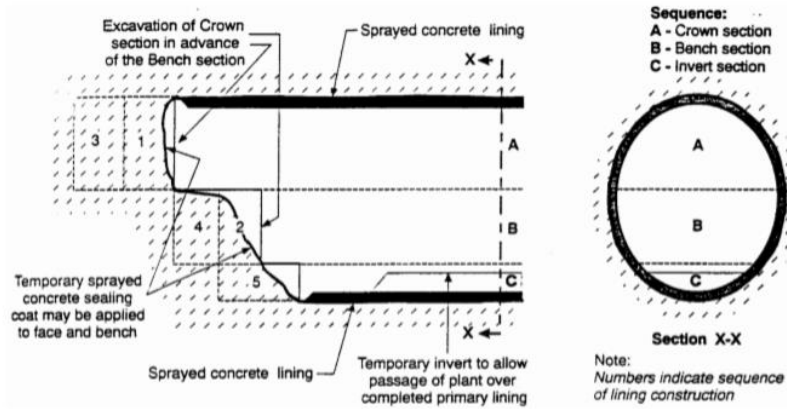
1. Οι εδαφικές πιέσεις στην επένδυση της σήραγγας μπορούν να μετρηθούν με κύτταρα πίεσεως (pressure cells) που τοποθετούνται στη διεπιφάνεια κατά την κατασκευή της επένδυσης.
2. Οι υδατικές πιέσεις στο έδαφος γύρω από μια σήραγγα μπορούν να μετρηθούν με πιεζόμετρα. Τα πιεζόμετρα είναι διαφόρων τύπων: υδραυλικά (stand-pipe), ηλεκτρικά (vibrating wire, strain gauge) ή πνευματικά (pneumatic).

#### ❖ Μετρήσεις δυνάμεων

1. Φορτία εφελκόμενων ή θλιβόμενων στοιχείων (π.χ. αγκύρια, χαλύβδινα πλαίσια κλπ) μπορούν να μετρηθούν με την τοποθέτηση ηλεκτρομηκυσιομέτρων (strain gauges) ή μετρητών φορτίου (load cells) κατά την κατασκευή των φορτιζόμενων στοιχείων. Στην περίπτωση που είναι επιθυμητή η μέτρηση του φορτίου σε ένα φορτιζόμενο στοιχείο στο οποίο δεν έχει τοποθετηθεί εκ των προτέρων σύστημα μέτρησης, η συνηθέστερη μέθοδος είναι η μέθοδος της αποφόρτισης με δειγματοληψία (overcoring). Κατά τη μέθοδο αυτή ανοίγεται μια μικρή οπή στο φορτιζόμενο στοιχείο, τοποθετείται ένα σύστημα τριών ηλεκτρομηκυσιομέτρων τα οποία στη συνέχεια πακτώνονται εντός της οπής με εποξειδική ρητίνη. Στη συνέχεια αφαιρείται ένα αρκετά μεγάλο τμήμα του φορτιζόμενου στοιχείου που περιλαμβάνει και τα ηλεκτρομηκυσιόμετρα. Κατά την αφαίρεση (overcoring) το στοιχείο αποφορτίζεται και τα ηλεκτρομηκυσιόμετρα φορτίζονται με φορτίο ίσο και αντίθετο με το φορτίο του στοιχείου πριν αφαιρεθεί.

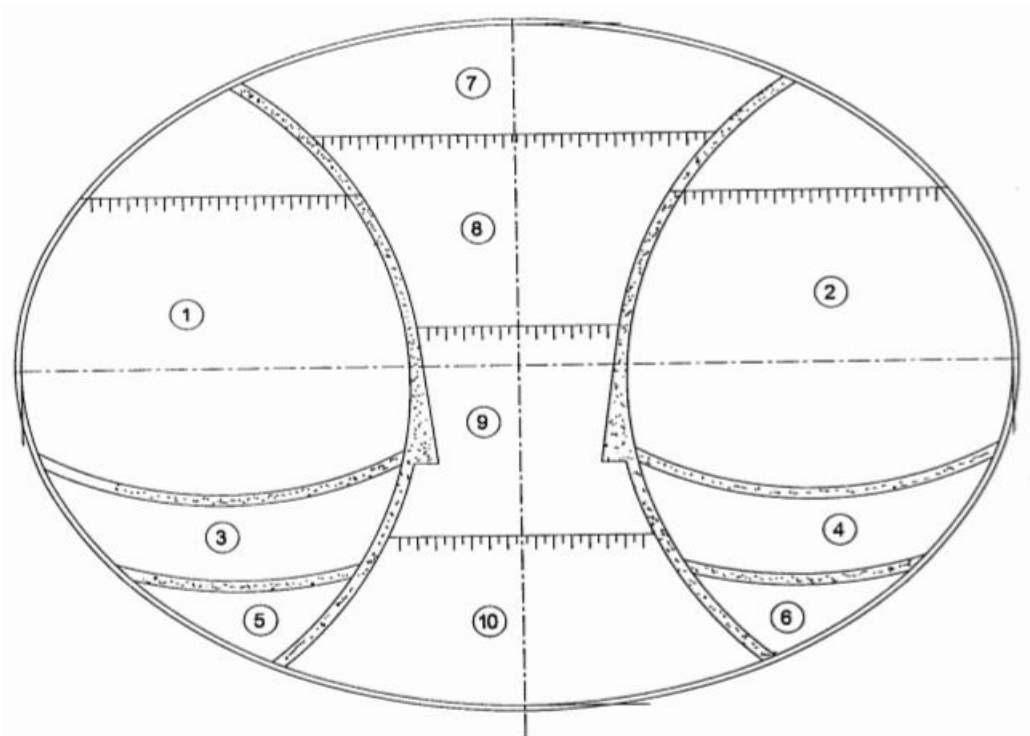
#### ❖ Μετρήσεις παροχών

- Η μέτρηση υδατικών παροχών εντός της σήραγγας γίνεται με παροχόμετρα ή με σύστημα ελεγχόμενης υπερχειλίσης.

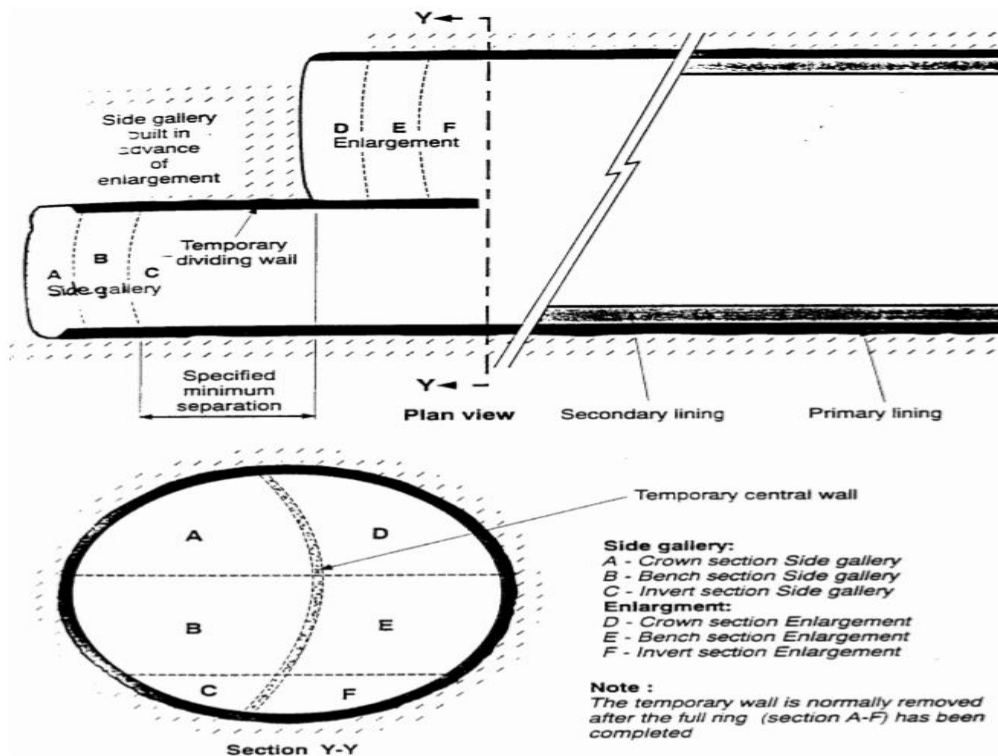


Εικόνες:

ΕΙΚΟΝΑ 1: Διάνοιξη σήραγγας σε τρεις φάσεις καθ' ύψος ( top heading-bench-invert)



ΕΙΚΟΝΑ 2: Διάνοιξη της σήραγγας με δύο πλευρικές στοές και κεντρικό πυλώνα.

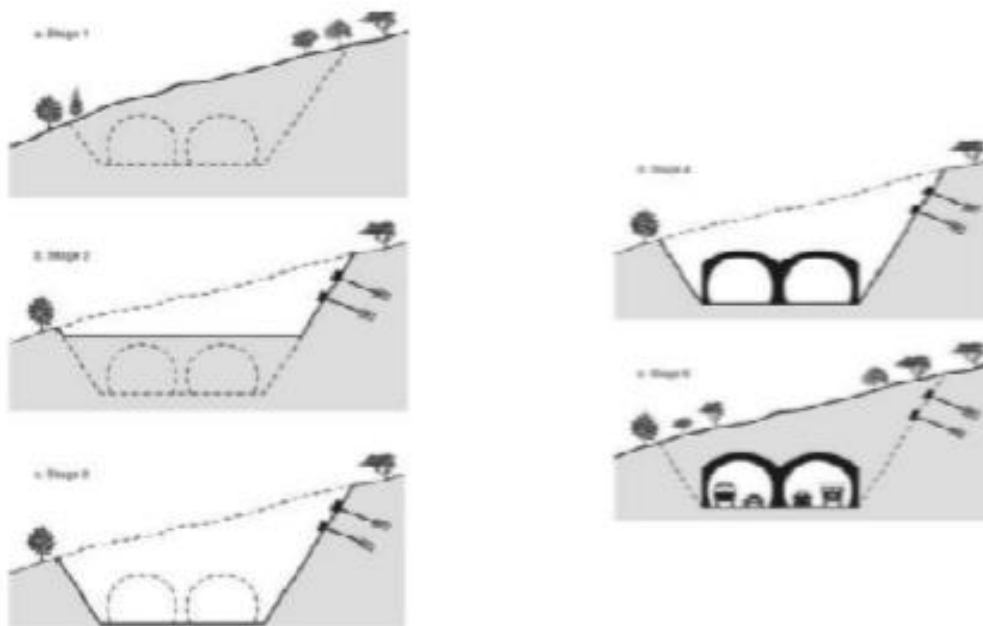


ΕΙΚΟΝΑ 3: Διάνοιξη της σήραγγας σε έξι φάσεις καθ' ύψος.

### 1.3.2 ΜΕΘΟΔΟΣ CUT-COVER

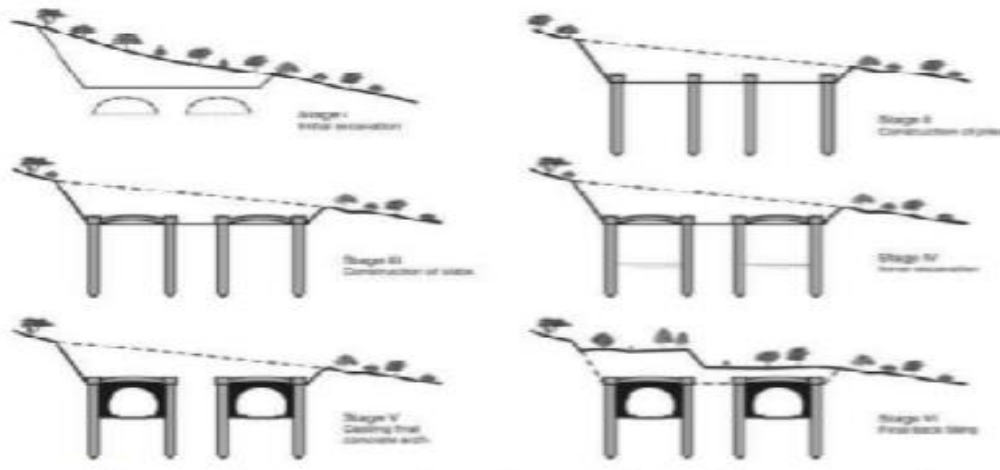
Η μέθοδος ανοικτού ορύγματος χρησιμοποιείται εδώ και χρόνια στην κατασκευή αστικών υπόγειων σιδηροδρόμων καθώς επίσης και, σε υπεραστικά προγράμματα όπως στην κατασκευή ρηχών σχετικά μικρού μήκους σηράγγων οδοποιίας και σιδηροδρόμων. Τελευταία ή μέθοδος έχει υιοθετηθεί καταλλήλως, ώστε να διευκολύνει την κατασκευή των στομίων εισόδων κι εξόδων σηράγγων. Η βασική ιδέα είναι η εκσκαφή μίας τάφρου ή οποία πρέπει να σκεπαστεί και η επί τόπου σκυροδέματος της σήραγγας ή οποία εν τέλει θα καλυφθεί με υλικά επιχωματώσεις.

Η τεχνική αυτή περιλαμβάνει σταδιακή εκσκαφή κι εφαρμογή της υποστήριξης των παρειών των εκσκαφών με προσωρινούς τοίχους και συστήματα σύσφιξης. Σε περίπτωση εξαιρετικά δυσμενών γεωτεχνικών όρων, ή προενίσχυση κρίνεται απαραίτητη προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν ή να αποφευχθούν τα προβλήματα σταθερότητας κατά τη διάρκεια της φάσης ανασκαφής. Μόλις επιτευχθεί το επίπεδο θεμελιώσης, ξεκινούν οι διαδικασίες σκυροδέματος της σήραγγας, ακολουθούμενες από τη στεγανοποίηση και την τοποθέτηση της τελικής επίχωματος .



ΕΙΚΟΝΑ 4: Κατασκευαστικά στάδια μεθόδου ανοικτού ορύγματος.

Παραλλαγή της μεθόδου ανοικτής εκσκαφής αποτελεί και οι μέθοδος επικάλυψης και εκσκαφής ( στην ξένη ορολογία cover& cut ή αλλιώς top-down). Η διαδικασία κατασκευής περιλαμβάνει έξι ευδιάκριτα στάδια συμπεριλαμβανομένων, κατασκευή πλακών, απομάκρυνσης γαιών και επίχρωματος.



ΕΙΚΟΝΑ 5: Φάσεις κατασκευής κατά την μέθοδο Επικάλυψης-Εκσκαφής .

- Στάδιο I : εκτελείται η αρχική ανασκαφή και βαθμολόγηση. Το επίπεδο ρυθμίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπει την πρόσβαση και τη μετακίνηση του εξοπλισμού για τη διάτρηση υποστυλώσεων και την κατασκευή πλακών.
- Στάδιο II : κατασκευάζεται μια σειρά υποσυστημάτων από κάθε πλευρά του τμήματος σηράγγων.

- Στάδιο III : τοποθετούνται οι αντηρίδες που ενώνουν τα υποστρώματα και κατασκευάζεται η άνω πλάκα.
- Στάδιο IV : εκτελείται η «κάτω» εκσκαφή απολύτως προστατευμένη από τα υποστρώματα /άνω πλάκα. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με ίνες εφαρμόζεται στην επιφάνεια βράχου, στα διαστήματα μεταξύ των υποσυστημάτων.
- Στάδιο V : κατασκευάζεται η εσωτερική επένδυση της σήραγγας.
- Στάδιο VI: πραγματοποιούνται οι διαδικασίες επιχωμάτωσης για περιβαλλοντικούς, γεωτεχνικούς ή για λόγους αποκατάστασης δικτύων.

Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ο μειωμένος χρόνος εκτεταμένων εργοταξιακών καταλήψεων και η ταχύτητα αποκατάστασης και απόδοσης σε χρήση της περιοχής ( οδική κυκλοφορία, πλατείες, κλπ), και τελικώς η αποφυγή μακρόχρονης όχλησης των λειτουργιών της πόλης. Τα μειονεκτήματα της είναι κυρίως για αυξημένο κόστος και η πολυπλοκότερη κατασκευαστική διαδικασία .

### 1.3.3 ΜΕΘΟΔΟΣ TBM

Το μηχάνημα σήραγγων (TBM – Tunnel Boring Machine) είναι ένα μηχάνημα που χρησιμοποιείται για την εκσκαφή σήραγγων πετρωμάτων. Μπορούν να σκάψουν μέσα σε σκληρό πέτρωμα, άμμο και οτιδήποτε ενδιάμεσα. Η διάμετρος της σήραγγας μπορεί να είναι από ένα μέτρο ( με τη χρήση μικρό- TBM) έως σχεδόν 16μέτρα στις μέρες μας. Σήραγγες μικρότερες του ενός μέτρου σε διάμετρο μπορούν να εκσκαφθούν μέσω οριζόντιας κατευθυνόμενης διάτρησης αντί του TBM

Μηχανήματα διάνοιξης σήραγγων χρησιμοποιούνται σαν εναλλακτική στις μεθόδους διάτρησης και έκρηξης (D&B,Drilling and Blasting) σε πετρώδες έδαφος και στις συμβατικές χειρωνακτικές μεθόδους σε χώμα . Ένα TBM έχει τα πλεονεκτήματα της ελαχιστοποίησης της διαταραχής του περιβάλλοντος εδάφους και της δημιουργίας ενός λείου τοιχώματος της σήραγγας .Αυτό μειώνει σημαντικά το κόστος επένδυσης των τοιχωμάτων της σήραγγας και καθιστά τα TMB περισσότερα κατάλληλα για χρήση σε έντονα αστικοποιημένες περιοχές. Το κυριότερο μειονέκτημα είναι το υψηλό αρχικό κόστος. Τα TMB είναι ακριβά στην κατασκευή τους , δύσκολο να μεταφερθούν και απαιτούν σημαντικές υποδομές . Το μεγαλύτερο μηχάνημα κατασκευάστηκε από την Γερμανική εταιρία Herren knecht AG για να σκάψει την σήραγγα Γκόττφριντ μήκους 57 χιλιομέτρων. Έχει διάμετρο 9.58 μέτρα.

#### ➤ Ιστορική εξέλιξη

Η πρώτη πετυχημένη ασπίδα κοπής αναπτύχθηκε από τον Μαρκ Ισαμπάρντ Μπρουνέλ (sir Marc Isambard Brunel ) για την διάνοιξη της σήραγγας του Τάμεση στο Λονδίνο το 1825. Βέβαια, αυτή ήταν μόνο η εφεύρεση της ιδέας ασπίδας κοπής και δεν αφορούσε την κατασκευή ενός ολοκληρωμένου μηχανήματος διάνοιξης σήραγγων, καθώς το σκάψιμο ακόμα έπρεπε να γίνει με τις μεθόδους της εποχής ( κυρίως χειρωνακτική εργασία )

Το πρώτο μηχάνημα διάνοιξης σηράγγων αναφέρεται ότι κατασκευάστηκε από τον Χένρι Τζόζεφ Μάους (Henri Joseph Maus) και ονομάζονταν «τεμαχιστής βουνών» (Mountain Slicer). Ήταν παραγγελία του βασιλιά της Σαρδηνίας Αλμπερτ το 1845 για να ανοιχθεί η σιδηροδρομική σήραγγα Φρέγιους μεταξύ Γαλλίας και Ιταλίας διαμέσου των Άλπεων. Ο Μάους το κατασκεύασε το 1846 σε ένα εργοστάσιο όπλων κοντά στο Τορίνο. Βασικά αποτελούνταν από περισσότερες από 100 κρουστικά δράπανα τοποθετημένα μπροστά σε μηχανήματα μεγέθους βαγονιού τρένου με μηχανική ισχύ από την είσοδο της σήραγγας. Δυστυχώς η επανάσταση του 1848 επηρέασε ανεπανόρθωτα την χρηματοδότηση του έργου και η σήραγγα ολοκληρώθηκε 10 χρόνια αργότερα, με τη χρήση εξίσου καινοτόμων αλλά λιγότερο ακριβών μεθόδων, όπως πνευματικά δράπανα.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής το πρώτο μηχάνημα διάνοιξης σηράγγων που κατασκευάστηκε ήταν φτιαγμένο από χυτοσίδηρο και χρησιμοποιήθηκε το 1853 κατά την κατασκευή τη σήραγγας Χούσακ (Hoosac tunnel). Έσκαψε 3 μέτρα μέσα στο πέτρωμα και στη συνέχεια έπαθε βλάβη. Η σήραγγα τελικά ολοκληρώθηκε περισσότερο από 20 χρόνια αργότερα χρησιμοποιώντας (όπως και στην σήραγγα Φρέγιους) λιγότερο φιλόδοξες μεθόδους. Στις αρχές της δεκαετίας του 1950 ο Φ.Κ. Μίτρη κέρδισε ένα συμβόλαιο για την κατασκευή μιας εκτροπής για το φράγμα Οάχε στην Νότια Ντακότα, και συμβουλευτήκε τον Τζέιμς Σ. Ρόμπινς για την διάνοιξη της εκτροπής μέσα από ιδιαίτερα δύσκολο έδαφος. Ο Ρόμπινς κατασκεύασε ένα μηχάνημα που μπορούσε να σκάψει 55 μέτρα σε 24 ώρες που ήταν δέκα φορές γρηγορότερα από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο εκσκαφής της εποχής.

Η εφεύρεση που έκανε τα μηχανήματα διάνοιξης σηράγγων αποτελεσματικά οικονομικά και αξιόπιστα ήταν η περιστρεφόμενη κεφαλή, η οποία βασίζεται στις ίδιες αρχές με την κεφαλή με κρουστικά δράπανα του Χένρι Τζόζεφ Μάους αλλά με βελτιωμένη απόδοση. Η βελτίωση οφείλεται στην μείωση του αριθμού των στοιχείων τριβής και στην περιστροφή τους σαν σύνολο μπροστά στο μέτωπο του εδάφους.

Αρχικά ο Ρόμπινς χρησιμοποίησε ισχυρά καρφιά που περιστρέφονταν σε κυκλική κίνηση για να σκάψουν το μέτωπο την εκσκαφής, αλλά γρήγορα ανακάλυψε ότι όσο ισχυρά και να ήταν τα καρφιά με μεγαλύτερης διάρκειας ζωής δίσκους κοπής το πρόβλημα αυτό μειώθηκε σημαντικά. Από τότε όλα τα πετυχημένα μηχανήματα διάνοιξης σηράγγων έχουν περιστρεφόμενες κεφαλές με δίσκους κοπής.

Οι κυριότεροι λόγοι οι οποίοι οδήγησαν στην ανάπτυξη της μηχανικής όρυξης σηράγγων, είναι το γεγονός ότι η χρησιμοποίηση εκρηκτικών υλών για την θραύση του πετρώματος έχει ως αποτέλεσμα τον επηρεασμό τον επηρεασμό της περιοχής γύρο από την εκσκαφή.

Επιπλέον ο κύκλος εκσκαφής με την χρήση εκρηκτικών είναι ασυνεχής υπό την έννοια ότι μεσολαβούν «νεκρά» χρονικά διαστήματα μεταξύ των διαφόρων φάσεων. Η μηχανική όρυξη σηράγγων πραγματοποιείται με τις Μηχανικές Ολομέτωπης Κοπής (TBM-Tunnel Boring Machine).

Τα μηχανήματα ολομέτωπης κοπής (Tunnel Boring Machines, TBM και οι ασπίδες, shields) χρησιμοποιούνται για την διάνοιξη σηράγγων μέσα σε διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς. Μπορεί να χρησιμοποιηθούν το ίδιο αποτελεσματικά για την διάνοιξη μέσα από σκληρά ή χαλαρά πετρώματα ή εδάφη. Οι διάμετροι διάνοιξης

κυμαίνονται από 1m έως 15m (με τάση να φθάσουν τα 19 m) και οι ταχύτητες προχώρησης ανάλογα με τις γεωλογικές συνθήκες από μερικά εκατοστά /εβδομάδα έως και 130 μέτρα/εβδομάδα.



ΕΙΚΟΝΑ 6: α) TBM κατά την έξοδο του από τη σήραγγα σε βραχώμαζα, β) TBM που χρησιμοποιήθηκε στο μετρό Αθηνών.

Ένα TBM αποτελείται από ένα ή δυο ασπίδες, μεταλλικούς κυλίνδρους και από συστήματα υποστήριξης. Στο ένα άκρο της ασπίδας τοποθετείται η κοπτική κεφαλή. Η επιλογή της κοπτικής κεφαλής εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους. Πίσω από τον θάλαμο μια σειρά υδραυλικών γρύλων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την προώθηση του μηχανήματος. Οι γρύλοι, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την προώθηση του μηχανήματος. Οι γρύλοι τοποθετούνται στην επένδυση της σήραγγας που βρίσκεται πίσω από το μηχανήμα και εν συνεχεία το ωθούν προς την αντίθετη κατεύθυνση.

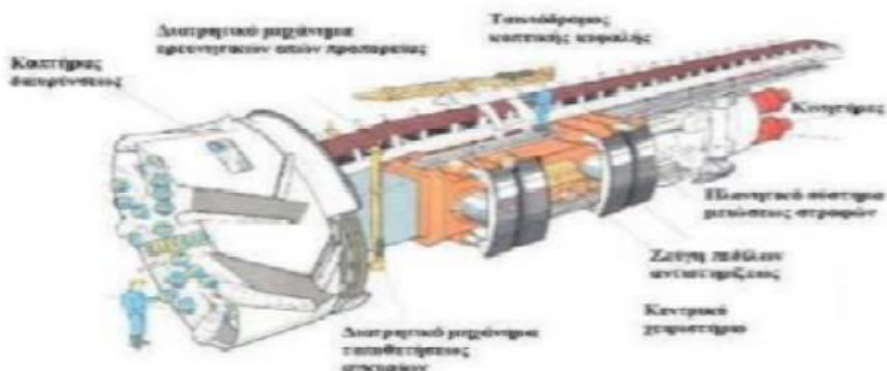
Η επιλογή μονής ή διπλής ασπίδας εξαρτάται κυρίως από τη γεωλογία της περιοχής καθώς και από την ταχύτητα προχώρησης. Διπλές ασπίδες χρησιμοποιούνται σε χαλαρά εδάφη ή ρηγματογόνες ζώνες όπου απαιτείται μεγάλη ταχύτητα προχώρησης. Αντίστοιχα η μονή ασπίδα χρησιμοποιείται σε σκληρά συμπαγή πετρώματα.

- 1) Μηχανές χωρίς ασπίδα ( Gripper TBM). Ένα Gripper TBM είναι κατάλληλο για εξόρυξη βραχομαζών που η ευστάθεια του μετώπου και του ανυποστούλωτου τμήματος της σήραγγας μπορεί να επιτευχθεί με προσωρινά μέσα υποστούλωσης όπως κοχλίες, μεταλλικά πλαίσια και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.
- 2) TBM με ασπίδα. Τα μηχανήματα ολομέτωπης κοπής με ασπίδα χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που η βραχώμαζα λόγω της μικρής της



αντοχής δεν μπορεί να παραλάβει τις δυνάμεις στήριξης της μηχανής TBM, που είναι απαραίτητες για την μετάδοση των δυνάμεων πρόωσης.

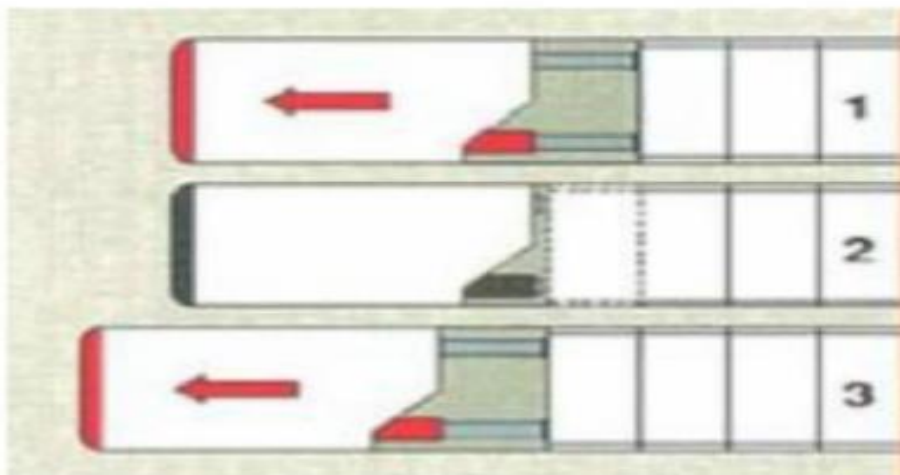
- 3) Μηχανήματα με ισορροπία πίεσης γαιών (Earth Pressure Balance, EPB) . Τα μηχανήματα EPB χρησιμοποιούνται σε τμήματα σήραγγες που βρίσκονται σε έδαφος και πέτρωμα μαζί. Εφαρμόζονται επίσης σε μεταβαλλόμενες γεωλογικές συνθήκες ή σε μικτές γεωλογίες μετώπων και σε πολύ αποσαθρωμένα πετρώματα.



ΕΙΚΟΝΑ 7: Τυπική σχηματική διάταξη μηχανήματος ολομετώπου κοπής .

Συνοπτικά ο κύκλος λειτουργίας των μηχανήματων αυτής της κατηγορίας, είναι ο εξής :

1. Διάνοιξη μετώπου
2. Τοποθέτηση τελικής επένδυσης/ στερέωση με την βοήθεια των πέλδων αντιστήριξης
3. Συνέχιση διάνοιξης μετώπου



## ΕΙΚΟΝΑ 8: Φάσεις λειτουργίας TBM.

Επίσης όπως προαναφέρθηκε στην κατηγορία αυτή των μηχανικών μεθόδων κατατάσσεται και η μέθοδος τμηματικής εκσκαφής, στην οποία χρησιμοποιούνται μηχανήματα σημειακής κοπής ή αλλιώς road headers και υδραυλικά ή πνευματικά σφυριά.

Η χρήση αυτής της μεθόδου ενδείκνυται σε ιδιαίτερα χαλαρά εδάφη, όπου ο κίνδυνος αστοχίας είναι μεγάλος. Ωστόσο, ο ρυθμός των εργασιών εκσκαφής με αυτή την μέθοδο είναι ιδιαίτερα αργός.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : ΥΠΕΔΑΦΟΣ - ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΓΟΥ

### 2.1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Τεχνική γεωλογία: ο κλάδος εκείνος της γεωλογικής επιστήμης που διασφαλίζει ότι οι γεωλογικοί παράγοντες που επηρεάζουν το σχεδιασμό, την κατασκευή, τη λειτουργία και τη συντήρηση των τεχνικών έργων, έχουν επισημανθεί, έχουν κατάλληλα διασφαλισθεί και έχουν σαφώς διατυπωθεί για την σωστή χρήση στη μηχανική πρακτική.

Σκοπός τεχνικής γεωλογίας: Συμβολή στην ομαδοποίηση και ταξινόμηση διαφόρων γεωλογικών ενοτήτων με κοινούς τεχνικογεωλογικούς χαρακτήρες. Συμβολή στην ασφαλή, οικονομική και ορθολογική κατασκευή των πάσης φύσεως τεχνικών έργων. Συμβολή στην καλή λειτουργικότητα των έργων, αναγνωρίζοντας τους κινδύνους αστοχιών, προτείνοντας κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισης.

#### ➤ ΣΤΟΙΧΟΙ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΓΕΩΜΗΧΑΝΙΚΗΣ :

- Η γνώση των τεχνικογεωλογικών χαρακτήρων του εδάφους θεμελίωσης,
- Η πρόγνωση και αποφυγή καταστροφών,
- Η πρόβλεψη αλλαγών στο χώρο από τις τεχνικές εργασίες ( διαμόρφωση τελικής γεωμηχανικής συμπεριφοράς εδάφους θεμελίωσης,
- Η γνώση των συνθηκών αλληλεπίδρασης εδάφους θεμελίωσης – κατασκευής, σε οικονομικότερη και ασφαλέστερη βάση,
- Η λήψη μέτρων προστασίας κατά την κατασκευή αλλά και λειτουργία των τεχνικών έργων
- Η σύνταξη τεχνικογεωλογικών – γεωτεχνικών χαρτών.

Σκοπός γεωλογικής έρευνας: προσδιορισμός του γεωλογικού προσομοιώματος της περιοχής ενδιαφέροντος με την πλήρη διερεύνηση των γεωλογικών, γεωμορφολογικών, τεκτονικών, υδρογεωλογικών και τεχνικών γεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή και τις αλληλεπιδράσεις με το προς κατασκευή έργο.

➤ *Σκοπός γεωτεχνικής έρευνας υπεδάφους:*

Απόληψη στοιχείων (φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων) που απαιτούνται για την Τεχνική αξιολόγηση του υπεδάφους σε σχέση με τις ανάγκες του προς κατασκευή έργου. Σκοπός των ερευνών είναι ο προσδιορισμός του γεωτεχνικού προσομοιώματος (μηχανισμού συμπεριφοράς) Και των παράμετρων σχεδιασμού που θα αποτελέσουν τη βάση των μελετών εδαφομηχανικής ή/ και εδαφομηχανικής για την ανάλυση της συμπεριφοράς των εδαφικών και βραχωδών μαζών υπό την επίδραση εξωτερικών φορτίων.

- Οι γεωλογικές μελέτες αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα των διαφόρων μελετών οποιουδήποτε τεχνικού έργου.
- Σκοπός της γεωλογικής έρευνας και μελέτης είναι η πλήρης διερεύνηση των γεωλογικών, γεωμορφολογιών, τεκτονικών, υδρογεωλογιών και τεχνικογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή και που επηρεάζουν το προς κατασκευή έργο.
- Συγκεντρώνει τις απαραίτητες πληροφορίες για το έδαφος και το γεωπεριβάλλον του, τις επεξεργάζεται κατάλληλα και τις «μεταφράζει» για τα έργα του μηχανικού περιλαμβάνονται σε μια μελέτη τεχνικής.

➤ *Εργασίες που περιλαμβάνονται σε μια μελέτη τεχνικής γεωλογίας:*

Εξέταση και λεπτομερής περιγραφή των τεχνικογεωλογικών χαρακτήρων των λιθολογικών σχηματισμών, όπως συνεκτικότητα, έκταση και βαθμός αποσάθρωσης και εξαλλοίωσης, βαθμός κορεσμού, οι παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή, σεισμική επικινδυνότητα γεωλογικών σχηματισμών καθώς και ο προσδιορισμός της έκτασης και του τύπου των μετακινήσεων πρηνών και κλιτύων. Τεχνική περιγραφή των ασυνεπειών, στατιστικής επεξεργασίας ασυνεχειών. Κατατάξεις βραχώμαζας σύμφωνα με τα διεθνώς γνωστά συστήματα ταξινόμησης (RMR,Q,GSI κ.α.)

Εξέταση της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς των γεωλογικών σχηματισμών της διακύμανσης της στάθμης των υπόγειων νερών και των προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν με την κατασκευή επιχωμάτων και την εκσκαφή πρηνών, τη διάνοιξη σηράγγων.

➤ *ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ :*

- Συγκέντρωση και αξιολόγηση υπαρχόντων γεωλογικών τεχνικογεωλογικών, υδρογεωλογικών, σεισμολογικών και λοιπών στοιχείων.
- Μακροσκοπική εξέταση των γεωλογικών ενοτήτων (τύπος πετρώματος, όρια στρωματογραφική θέση, τεκτονική δομή) με επιτόπου έρευνες υπαίθρου (χαρτογραφής, μετρήσεις κλπ)
- Ερμηνεία αεροφωτογραφιών, δορυφορικών εικόνων, αν υπάρχουν.

- Εξέταση και περιγραφή των γεωμορφολογικών στοιχείων της ευρύτερης περιοχής.

➤ *ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ ΣΤΑ ΤΕΧΙΚΑ ΕΡΓΑ :*

1. Γεωλογικές – τεχνικογεωλογικές μελέτες  
Θεμελίωσης τεχνικών έργων (πχ γέφυρες )  
Φραγμάτων και των ταμειυτήρων τους Λιμνοδεξαμενων ( lagoon)  
Συγκοινωνιακών έργων ( οδικοί και σιδηροδρομικοί άξονες, αεροδρόμια κλπ )  
Σήραγγες και γενικώς υπόγειων έργων  
Λιμενικών έργων  
Επιχωμάτων
2. Υδρογεωλογικές μελέτες
3. Μελέτες γεωλογικής καταλληλότητας για πολεοδόμηση

➤ *ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΙΩΚΟΝΤΑΙ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΜΙΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΈΡΕΥΝΑΣ ΑΦΟΡΟΥΝ ΣΤΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ:*

- a. Της κατανομής της αντοχής, της υδροπερατοτητας, της ικανότητας σε παραμόρφωση και χημική σταθερότητα του εδάφους θεμελίωσης,
- b. Του υπογείου νερού (στάθμη,ροή ιδιότητες, κλπ )
- c. Των φυσικών καταστροφών φαινομένων ( κατολισθητικές τάσεις, σεισμική επικινδυνότητα, κλπ ) και
- d. Των πιθανά πλησιέστερων θέσεων δανειοδότησης υλικών, σε περίπτωση τεχνικών έργων μεγάλου ενδιαφέροντος.

➤ *ΟΙ ΚΥΡΙΕΣ ΦΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗ ΔΙΕΘΝΗ ΠΤΑΚΤΙΚΗ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΔΙΑΙΡΕΘΕΙ ΜΙΑ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΕΞΗΣ :*

- A φάση δυνατότητας της κατασκευής
- B προκαταρκτική φάση σχεδιασμού
- Γ τελική φάση σχεδιασμού
- Δ φάση κατασκευής
- Ε μετακατασκευαστική φάση ( λειτουργίας – συντήρησης )

## 2.2 ΓΕΝΙΚΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

Οι κατολισθήσεις ως φαινόμενα είναι πολύ συνήθη στη χώρα μας διότι:

- Η λιθολογική σύσταση των εδαφών, η σχετικά μικρή ηλικία των σχηματισμών,
- Η γεωμορφολογική εξέλιξη
- Η δράση πρόσφατων τεκτονικών δυνάμεων,
- Οι υψηλές βροχοπτώσεις,

Δημιουργούν της κατάλληλες συνθήκες για την εκδήλωση συχνών αστοχιών πρηνών. Η Δυτική και η Κεντρική Ελλάδα ικανοποιούν τις συνθήκες αυτές οι συνέπειες είναι πολλές. Οι μεγαλύτερες σε επιφανειακή εξάπλωση κατολισθήσεις στον Ελληνικό χώρο εντοπίζονται:

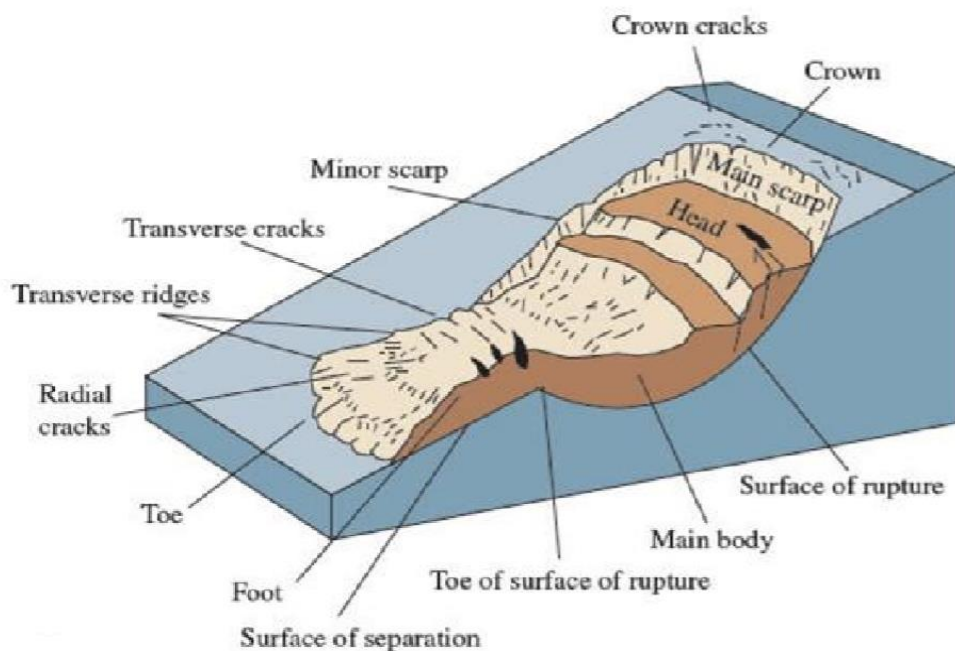
- Σε θέσεις με πολύ απότομο ανάγλυφο (μεγάλες κλίσεις) και κάτω από την ισχυρή δράση κλιματολογικών συνθηκών.
- Σε τεκτονικά καταπονημένους σχηματισμούς (Π.χ. από επωθητικές κινήσεις).

Οι πιο μεγάλες κατολισθήσεις έχουν συμβεί σε ζώνες ανθρακικών πετρωμάτων έντονα τεκτονισμένων από επωθητικές κινήσεις. Αντίθετα, οι πλέον συχνές σε εμφάνιση κατολισθήσεις είναι σε σχηματισμούς φλυσχη, σχιστοκερατολίθων και νεογνών, αλλά και σε χαλαρά τεταρτογενή υλικά και προκαλούνται κυρίως από το συνδυασμό της ανθρωπογενούς δραστηριότητας, (πυρκαγιές κλπ) και των αυξημένων ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Ο όρος « **κατολισθητικά φαινόμενα** » είναι πλέον αποδεκτός για όλες τις αστοχίες πρηνών, **ερπυσμούς, ολισθήσεις, ροπές, ανατροπές, καταπτώσεις**, κλπ, σε ξηρά και θάλασσα.

Ο όρος «**κατολίσθηση (Landslide)**» αναφέρεται μόνο **στις ταχέως εκδηλούμενες κινήσεις εδαφικών μαζών** (όχι τεχνικά δόκιμος), και αφορά περιπτώσεις που « η ελκτική δύναμη της βαρύτητας σε γεωλογικούς σχηματισμούς που υπερβαίνει την αντίσταση τριβής για κίνηση προς τα κάτω».

Οι κατολισθήσεις είναι γεωλογικοί κίνδυνοι με καταστροφές εκατομμυρίων ευρώ κατ' έτος στις κατασκευές και αρκετές απώλειες ζώων. Η πιο καταστροφική κατολίσθηση που αναφέρεται διεθνώς, έγινε στην Κίνα το 1920 μετά από σεισμό και προκάλεσε το θάνατο σε 100.000 ανθρώπους, καθώς τα σπίτια τους σκεπάστηκαν από μάζες ασβεστούχων πηλών.



ΕΙΚΟΝΑ 9 : Αγγλικοί ορισμοί τμημάτων κατολίσθησης .

Αρχική επιφάνεια του εδάφους ( Original ground surface). Η μορφολογία της επιφάνειάς του εδάφους πρίν την εκδήλωση της κατολίσθησης.

Στέψη ( Crown ) . Το ανώτερο σταθερό τμήμα του φυσικού εδάφους, το πλησιέστερο προς την κυρία κατακρήμνιση.

Κύρια κατακρήμνιση ( Main scarp ) . Η απότομη επιφάνεια του φυσικού εδάφους στο ανώτερο τμήμα της ολίσθησης, που προκλήθηκε από την κίνηση της ολισθαίνουσας μάζας.

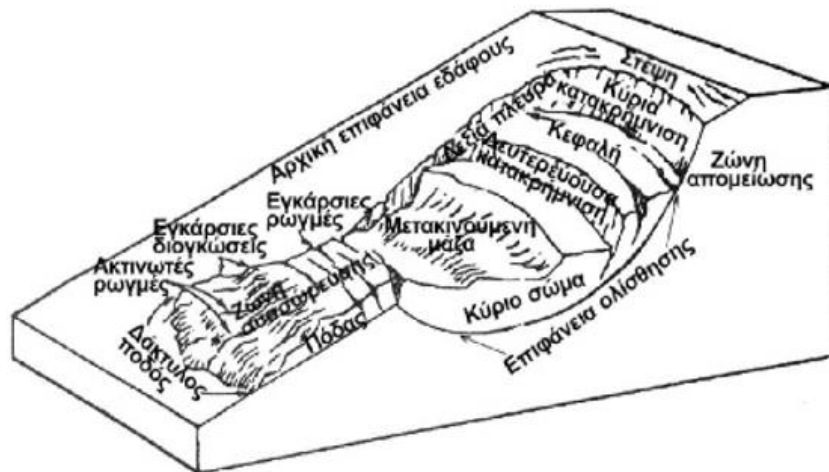
Κεφαλή ( Head ) . Τα ανώτερα τμήματα της κατολισθήσεις κατά μήκος της επαφής μετακινούμενης μάζας και της κυρίας κατακρήμνισης.

Δευτερεύουσα κατακρήμνιση ( Minor scarp ) . Μικρότερη κατακρήμνιση στο σωμα της μάζας που έχει ολίσθηση και έχει προέλθει από διαφορετικές κινήσεις αυτής.

Κύριο σώμα ( Main body ) η μετακινούμενη μάζας μεταξύ κυρίας κατακρήμνισης και ποδός της κατολισθήσης που υπερκειται της επιφάνειάς ολίσθησης.

Επιφάνεια ολίσθησης (Surface of rupture) . Η επέκταση της κυρίας κατακρήμνισης κάτω από τη μετακινούμενη μάζα της κατολισθήσης.

Μετακινούμενη μάζα ( Displaced material) . Η μάζα του πρανούς που έχει μετακινηθεί από την αρχική θέση, λόγω της κατολισθήσης.



ΕΙΚΟΝΑ 10: Σκαρίφημα Ελληνικών ορισμών .

Ζώνη απομείωσης ( zone of depletion). Η περιοχή της κατολισθήσης στην οποία η μετακινούμενη μάζα βρίσκεται κάτω από την αρχική επιφάνεια του φυσικού εδάφους.

Ζώνη συσσώρευσης ( zone of accumulation ). Η περιοχή της κατολισθήσης στην οποία η μετακινούμενη μάζα κείται πάνω από την αρχική επιφάνεια του φυσικού εδάφους.

Εγκάρσιες ρωγμές ( transverse cracks). Ρωγματώσεις εγκάρσια στην κύρια διεύθυνση της κίνησης, μεταξύ κύριου σώματος και ποδός.

Ακτινωτές ρωγμές ( Radial cracks ). Ρωγματώσεις που σημειώνονται στον πόδα της κατολισθήσης.

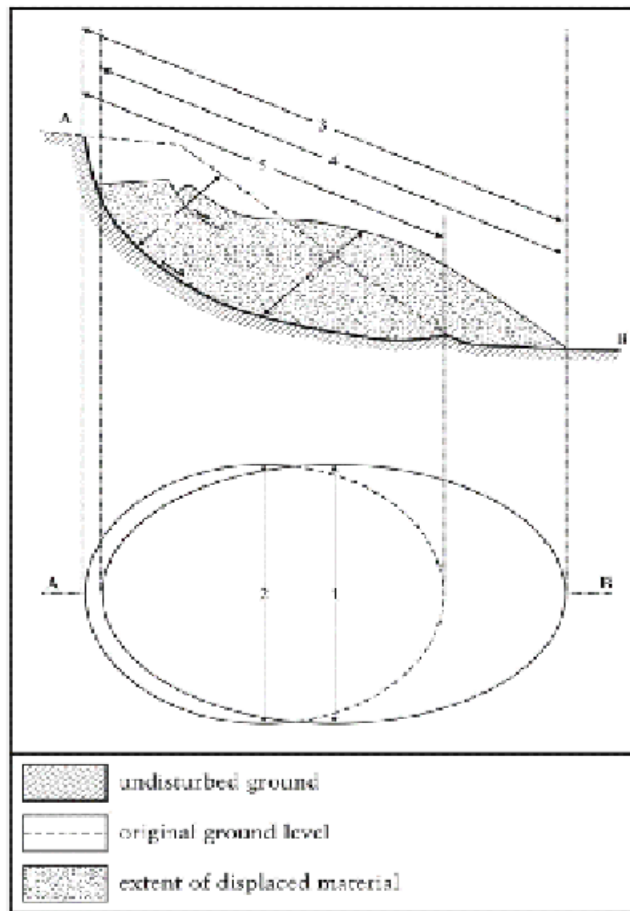
Εγκάρσιες διογκώσεις ( transverse ridges) διογκώσεις στα υλικά του ποδός της κατολισθήσης.

Πόδας ( foot) το κάτω τμήμα της κατολισθήσης που υπερκείται της αρχικής επιφανείας του εδάφους.

Δάκτυλος ποδός ( toe ) η δεξιά ή αριστερή πλευρά της κατολισθήσης, όπως καθορίζεται κοιτώντας από τη στέψη προς τη μάζα της κατολισθήσης.

Αναφορικά με τα χρήσιμα γεωμετρικά στοιχεία που θα πρέπει να μετριοούνται, κατά τη μελέτη μιας κατολισθήσης είναι τα παρακάτω:

1. Μέγιστο πλάτος ολισθαίνουσας μάζας. Η πλευρική απόσταση της ολισθαίνουσας μάζας.
2. Μέγιστο πλάτος επιφανείας ολίσθησης . Οι αποστάσεις των πλευρών της κατολισθήσης.
3. Ολικό μήκος. Η απόσταση από το άκρο μέχρι τη στέψη της κατολισθήσης.
4. Μέγιστο μήκος ολισθαίνουσας μάζας. Η απόσταση από το κατάντη άκρο της ολίσθησης μέχρι την κορυφή της.



ΕΙΚΟΝΑ 11: Σκαρίφημα ολίσθησης.

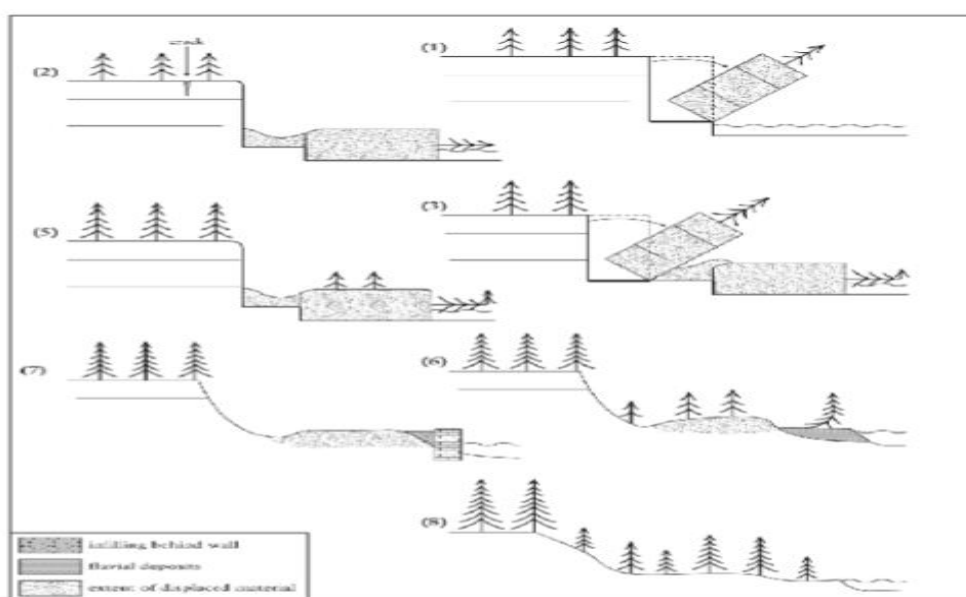
5. Μήκος επιφάνειάς ολίσθησης . Είναι το μήκος από την στέψη της ολίσθησης μέχρι τον πόδα .
  6. Μέγιστο πάχος ολισθαίνουσας μάζας. Η κάθετη απόσταση από την άνω επιφάνεια της μετακινούμενης μάζας μέχρι την επιφάνεια ολίσθησης.
  7. Μέγιστο βάθος επιφάνειάς ολίσθησης, η κάθετη απόσταση από την αρχική επιφάνεια του φυσικού εδάφους, της επιφάνειάς ολίσθησης.
- Κατά καιρούς διαφορά συστήματα ταξινόμησης των κατολισθήσεων, που βασίζονται σε πληθώρα παραμέτρων όπως :

- Το είδος του υλικού που ολισθαίνει,
- Ο τύπος κίνησης ( ολίσθηση, ροή κατάπτωση, κλπ)
- Η ταχύτητα μετακίνησης,
- Το αίτιο κίνησης (ανθρωπογενής δράση, είδος φόρτισης, νερό κλπ)
- Ο βαθμός εξέλιξης ( ενεργή ,παλιά, επαναδραστικοποιημενη, κλπ)
- Ο μηχανισμός ολίσθησης
- Οι περιβαλλοντολογικές και κλιματικές συνέπειες,
- Η γεωμετρία, το μέγεθος, οι καταστροφικές συνέπειες κλπ )
- Η μορφή επιφάνεια ολίσθησης ( περιστροφική, επιπεδομορφη )



Ο Erskine ταξινομεί τις κατολισθήσεις στις παρακάτω τέσσερις κατηγορίες, με βάση την εξέλιξη τους, δίνοντας βαρύτητα στις επιπτώσεις που πιθανόν να έχουν στα διάφορα έργα:

- Σταθεροποιημένες (Δεν έχουν ενδείξεις πρόσφατης ενεργοποίησης),
- Πρόσφατες ενεργές ( εκδηλώνονται με Πρόσφατες κινήσεις),
- Ενεργές ( αυτές που δείχνουν να μην έχουν σταθεροποιηθεί),
- Επαναδραστηριοποιημένες πρόσφατα ( επαναδραστηριοποίηση με τα από περίοδο σταθεροποίησης).



ΕΙΚΟΝΑ 12: 1) Ενεργή, 2) Πρόσφατα ενεργή ( σε αναστολή )  
3) Επαναδραστηριοποιημένη, 4) Ανενεργές ( περιπτώσεις 5 έως 8)

Παρά την πληθώρα ταξινόμηση που έχουν υπάρξει, Η ταξινόμηση που χρησιμοποιείται παρά πολύ σήμερα ( τείνει να επικρατήσει) είναι αυτή που έχει προτείνει το εθνικό Συμβούλιο Έρευνας των ΗΠΑ και έχει τροποποιηθεί από τον Varnes (1978,1980 )

Η ταξινόμηση αυτή στηρίζεται:

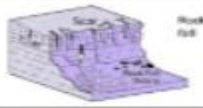



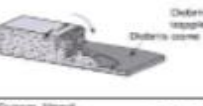







1. Στο είδος της κίνησης και
2. Στο τύπο του υλικού που μετακινείται

1. Ανάλογα με το είδος της κίνησης, ο Varnes διακρίνει:

- i. Καταπτώσεις ( falls)
- ii. Ανατροπές (topplings)
- iii. Ολισθήσεις ( slides)
- iv. Πλευρικές εξάπλωσεις ( lateral spreads)
- v. Ροπές ( flows)
- vi. Συνθέτες κινήσεις ( complex)
- vii. Ερπυσμοί

2. ανάλογα με τον τύπο του υλικού που μετακινείται διακρίνονται οι κινήσεις που εκδηλώνονται:

- i. Στο βραχώδες υπόβαθρο ( bedrock ) και
- ii. Στα επιφανειακά εδάφη ( engineering soils ) που διαχωρίζονται σε κορήματα (debris) και γαίες ( earth)

Material		ROCK	DEBRIS	EARTH
Movements type	FALLS	 Rock fall Scar	 Debris fall Scar Debris cone	 Scar Earth fall Colluvium Debris cone
	TOPPLES	 Rock topple	 Debris topple Debris cone	 Cracks Earth topple Debris
SLIDES	Rotational	 Single rotational slide (slump)	 Crown Head Slump Minor Scarps	 Successive rotational slides
	Translational (Planar)	 Rock slide	 Debris slide	 Earth slide

ΕΙΚΟΝΑ 13: Ταξινόμηση κατολισθήσεων (A)

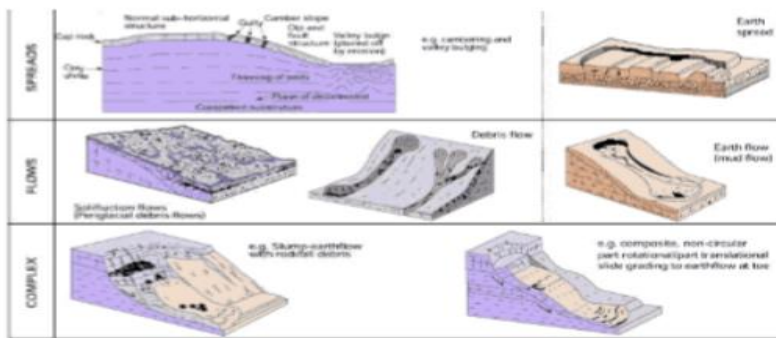


Figure 2 Classification of type of landslide (modified after Varnes, 1978 and DoE, 1990).

**Slide:** mass detached from steep slope/ cliff along surface with little or no shear displacement, descends mostly through the air by free fall, bouncing or rolling.  
**Topple:** forward rotation about a pivot point.  
**Rotational slides:** sliding downwards and down-slope on one or more concave-upward failure surfaces.  
**Translational (plane) slides:** sliding on a plane failure surface trending near-or less parallel to the slope.  
**Spreads:** fracturing and lateral extension of coherent rock or soil materials due to liquefaction or plastic flow of subjacent material.  
**Flows:** due to rapid mass movements in saturated materials which advance by viscous flow, usually following initial sliding movement. Some flows may be bounded by basal and marginal shear surfaces but the dominant movement of the displaced mass is by flowage.  
**Complex slides:** slides involving two or more of the basic movement types in combination.

### ΕΙΚΟΝΑ 14: Ταξινόμηση κατολισθήσεων (B)

Velocity Class	Description	Velocity (mm/sec)	Typical Velocity	Probable Destructive Significance
7	Extremely Rapid	$5 \times 10^5$	5 m/sec	Catastrophe of major violence, buildings destroyed by impact of displaced material, many deaths, escape unlikely
6	Very Rapid	$5 \times 10^4$	5 m/min	Some lives lost; velocity too great to permit all persons to escape
5	Rapid	$5 \times 10^3$	1.8 m/hr	Escape/evacuation possible; structures, possessions, and equipment destroyed
4	Moderate	$5 \times 10^2$	13 m/month	Some temporary and insensitive structures can be temporarily maintained
3	Slow	$5 \times 10^1$	1.6 m/year	Remedial construction can be undertaken during movement; insensitive structures can be maintained with frequent maintenance work if total movement is not large during a particular acceleration phase
2	Very Slow	$5 \times 10^0$	15 mm/year	Some permanent structures undamaged by movement
	Extremely SLOW	$5 \times 10^{-1}$		Imperceptible without instruments, construction POSSIBLE WITH PRECAUTIONS

### ΕΙΚΟΝΑ 15: Ποσοτικά μεγέθη κατολισθήσεων

## 2.3 ΔΟΜΗ Ν. ΑΧΑΪΑΣ

### 2.3.1 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Ο νόμος Αχαΐας βρίσκεται στην βορειοδυτική Πελοπόννησο. Έχει έκταση 3.271 km<sup>2</sup>, πληθυσμό 327.316 κατοίκους ( απογραφή 2001 ) και αποτελεί μια βασική πύλη σύνδεσης της Ελλάδας με της υπόλοιπες Μεσογειακές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης ,μέσω του λιμανιού της Πάτρας. Αποτελεί το γεωγραφικό κέντρο βάρους της Περιφέρειας, καθώς κατέχει το 29% της συνολικής έκτασης και το 43% του συνολικού πληθυσμού της. Οι ορεινοί όγκοι ( 65,4% της συνολικής επιφάνειας του νόμου), οι ημιορεινοί ( 13,8% ) , οι πεδινοί (20,8%) και οι πράκτιοι χώροι, οι εδαφικές και κλιματικές συνθήκες και τα επιφανειακά νερά ευνοούν την ανάπτυξη. Ο βαθμός φυτοκάλυψης του νομού είναι υψηλότερος και προσεγγίζει το 97% ( έκταση 3.233 τετρ χλμ. )

Η λιθολογική σύσταση καθώς και η τεκτονική δομή του ευρύτερου τμήματος της βόρειας και Δυτικής Πελοποννήσου. Ασφαλώς η συνδυασμένη δράση της διάβρωσης και της αποσάθρωσης που επιταχύνεται λόγω των έντονων βροχοπτώσεων στην Δυτική Ελλάδα, είναι παράγοντες καθοριστικοί στην δημιουργία της σημερινής γεωμορφολογία .

Η περιοχή χαρακτηρίζεται σαν ορεινή- ημιορεινή σε ποσοστό περίπου 60%. Οι κύριοι ασβεστολιθικοί ορεινοί όγκοι αναπτύσσονται στα νότια και είναι το Παναχαϊκό, ο Ερύμανθος και ο Χελμός. Περιφερειακά αυτών, αποτυπώνεται μια λοφώδης περιοχή, της οποίας οι κορυφές εμφανίζονται συνήθως στραγγυλεμένες. Η αποστράγγιση της περιοχής γίνεται μέσω πολυάριθμων ποταμών ,χειμάρρων και ρυακιών, τα οποία σχηματίζουν ένα μέτρια ανάπτυγμενο φωτογραφικό σύστημα με κοιλάδες ωστόσο συμμετρικές. Είναι αξιοσημείωτο ότι οι ποταμοί παρουσιάζουν εποχιακά κυμαινόμενη μεταφορική ικανότητα, ενώ μέρος των υδάτων κατεισδύει στους ασβεστολιθούς και ρέει δια μέσω καρστικών αγωγών. Τέλος θα πρέπει να τονιστεί το ότι οι ποταμοί έχουν μικρή σχετική προσφορά κλαστικών υλικών και σε συνάρτηση των ανοδικών κινήσεων , δεν αναπτύσσονται μεγάλα δελταϊκά πεδία.

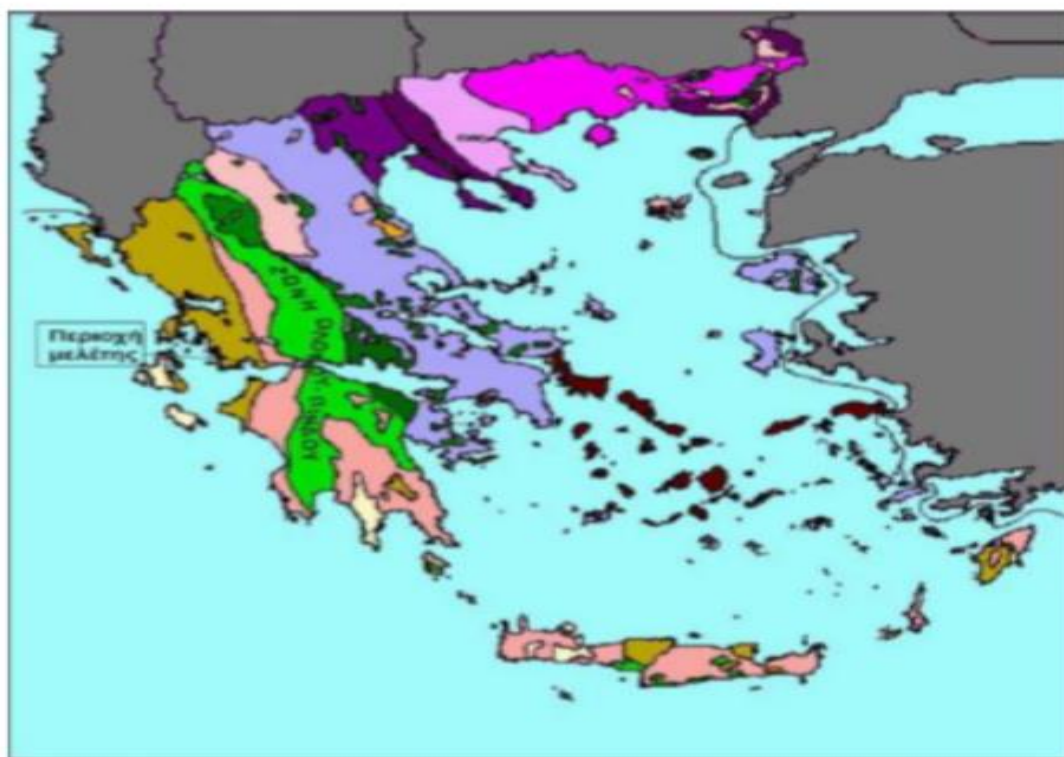


ΕΙΚΟΝΑ 16: Μορφολογική απεικόνιση του Ν. Αχαΐας

### 2.3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΔΟΜΗ

#### Γενικά

Ο ελληνικός χώρος κατά τον Αλπικό κύκλο ορογένεσης δέχθηκε έντονες επιδράσεις, αλλάζοντας σε μεγάλο βαθμό την έως τότε γεωγραφική του εξέλιξη. Η τεκτονική εξέλιξη διαμόρφωσε 15 λιθοστρωματογραφικές ενότητες που από Δυτικά προς Ανατολικά αποτελούν τις εσωτερικές ζώνες επηρεάστηκαν από το Παλαιοαλπικό ( Αν . Κρητιδικό ) και το Μεσοαλπικό ( Ηώκαινο ) ορογενετικό φαινόμενο, ενώ οι εξωτερικές μόνο από την Μεσοαλπική ορογενετική φάση.



ΕΙΚΟΝΑ 17: Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος.

### 2.3.3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

#### ➤ Γεωμορφολογία

Η ζώνη διέλευσης της δίδυμης οδικής σήραγγας του Πλατάνου εντοπίζεται στο βόρειο τμήμα της Πελοποννήσου, στο νομό Αχαΐας, στην περιοχή μεταξύ Ακράτας και Τράπεζας και σχεδόν παράλληλα με τον εθνικό άξονα του δρόμο (N.E.O) .

Η διαμόρφωση του γεωμορφολογικού ανάγλυφου στην περιοχή της Βόρειας Πελοποννήσου, είναι αποτέλεσμα κυρίως της δράσεις των τεκτονικών και νεοτεκτονικών κινήσεων σε συνδυασμό με την επιδεκτικότητα των γεωλογικών σχηματισμών στις διεργασίες της διάβρωσης καθώς επίσης και με το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Σταθερός παράγοντας είναι επίσης η λιθολογική σύσταση των γεωλογικών σχηματισμών και κυρίως των Πλειο- Πλειστοκαινικών αποθέσεων , που απαντούν σε μεγάλες έκτασης στην περιοχή.

Ο νόμος Αχαΐας εν γένει, παρά την παράκτια εξάπλωση του ,μπορεί να θεωρηθεί από τους πιο ορεινούς της χώρας, καθώς το 60% της συνολικής του επιφάνειάς είναι ορεινό.

Η περιοχή του Πλατάνου διαμορφώνεται με αφιθεατρική μορφολογία με ανηφορική κλίση (B- N), με το χαμηλότερο σημείο της να βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας. Οι πλευρές που δομούν την αφιθεατρική αυτή μορφολογία, ξεπερνούν τα 400 m ενώ η υψηλότερη κορυφή βρίσκεται στα 426m .Το τοπίο αυτό τελειώνει στην διαμήκη θάλασσια ακτή (Δ-Α) μετά την οποία εμφανίζεται απότομη αλλαγή της κλίσης, λόγω των τεκτονικών δομών που βρίσκονται μέσα στο βυθό.

Μορφολογικά απαντώνται N-B κλίσεις προς την ακτογραμμή. Κεντρικά και ανατολικά της μορφολογίας ,σε υψόμετρο άνω 200m, βρίσκεται το χωριό Πλάτανος. Μια κεκλιμένη επιφάνεια με κατεύθυνση N-B ακολουθεί το απότομο τέλος της περιοχής του χωριού.



Εικόνα 18 : (1) η δυτική είσοδος της σήραγγας , (2) ανατολική είσοδος της σήραγγας (3) Πλάτανος το χωρίο , (4) 426m το υψηλότερο σημείο της περιοχής μελέτης στις πράσινες γραμμές βλέπουμε την σήραγγα.

#### 2.3.4 ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Η δυναμική φόρτιση των σχηματισμών από τους συνεχούς και αβαθείς σεισμούς, αποτελεί έναν από τους βασικούς παράγοντες εκδήλωσης κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή όπως ολισθήσεις, καταπτώσεις βράχων, ροές εδαφών κλπ.

Στην περιοχή του Πλατάνου λαμβάνουν χώρα κατολισθητικά φαινόμενα που εξαπλώνονται βόρεια, μέχρι και τον θαλάσσιο πυθμένα του Κορινθιακού κόλπου. Σε αυτά περιλαμβάνονται πλευρικές και μεταθετικές ολισθήσεις, ερπυσμοί, κλίσεις και καταπτώσεις βράχων. Στην παρακάτω δορυφορική φωτογραφία έχουν σημειωθεί οι ενεργές και οι πιθανές ολισθήσεις της ευρύτερης περιοχής .



ΕΙΚΟΝΑ 19: Δορυφορική φωτογραφία με αποτύπωση των ολισθήσεων της περιοχής.

Στην θέση του έργου, οι γεωλογικοί σχηματισμοί συνιστούν, από μηχανική σκοπιά, μια σύνθετη ολίσθηση που χωρίζουν σε δύο μέρη : το κατώτερο τμήμα, που αποτελείται κυρίως από συμπυκνωμένο αργιλώδες υλικό, και το ανώτερο τμήμα , που χαρακτηρίζεται από την αδρομερή σύσταση του.

Το κατώτερο τμήμα αποτελείται από μάργα ή άργιλο κίτρινου έως και σκούρου τεφρού χρώματος με ενστρώσεις χονδρόκοκκων οριζόντων σε ποικίλα βάθη. Πρόκειται για ένα μαλακό σχηματισμό όπου οι αδρομερείς ορίζοντες διακόπτουν τη συνοχή της αργιλώδους μάζας, αφενός λόγω του μεγέθους των κόκκων τους και αφετέρου λόγω της αυξημένης διαπερατότητας τους .

Το ανώτερο Τμήμα, το οποίο δεν απαντά σε όλη την περιοχή, αποτελείται από χονδρόκοκκο υλικό προσχωσιγενούς προέλευσης και κατά συνέπεια, παρουσιάζει διαφορετικές φάσεις από μηχανική σκοπιά. Στην περιοχή της Ανατολικής εισόδου και στο κύριο σώμα της σήραγγας, το ανώτερο αποτελείται από συνεκτικό υλικό ενώ στην περιοχή της Δυτικής εισόδου το ανώτερο τμήμα είναι μη συνεκτικό αμμώδες υλικό που αποτελείται από άμμο και χάλκινες. Αυτό το τμήμα καταλαμβάνει την κεκλιμένη μορφολογία της περιοχής και διαμορφώνει τρεις περιοχές κατολισθήσης με τους μηχανισμούς που περιγράφονται παρακάτω.

- Υποσκάπτεται το άκρο των επικλινών περιοχών από την διάβρωση λόγω επιφανειακής απορροής επιφανειών των μαργών και, κατά συνέπεια, επιφορτίζεται το κροκαλοπαγές που τις περιβάλλει και έτσι προκαλούνται ολισθήσεις. Πρόκειται για μακροχρόνια διαδικασία ή οποία ενεργοποιείται όταν η δύναμη της βαρύτητας υπερβαίνει ένα συγκεκριμένο μέγεθος εξαιτίας της εκφόρτωσης. Αυτού του είδους οι ασταθείς παρατηρούνται στην ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής εισόδου της . Να σημειωθεί ότι η οποιαδήποτε ασταθεία σε αυτή την περιοχή είναι επιφανειακή (3-4 μέτρα κατά προσέγγιση) και περιορίζεται στην ανώτερη ζώνη, με μέγιστη πιθανότητα εμφάνισης σε μερικές δεκάδες μέτρα και δεν επηρεάζουν την κατασκευή των ανατολικών εισόδων. Λόγω της κατολισθήσης αυτής, έχουν προκληθεί φθορές στο οδικό δίκτυο της περιοχής.
- Διάβρωση λόγω επιφανειακών απορροών της αποσαθρωμένης από τις καιρικές συνθήκες άνω ύλης των μαργών . Αναπτύσσονται χαρακτηριστικές διάβρωσης με μορφή χαραδρώσεων και μικρές μάζες αποσαθρωμένου υλικού. Πρόκειται επίσης για μακροχρόνια διαδικασία ενώ η ενεργοποίηση των μετατοπίσεων είναι βίαιη ανάλογα με τον κορεσμό της αποσαθρωμένης μάζας. Αυτού του είδους οι ασταθείς παρατηρούνται στην ευρύτερη περιοχή του κεντρικού μέρους της σήραγγας. Και σε αυτή την περιοχή οι αστάθειες που παρατηρήθηκαν είναι επιφανειακές (4-6 μέτρα κατά προσέγγιση) και περιορίζονται στο άνω αποσαθρωμένο τμήμα των μαργαϊκών σχηματισμών και σε καμία περίπτωση δεν εκτείνονται σε βάθος. Επιπροσθέτως ή έκταση τους στην επιφάνεια εδάφους είναι επίσης περιορισμένη, αλλά πιο εκτεταμένη απ' ότι η προηγούμενη περίπτωση.
- Ερπυσμός του μη συνεκτικού αμμώδες υλικού που αποτελείται από άμμο και χάλικες , στο σημείο όπου βρίσκεται σε κεκλιμένη επαφή με τις μάργες. Ο ερπυσμός συμβαίνει εξαιτίας του κορεσμού του ανώτερου τμήματος της σύνθετης αυτής ολίσθησης. Η ενεργοποίηση αυτών των ασταθειών είναι κατά κύριο λόγο περιοδική ανάλογα με το βαθμό κορεσμού του ανώτερου υλικού. Αυτού του είδους οι ασταθείς έχουν παρατηρηθεί στην ευρύτερη περιοχή της Δυτικής εισόδου της σήραγγας. Το πάχος των επηρεαζόμενων ζωνών σε αυτή την περίπτωση κυμαίνεται από τα 15 ως τα 20 μέτρα .





φθορά στο οδικό δίκτυο λόγω της κατολισθήσης που εντοπίζεται στην ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής εισόδου της σήραγγας.



ΕΙΚΟΝΑ 20 : Η κατολίσθηση στην ευρύτερη περιοχή του κεντρικού μέρους της σήραγγας

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΜΗΚΟΤΟΜΗ

Σύμφωνα με τον χάρτη της οριζοντιογραφίας παρουσιάζονται τα εξής χαρακτηριστικά:

- A) Διάφοροι τύποι εδαφών που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή της σήραγγας
- B) Η χάραξη της ερυθράς και η μορφή της σήραγγας
- Γ) Η αρχή και το τέλος της σήραγγας
- Δ) Το ήδη υπάρχων οδικό δίκτυο
- Ε) Καθώς και οι ισοϋψείς καμπύλες

### 3.1 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ

Στην σήραγγα του Πλατάνου σύμφωνα με τα στοιχεία μελέτης οι κύριοι σχηματισμοί που εμφανίζονται ομαδοποιούνται σε πέντε τεχνικογεωλογικές ενότητες που είναι οι εξής

- **Μαργαϊκοί σχηματισμοί:**

Είναι λεπτόκοκκοι σχηματισμοί με μέσο έως μεγάλο πάχος. Παρουσιάζονται σε τεφρή- καστανότεφρη, κυανή και καστανή – ερυθροκάστανη μάργα. Συναντώνται στο μεγαλύτερο μέρος της σήραγγας. Περιέχουν αυξημένο ποσοστό αμμοχάλικου.

Η εκσκαφή τους είναι εύκολη και πραγματοποιείται με μηχανικά μέσα.

- **Αμμοχάλικο σε Μαργαϊκούς σχηματισμούς:**

Το μέγεθος των κόκκων εμφανίζεται από λεπτόκοκκο έως χονδρόκοκκο και είναι λίγο συγκολλημένα. Διακρίνονται σε τεφρή και καστανή μάργα. Η εκσκαφή τους είναι εύκολη με τα συνήθη μηχανικά μέσα . ( λόγω του χαμηλού βαθμού συγκόλλησης)

- **Αμμώδη υλικά:**

Εμφανίζονται διακύμανσης του ποσοστού συμμετοχής αργιλοϊλύων και λεπτών χαλίκων λόγω του καθεστώτος απόθεσης τους .Η εκσκαφή τους είναι εύκολη.

- **Αργιλοϊλωδη υλικά:**

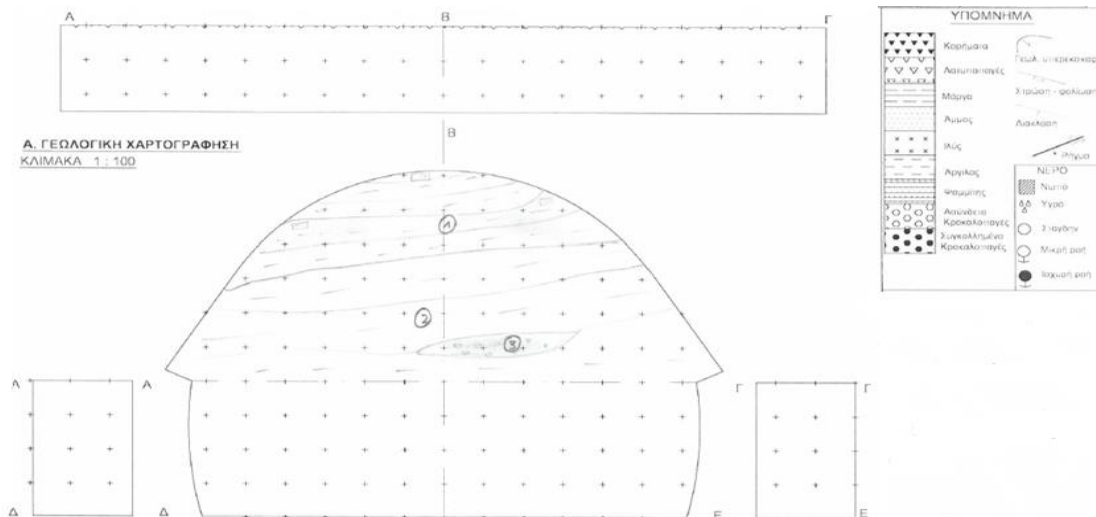
Τα υλικά αυτά έχουν γενικά μικρό πάχος και περιέχουν κατά θέσεις αυξημένο ποσοστό λεπτόκοκκης- μεσόκοκκης άμμου και ιδιαίτερα στις επαφές με τις στρώσεις των αδρόκοκκων υλικών. Η εκσκαφή τους είναι εύκολη με τα συνήθη μηχανικά μέσα.

- **Κροκαλοπαγή :**

Εμφανίζονται μέτρια έως καλά συγκολλημένα και παρουσιάζονται τοπικά σε μεγάλα πάχη. Η εκσκαφή τους προϋποθέτει τη χρήση βαρέων μηχανικών μέσων.

### 3.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ

#### ΒΟΡΕΙΟΣ ΚΛΑΔΟΣ Χ.Θ . 68 +413,40

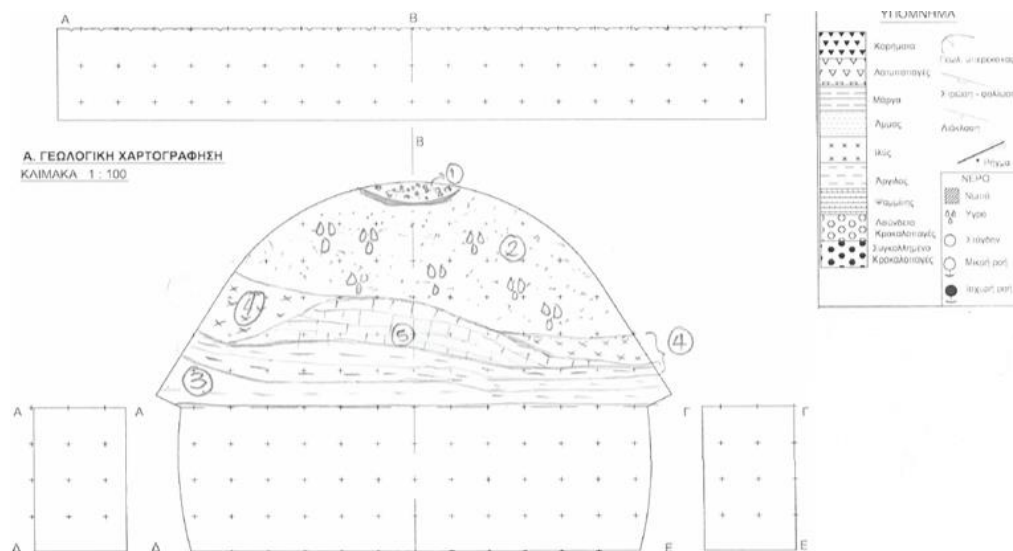


Γεωτεχνική περιγραφή : 1) έχουμε τεφρή μαλακή μάργα ( νωπή )

2) καστανή πολύ σφιχρή μάργα

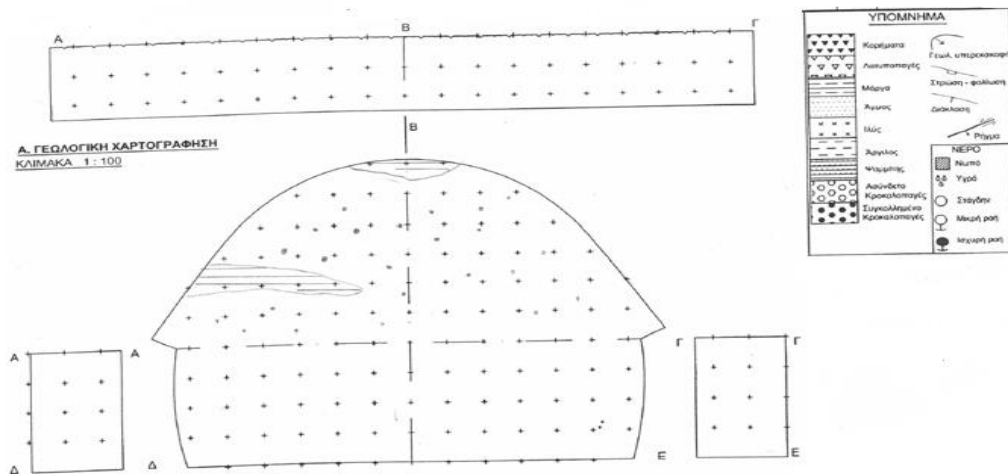
3) φακός χαλικοπαχούς με τεφρό μαργαϊκό συνδετικό υλικό.

#### ΒΟΡΕΙΟΣ ΚΛΑΔΟΣ Χ.Θ. 68+456.80



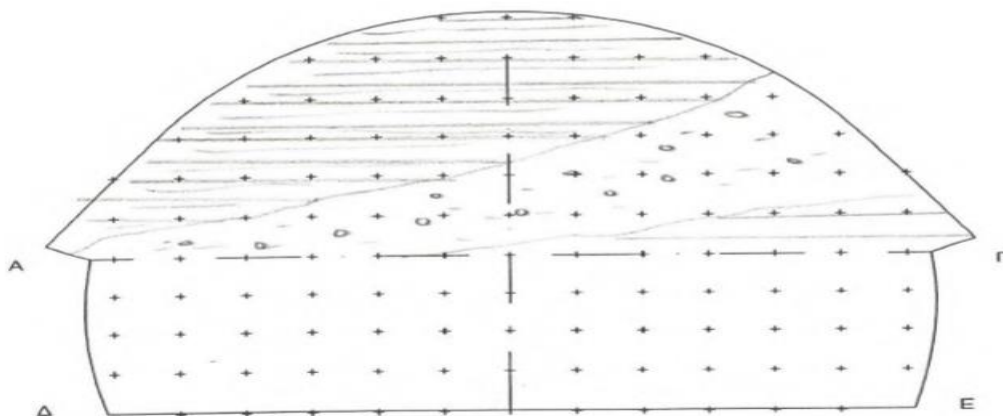
- Γεωλογική περιγραφή :
- 1) φακοί χαλίκων στην οροφή
  - 2) καστανοκίτρινος αργιλοαμμοδής σχηματισμός που έχει αποδιοργανωθεί πλήρως .
  - 3) καστανή μαλακοί μάργα στο κάτω τμήμα του μετώπου
  - 4) ερυθρή μαλακή άργιλος
  - 5) λευκός πορώδης ασβεστολιθικός σχηματισμός χαμηλής αντοχής .

ΒΟΡΕΙΟΣ ΚΛΑΔΟΣ Χ.Θ. 68+ 556.60



- Γεωλογική περιγραφή :
- 1) συνεκτικό κροκαλοπαγές κίτρινες απόχρωσης
  - 2) τοπικά εμφάνιση τεφρής μάργας .

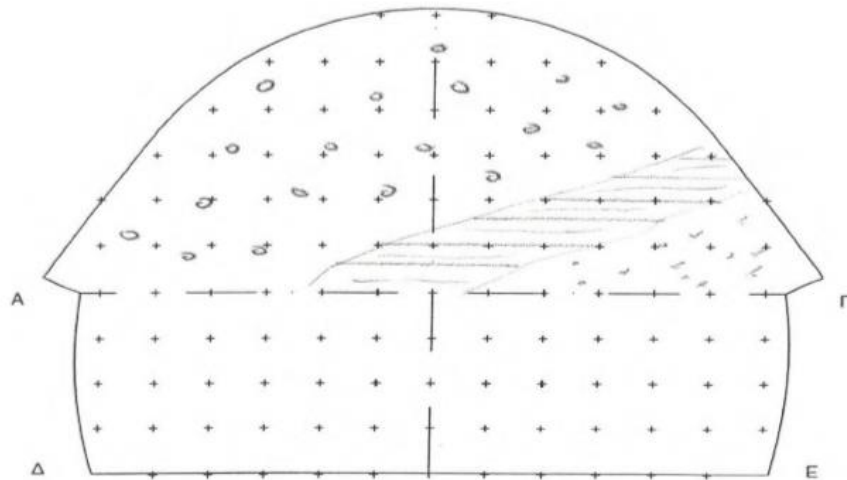
ΝΟΤΙΟΣ ΚΛΑΔΟΣ Χ.Θ. 68+212.70



Γεωλογική περιγραφή :1) τεφρή ερυθροκάστανη μάργα

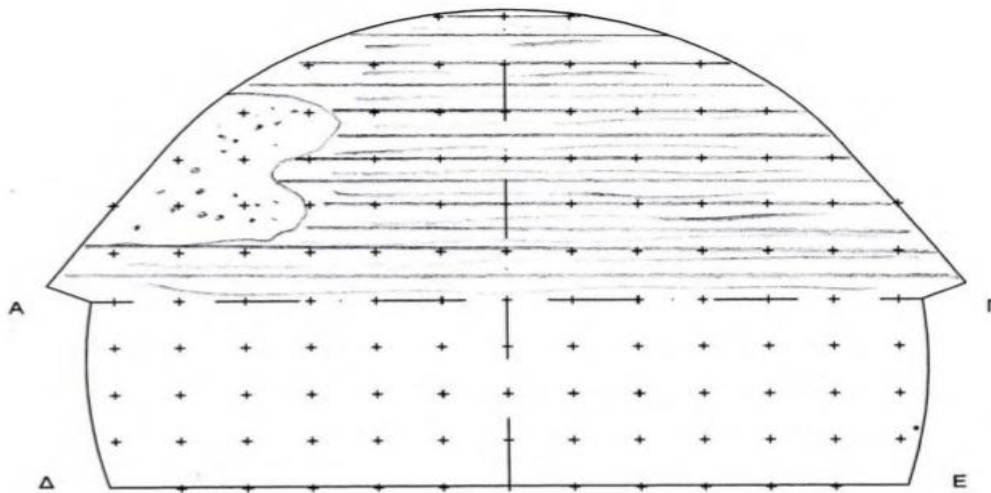
2) κροκαλοπαγή με αργιλικό ασύνδετο υλικό

ΝΟΤΙΟΣ ΚΛΑΔΟΣ Χ.Θ. 68+240,90



Γεωλογική περιγραφή : 1) ασύνδετο κροκαλοπαγές 2) τεφρή μάργα

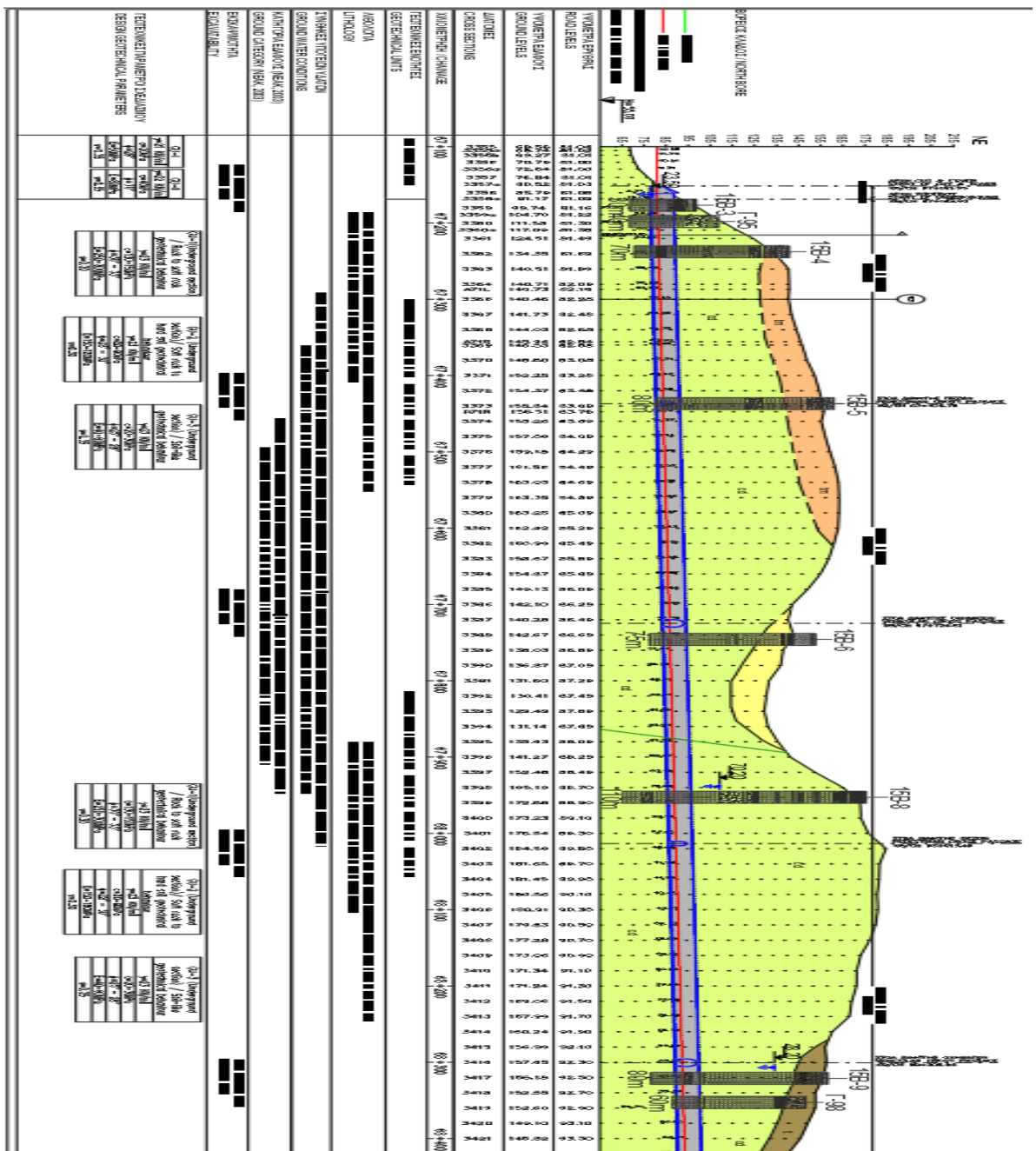
ΝΟΤΙΟΣ ΚΛΑΔΟΣ Χ.Θ. 68+366,00

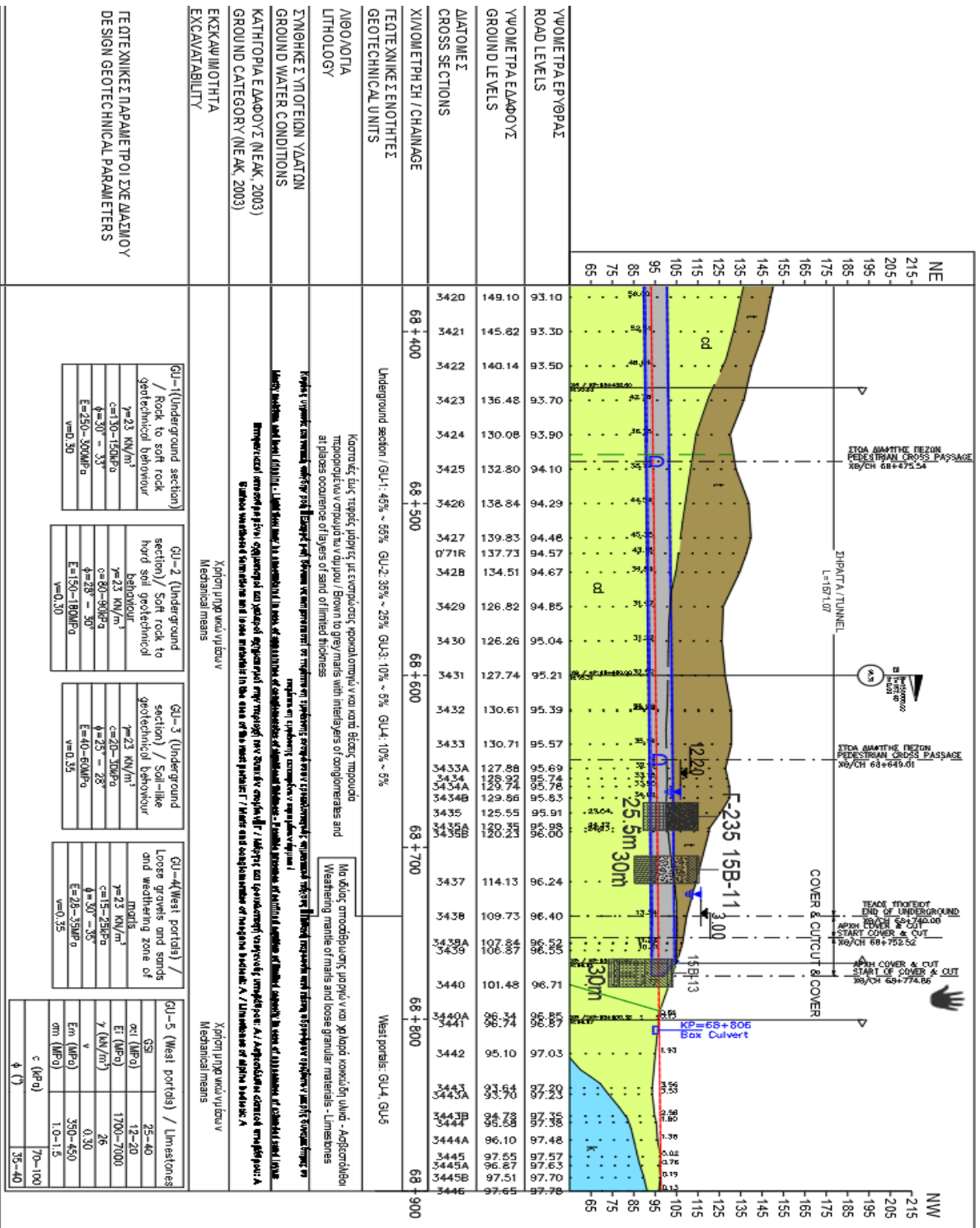


Γεωλογική περιγραφή :1) τεφρή ερυθροκάστανη μάργα

2) ερυθροκάστανο αμμοχάλικο

# ΒΟΡΕΙΟΣ ΚΛΑΔΟΣ



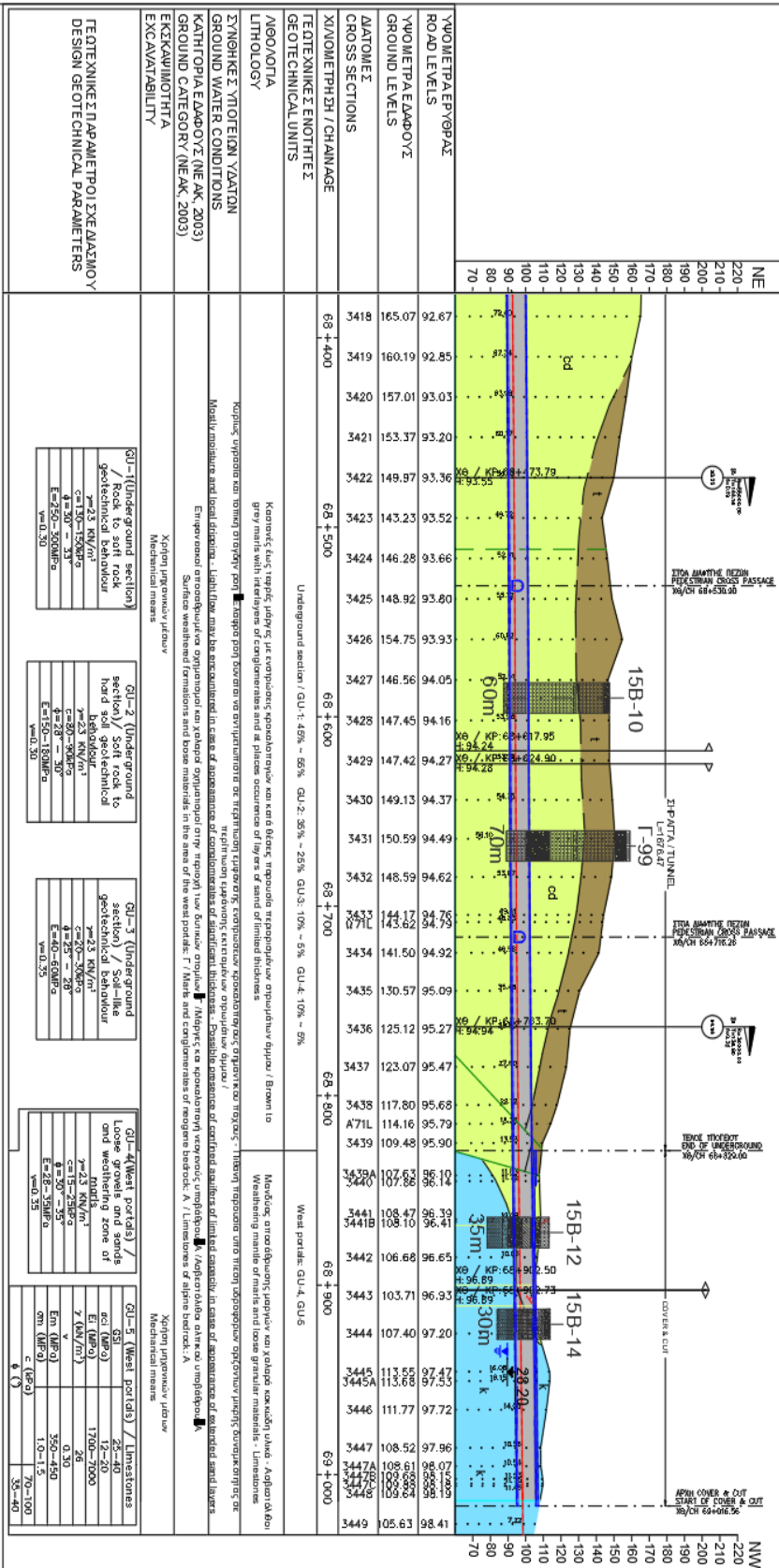


ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΕΠΥΨΡΑΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΕΛΑΦΟΥΣ	ΔΙΑΤΟΜΕΣ	ΧΩΝΟΜΕΤΡΗΣΗ / CHAINAGE	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΕΝΟΤΗΤΕΣ	ΛΟΓΟΔΟΤΙΑ	ΣΥΝΘΗΚΕ ΣΤΙΓΜΕΙΩΝ ΨΑΔΩΝ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΛΑΦΟΥΣ (ΝΕΑΚ, 2003)	ΕΚΧΑΛΙΜΟΤΗΤΑ	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕ ΜΑΣΙΜΟΥ																				
93.10	149.10	3420	68 + 400	Underground section / GU-1: 45% - 55% GU-2: 35% - 25% GU-3: 10% - 5% GU-4: 10% - 5%	Κατωτάς έως τριτοβάθμιας γεωλογικής σημασίας υλικών κοινών βραχίων μαρμαριών και γκράνιτων με μεταβάσεις ομοιογενούς και αβραχίονα σε ορισμένα μέρη / Down to grey marls with meta-basalts and gneiss occurrence of layers of sand of limited thickness	Μεγάλη υγρασία και μεγάλη ελαστικότητα / High moisture and high elasticity	Μεγάλη υγρασία και μεγάλη ελαστικότητα / High moisture and high elasticity	Χαίροισιμη και υψιόβου / Mechanical means	<table border="1"> <tr> <td><math>\gamma=23</math> KN/m<sup>3</sup></td> <td><math>c=130-1500</math> kPa</td> <td><math>\phi=30-33^\circ</math></td> <td><math>E=250-5000</math> MPa</td> <td><math>\nu=0.30</math></td> </tr> <tr> <td><math>\gamma=23</math> KN/m<sup>3</sup></td> <td><math>c=20-1000</math> kPa</td> <td><math>\phi=25-30^\circ</math></td> <td><math>E=150-1000</math> MPa</td> <td><math>\nu=0.30</math></td> </tr> <tr> <td><math>\gamma=23</math> KN/m<sup>3</sup></td> <td><math>c=20-1000</math> kPa</td> <td><math>\phi=25-28^\circ</math></td> <td><math>E=40-60</math> MPa</td> <td><math>\nu=0.35</math></td> </tr> <tr> <td><math>\gamma=23</math> KN/m<sup>3</sup></td> <td><math>c=15-25</math> kPa</td> <td><math>\phi=30-35^\circ</math></td> <td><math>E=28-35</math> MPa</td> <td><math>\nu=0.35</math></td> </tr> </table>	$\gamma=23$ KN/m <sup>3</sup>	$c=130-1500$ kPa	$\phi=30-33^\circ$	$E=250-5000$ MPa	$\nu=0.30$	$\gamma=23$ KN/m <sup>3</sup>	$c=20-1000$ kPa	$\phi=25-30^\circ$	$E=150-1000$ MPa	$\nu=0.30$	$\gamma=23$ KN/m <sup>3</sup>	$c=20-1000$ kPa	$\phi=25-28^\circ$	$E=40-60$ MPa	$\nu=0.35$	$\gamma=23$ KN/m <sup>3</sup>	$c=15-25$ kPa	$\phi=30-35^\circ$	$E=28-35$ MPa	$\nu=0.35$
$\gamma=23$ KN/m <sup>3</sup>	$c=130-1500$ kPa	$\phi=30-33^\circ$	$E=250-5000$ MPa	$\nu=0.30$																									
$\gamma=23$ KN/m <sup>3</sup>	$c=20-1000$ kPa	$\phi=25-30^\circ$	$E=150-1000$ MPa	$\nu=0.30$																									
$\gamma=23$ KN/m <sup>3</sup>	$c=20-1000$ kPa	$\phi=25-28^\circ$	$E=40-60$ MPa	$\nu=0.35$																									
$\gamma=23$ KN/m <sup>3</sup>	$c=15-25$ kPa	$\phi=30-35^\circ$	$E=28-35$ MPa	$\nu=0.35$																									
93.30	145.82	3421																											
93.50	140.14	3422																											
93.70	136.48	3423																											
93.90	130.08	3424																											
94.10	132.80	3425	68 + 500																										
94.29	138.84	3426																											
94.46	139.83	3427																											
94.57	137.73	071R																											
94.67	134.51	342B																											
94.85	126.82	3429																											
95.04	126.26	3430	68 + 600																										
95.21	127.74	3431																											
95.39	130.61	3432																											
95.57	130.71	3433																											
95.69	127.88	3433A																											
95.69	127.88	3433B																											
95.83	129.86	3434A																											
95.83	129.86	3434B																											
95.91	125.55	3435	68 + 700																										
95.91	125.55	3435A																											
95.91	125.55	3435B																											
96.00	120.00	3436																											
96.24	114.13	3437																											
96.40	109.73	3438																											
96.48	107.25	3439A																											
96.48	107.25	3439B																											
96.71	101.48	3440	68 + 800																										
96.88	96.54	3440A																											
96.88	96.74	3441																											
97.03	95.10	3442																											
97.20	93.64	3443																											
97.23	93.70	3443A																											
97.23	93.70	3443B																											
97.48	94.78	3444																											
97.48	94.78	3444A																											
97.48	94.78	3444B																											
97.57	97.55	3445	68 + 900																										
97.63	96.98	3445A																											
97.70	97.51	3445B																											
97.70	97.51	3445C																											
97.70	97.51	3445D																											
97.70	97.51	3445E																											
97.70	97.51	3445F																											









ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ DESIGN GEOTECHNICAL PARAMETERS
<p>ΓU-1 (Underground section) / section of geotechnical behaviour</p> <p><math>\gamma = 23 \text{ KN/m}^3</math></p> <p><math>c = 10 - 15 \text{ kPa}</math></p> <p><math>\phi = 30^\circ - 33^\circ</math></p> <p><math>E = 250 - 300 \text{ MPa}</math></p> <p><math>\nu = 0.30</math></p>
<p>ΓU-2 (Underground section) / section of geotechnical behaviour</p> <p><math>\gamma = 23 \text{ KN/m}^3</math></p> <p><math>c = 20 - 30 \text{ kPa}</math></p> <p><math>\phi = 25^\circ - 28^\circ</math></p> <p><math>E = 150 - 180 \text{ MPa}</math></p> <p><math>\nu = 0.30</math></p>
<p>ΓU-3 (Underground section) / section of geotechnical behaviour</p> <p><math>\gamma = 23 \text{ KN/m}^3</math></p> <p><math>c = 20 - 30 \text{ kPa}</math></p> <p><math>\phi = 25^\circ - 28^\circ</math></p> <p><math>E = 40 - 60 \text{ MPa}</math></p> <p><math>\nu = 0.30</math></p>
<p>ΓU-4 (West portals) / Limestone</p> <p>soil type</p> <p>and weathering zone of</p> <p><math>\gamma = 23 \text{ KN/m}^3</math></p> <p><math>c = 15 - 20 \text{ kPa}</math></p> <p><math>\phi = 30^\circ - 35^\circ</math></p> <p><math>E = 25 - 35 \text{ MPa}</math></p> <p><math>\nu = 0.30</math></p>
<p>ΓU-5 (West portals) / Limestones</p> <p><math>\gamma = 23 \text{ KN/m}^3</math></p> <p><math>E = 1700 - 2000 \text{ MPa}</math></p> <p><math>\nu = 0.30</math></p> <p><math>\phi = 30^\circ - 35^\circ</math></p> <p><math>c = 10 - 15 \text{ kPa}</math></p> <p><math>\nu = 0.30</math></p>

### 3.3 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Ο καθορισμός των κατηγοριών υποστήριξης της αρχικής εκσκαφής έγινε με βάση την τυπική διατομή της σήραγγας. Με δύο λωρίδες κυκλοφορίας. Βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά της τυπικής διατομής της σήραγγας είναι οι εξής:

- Το πλάτος του οδοστρώματος είναι ίσο με 8.50m, και αποτελείται από δύο κύριες λωρίδες κυκλοφορίας με πλάτος 3.75 m οι κάθε μια. Και λωρίδα ασφαλείας δεξιά και αριστερά στα δύο άκρα των ακραίων λωρίδων ή απόσταση από τα πλαϊνά στηθαία της σήραγγας είναι 0.5m.
- Το ύψος κατακόρυφης κάθαρσης πάνω από τις λωρίδες κυκλοφορίας ( ύψος της περιοχής κυκλοφορίας) είναι 5,0m .
- Το πλάτος των πεζοδρομίων είναι 1,0m, και το ύψος κατακόρυφης κάθαρσης πάνω από τα πεζοδρόμια είναι 2,5m.
- Κάθε 50m προβλέπονται θέσεις έκτακτης ανάγκης και αποστράγγισης .
- Οι έξοδοι έκτακτης ανάγκης βρίσκεται σε απόσταση 1,05m.

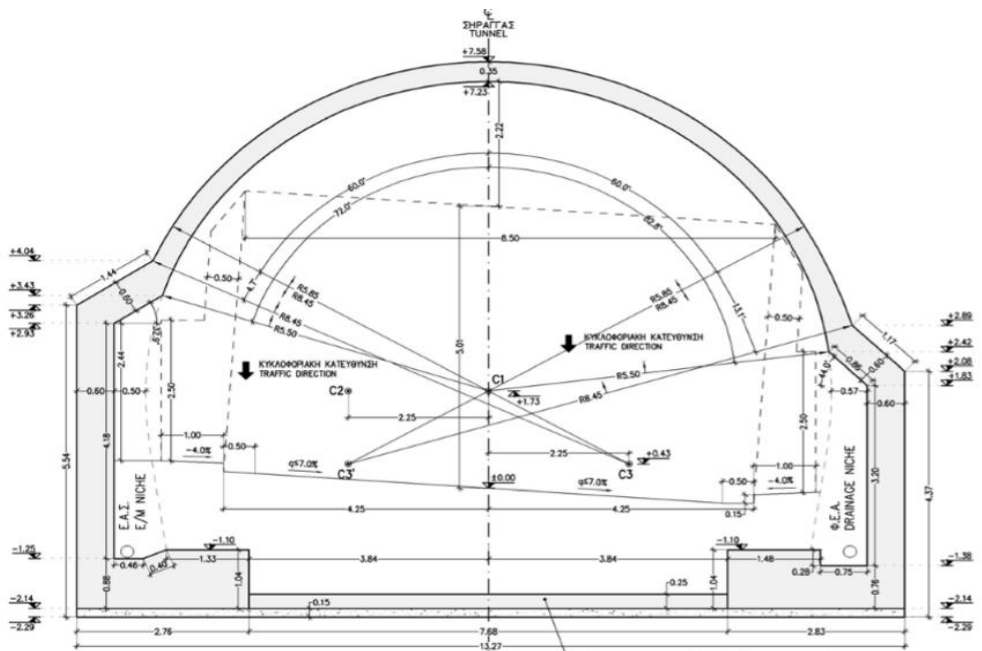
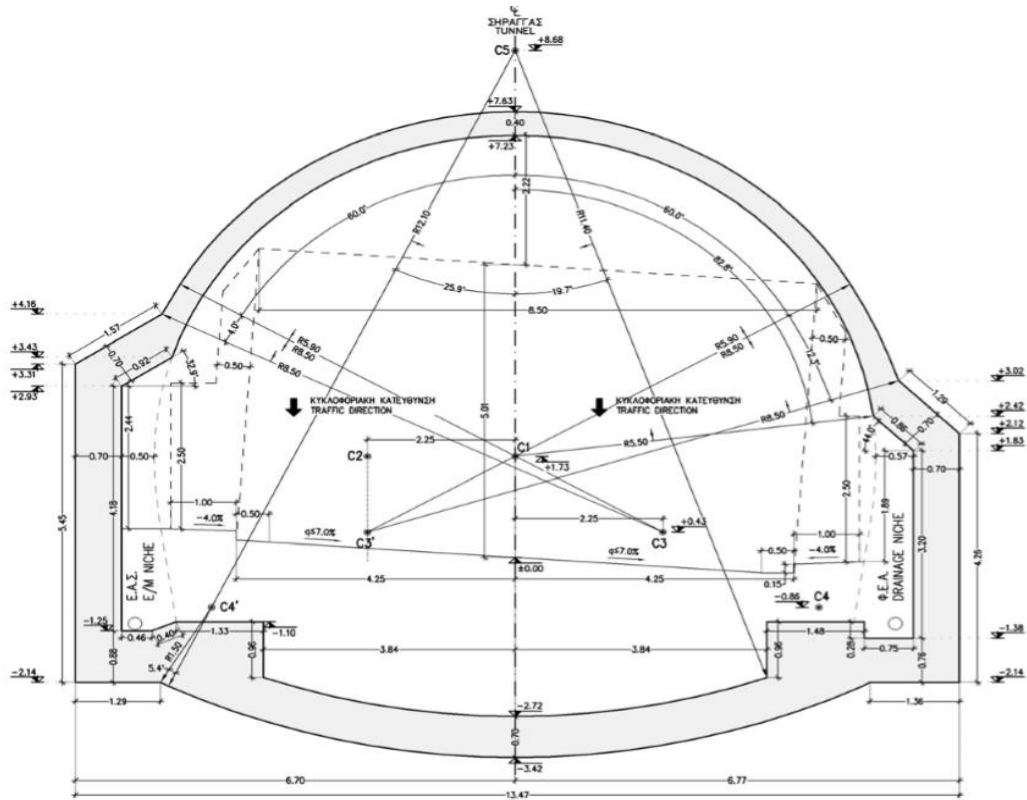
➤ Όσον αφορά τη διάταξη της σήραγγας, έχουν εφαρμοστεί τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Τρεις (3) διασταυρώσεις πεζών και δύο (2) διασταυρωμένες οχημάτων μεταξύ των δύο σωλήνων κάθε 300m, μέγιστη απόσταση σύμφωνα με το RABT 2006.
- Δύο (2) αποθήκες για το Νότο και το Βορρά αντίστοιχα, ανά 600m, σύμφωνα με το RABT 2006.
- Εστίες έκτακτης ανάγκης κάθε 50 μέτρα στη δεξιά πλευρά. Οι πυροσβεστήρες, οι πυροσβεστικοί εύκαμπτοι σωλήνες μαζί με τα κινητά τηλέφωνα έκτακτης ανάγκης (κάθε 150 μέτρα) τοποθετούνται στις θύρες κινδύνου
- Κλειστό σύστημα αφυδάτωσης οδών με δεξαμενές νερού στην κάτω πλευρά του οδοστρώματος που συνδέεται με κύριο σωλήνα αφυδάτωσης και ξεχωριστή λεκάνη έξω από τις σήραγγες.
- Όλα τα δομικά στοιχεία και τα εξαρτήματα μέσα στους σωλήνες σήραγγας πρέπει να έχουν αντίσταση στη φωτιά 90 λεπτών.
- Όσον αφορά το σχήμα της επίστρωσης, σχεδιάστηκε με μήκος 40m συν το απαιτούμενο μήκος για την καθοδήγηση των στοιχείων του συστήματος, σύμφωνα με το RABT 2006. Κατά συνέπεια, το μέγιστο πλάτος της τελικής επένδυσης της διατομής επείγουσας κατάστασης έκτακτης ανάγκης προσδιορίζεται ως 2,50m μεγαλύτερη σε σχέση με το σχετικό πλάτος του τυπικού τμήματος της κύριας σήραγγας, ενώ το μήκος της είναι 50m.
- Το ελεύθερο άνοιγμα της τελικής επένδυσης των περαστικών περασμάτων πεζών είναι 5.00m. το ελεύθερο ύψος τους είναι 4.50 m. Η καμπυλότητα της κορυφής της τελικής τους επένδυσης καθορίζεται από ακτίνα καμάρας 2,50m.

Για την εξασφάλιση του πλήρους ελέγχου και των απαιτήσεων συντήρησης των συστημάτων αποστράγγισης της σήραγγας προβλέπονται επίσης αποστάσεις αποστράγγισης κάθε 50 μέτρα λαμβάνοντας υπόψη τη διάμετρο σωλήνα αποστράγγισης Φ200 κυκλικού σχήματος.

Οι διαστάσεις αυτών των κογχών είναι το μήκος x ύψος x βάθος = περίπου 1,30m x 2,50m x 0,57m.

Αντίστοιχα οι διαστάσεις των θυρών έκτακτης ανάγκης είναι το μήκος x ύψος x βάθος = περίπου 3.40m x 2.50m x 0.50m.



Για την εσωτερική επένδυση καθορίστηκαν δύο (2) τυπικές διατομές, οι οποίες δημιουργήθηκαν από μεμονωμένες δοκούς θεμελίωσης (ανοιχτή διατομή πυθμένα, χωρίς αναστροφή) και μία με την οποία το θόλο ιδρύθηκε μέσω ανεστραμμένης πλάκας θεμελίωσης (κλειστή διατομή πυθμένα, ).

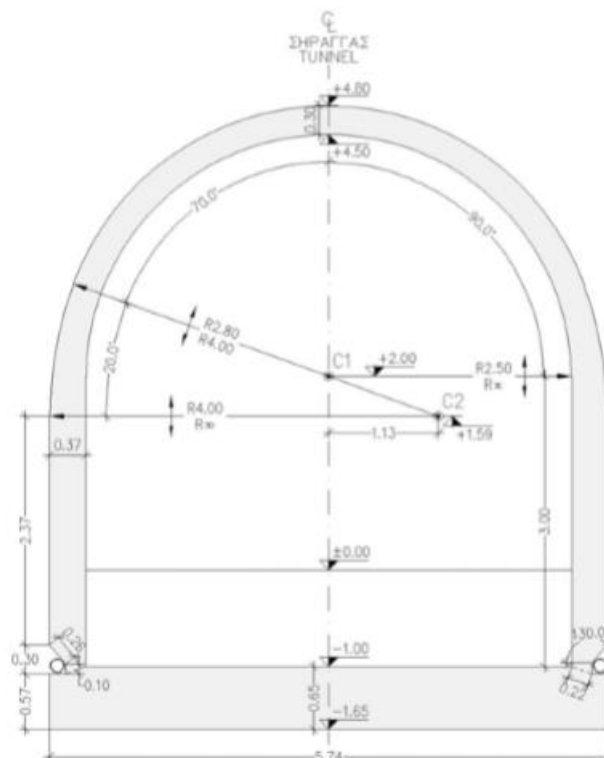
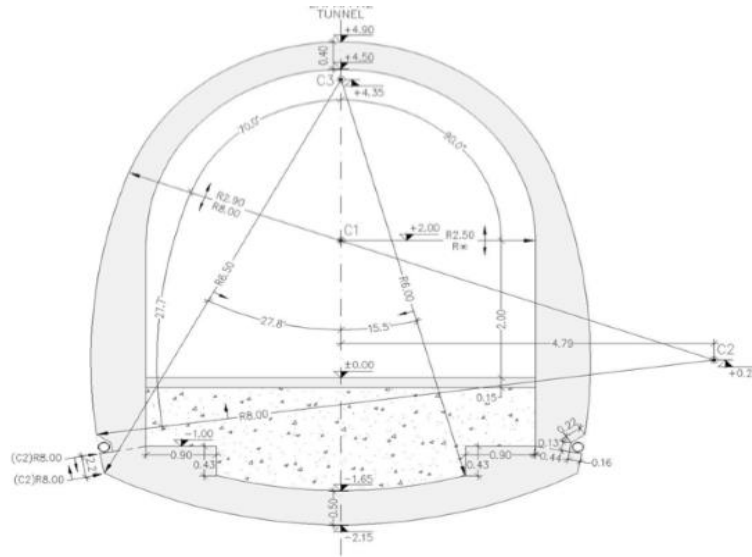
- Ο θόλος καθορίζεται από μια καμπύλη εσωτερική γεωμετρία, αποτελούμενη από δύο μεμονωμένα τόξα, με ακτίνα 5,5 μ. Στο στέμμα ( $180^\circ$ ) και 7,75μ στα πλευρικά τοιχώματα συν το ευθύγραμμο τμήμα 1,71μ κάτω στα πέλαμα
- Στην τελική εγκάρσια τομή προβλέπεται ένα τελικό καμπυλωτό ανάστροφο, το οποίο αποτελείται από ένα τόξο με ακτίνα 11.40m
- Μια ευθεία πλάκα θεμελίωσης, για τη σύνδεση των πινάκων, προβλέπεται στην ανοιχτή διατομή. Η αναγκαιότητα για την κατασκευή του θα καθοριστεί στην τελική σχεδίαση της εσωτερικής επένδυσης της σήραγγας.
- Το πάχος του θόλου εκτιμάται 40cm και 35cm στην κλειστή και ανοιχτή διατομή αντίστοιχα και το καμπύλο τελικό αναστροφής εκτιμάται με πάχος 70cm.

#### Διασταυρώσεις

Ο προσδιορισμός των κατηγοριών ανασκαφής και πρωτοβάθμιας στήριξης των διασταυρώσεων πεζών και οχημάτων βασίζεται στις τυπικές διατομές σήραγγας .

- Καθορίστηκαν δύο (2) τυπικές διατομές για την εσωτερική επένδυση των διασταυρωμένων διαδρόμων πεζών, οι οποίες δημιουργήθηκαν με ατομική ευθύγραμμη πλάκα θεμελίωσης ή δημιουργήθηκαν μέσω ανεστραμμένης πλάκας θεμελίωσης.
- Ο θόλος καθορίζεται από καμπύλη εσωτερική γεωμετρία, αποτελούμενη από ένα τόξο με ακτίνα 2.50m στην κορυφή ( $180^\circ$ ) συν ίσιο τμήμα 3.00m κάτω στην πλάκα βάσης.
- Στην τελική εγκάρσια τομή προβλέπεται ένα τελικό καμπύλο στροφείο, το οποίο αποτελείται από ένα τόξο με ακτίνα 6,00m
- Το πάχος της θήκης είναι 40cm για την εγκάρσια τομή που έχει ιδρυθεί μέσω ανεστραμμένης πλάκας θεμελίωσης και 30cm για την διατομή που δημιουργείται από μια μεμονωμένη ευθύγραμμη πλάκα θεμελίωσης. Ο καμπύλος τελικός αναστροφείας έχει πάχος 50cm, ενώ για την ευθύγραμμη πλάκα θεμελίωσης το πάχος είναι 0.65m. Το πάχος των πλευρικών τοιχωμάτων κυμαίνεται μεταξύ 0.40m και 0.70m για την διατομή που δημιουργείται μέσω ανεστραμμένης πλάκας θεμελίωσης, ενώ για την άλλη διατομή είναι 0.37m.
- Το ελεύθερο άνοιγμα της τελικής επένδυσης των διασταυρώσεων πεζών είναι 5.00m. Το ελεύθερο ύψος τους είναι 4.50m. Η καμπυλότητα της κορυφής της τελικής τους επένδυσης καθορίζεται από ακτίνα καμάρας 2,50m.
- Όσον αφορά τις διαστάσεις της τελικής επένδυσης των διασταυρώσεων των οχημάτων, αυτές είναι περίπου 9,46m και 5,00m για το μέγιστο πλάτος και το ελεύθερο ύψος αντίστοιχα. Η καμπυλότητα της κορυφής της τελικής επένδυσης καθορίζεται από ακτίνα καμάρας 4.73m.

Στα ακόλουθα σχήματα παρουσιάζονται οι εγκάρσιες τομές των εγκάρσιων διόδων του οχήματος.

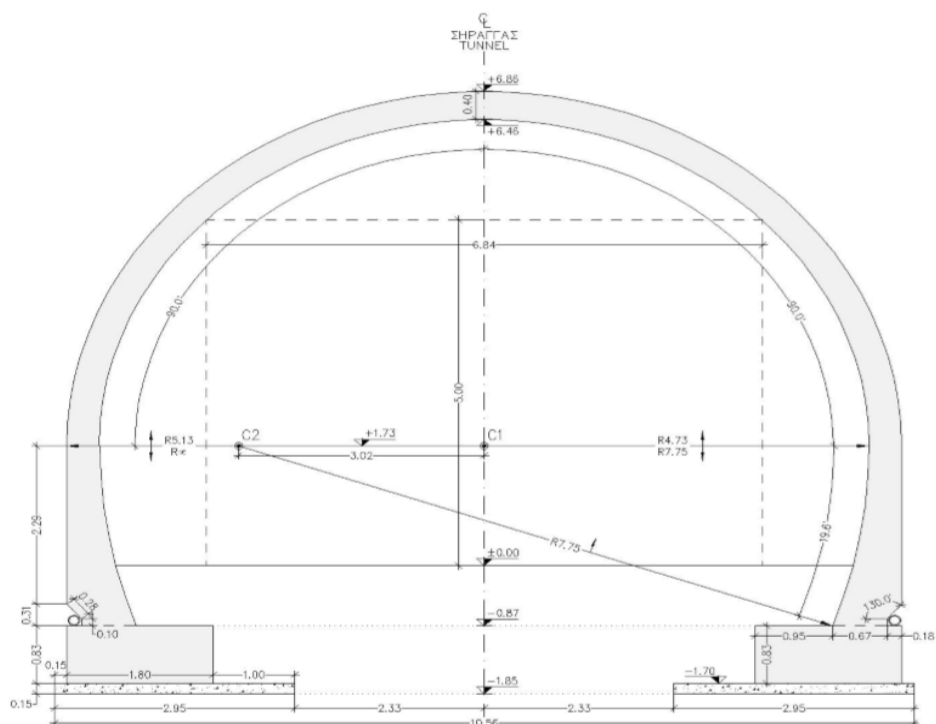


Σχετικά με τη διάταξη των διασταυρώσεων των οχημάτων:

- Καθορίστηκαν δύο (2) τυπικές διατομές για την εσωτερική επένδυση για τις διασταυρώσεις των οχημάτων, στις οποίες ο θάλαμος θεμελιώνεται από μεμονωμένες δοκούς θεμελίωσης (ανοιχτή διατομή πυθμένα, χωρίς αναστροφή) ή μέσω ανεστραμμένη πλάκα θεμελίωσης (κλειστή διατομή πυθμένα, με αναστροφή).

- Ο θόλος καθορίζεται από καμπύλη εσωτερική γεωμετρία, αποτελούμενη από δύο μεμονωμένα τόξα, με ακτίνα 4,73m στην κορυφή (180ο) και 7,75m στα πλευρικά τοιχώματα (39,2ο).
- Στην τελική εγκάρσια τομή προβλέπεται ένα τελικό καμπυλωτό ανάστροφο, το οποίο αποτελείται από ένα τόξο με ακτίνα 12.55m (30.8ο).
- Μια ευθύγραμμη πλάκα θεμελίωσης, για τη σύνδεση των πινάκων, προβλέπεται στην ανοιχτή διατομή προκειμένου να ενισχυθεί ένα άκαμπτο μπλοκ σκυροδέματος στην περιοχή διασταύρωσης. Οι λεπτομέρειες ενίσχυσης θα καθοριστούν στον τελικό σχεδιασμό της τελικής επένδυσης.
- Το πάχος της θήκης είναι 40cm και το καμπύλο τελικό invert έχει πάχος 70cm.

Στα ακόλουθα σχήματα παρουσιάζονται οι εγκάρσιες τομές των εγκάρσιων διόδων του οχήματος.







### 3.3.2 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Οι γεωτεχνικές ενότητες ορίστηκαν σύμφωνα με τις συνθήκες εκσκαφής που αναμένονταν στο μέτωπο της σήραγγας. Η φύση των σχηματισμών δεν επιτρέπει την κατηγοριοποίηση τους ως βραχώμαζες αλλά ούτε και ως εδάφη. Σύμφωνα με την εγκεκριμένη γεωλογική & γεωτεχνική αξιολόγηση οι γεωτεχνικές ενότητες για το υπόγειο τμήμα του έργου είναι τέσσερις και στην περιοχή μελέτη αναμένεται να συναντηθούν οι GU- 2 ( κυρίως) και η GU-3 κατά τόπους και σε περιορισμένα τμήματα του μετώπου. Διαφέρουν ως προς την ευκολία εκσκαφής του μετώπου με μηχανικά μέσα και την σύσταση τους σύμφωνα με τις εργοστασιακές δοκιμές. Η επισκαψιμότητα του μετώπου με μηχανικά μέσα εάν είναι απαραίτητη η χρήση υδραυλικής σφύρας ή εκσκαφέα είναι ο άμεσος και πιο διακριτός παράγοντας επιλογής γεωτεχνικής ενότητας εντός της σήραγγας. Τα χαρακτηριστικά των ενότητων είναι:

1. Γεωτεχνική συμπεριφορά μαλακού βράχου με αντοχή περίπου  $0,5\text{MPa} < \sigma_{cm} < 5\text{MPa}$
2. Γεωτεχνική συμπεριφορά σκληρού εδάφους – μαλακού βράχου με αντοχή περίπου  $0,5\text{MPa}$  και σε κάθε περίπτωση μεγαλύτερη από  $0,2\text{MPa}$ .
3. Γεωτεχνική συμπεριφορά εδάφους με αντοχή περίπου  $0,2\text{MPa}$  ή χαμηλότερη.

Τα γεωυλικά της πρώτης κατηγορίας (GU-1 ) χαρακτηρίζονται ως μαλακοί βράχοι με σαφή και ξεκάθαρη δομή της περιβάλλουσας βραχώμαζας με κατά τόπους χαλαρότερες περιοχές κοκκωδών υλικών. Είναι απαραίτητη η χρήση βαρέων μηχανικών μέσων ( υδραυλική σφύρα) για την εκσκαφή τους , στοιχείο που έχει επιβεβαιωθεί κατά την εκσκαφή του όμορου τμήματος του βόρειου κλάδου.

Η δεύτερη κατηγορία (GU-2) γεωυλικών χαρακτηρίζεται από χαλαρότερα υλικά σε σχέση με την κατηγορία I, ευκολότερη εκσκαφή ( ίσως και με χρήση εκσκαφέα), αλλά σε κάθε περίπτωση είναι ξεκάθαρη και διακριτή ή δομή της περιβάλλουσας βραχώμαζας παρόλη τη χαλαρή ή ημι- συνεκτική γεωτεχνική συμπεριφορά που παρουσιάζει.

Η Τρίτη κατηγορία ( GU-3) γεωυλικών μπορεί να χαρακτηριστεί ως εδαφική, ή εκσκαφή τους γίνεται εύκολα με μηχανικά μέσα και στο μέτωπο της σήραγγας επικρατούν χαλαρά και ημισυνεκτικά υλικά.

Η τέταρτη κατηγορία (GU-4) γεωυλικών απαντάται περισσότερο στα στόμια των σηράγγων με χαμηλά υπερκείμενα. Είναι εναλλαγές χαλαρών αμμοίλυωδών εδαφών με κροκαλοπαγή και μαλακές έως ημισυνεκτικές διαβρωμένες μάργες. Δεν αναμένεται η παρουσία τους στο μέτωπο της σήραγγας για το υπόψη τμήμα του έργου.

Πρέπει να επισημανθεί σχετικά με τη διαφοροποίηση μεταξύ των δύο πρώτων κατηγοριών GU-1 και GU-2 ότι, ή διάκριση τους με βάση λιθολογικά κριτήρια δεν είναι δυνατή, ειδικότερα στην περίπτωση της μάργας. Αυτό επισημάνθηκε κατά την γεωλογική έρευνας της κυρίας μελέτης και αποδείχθηκε κατά την κατασκευή. Η οπτική επιθεώρηση του μετώπου δεν καθορίζει πλήρως την κατηγορία της μάργας παρά μόνο εάν και σε τι ποσοστό είναι παρόντα κοκκώδη υλικά ( κροκαλοπαγή ή αμμώδη στρώματα). Η ασφαλέστερη διάκριση γίνεται με την ευκολία εκσκαφής του μετώπου. Η διαφορά στην αντοχή και στη συνοχή των δύο κατηγοριών είναι εμφανής και προσδιορισμένη μεταξύ τους. Επιπρόσθετος παράγοντας που διαφοροποιεί τις

εν λόγω γεωτεχνικές ενότητες είναι το ποσοστό και η συνεκτικότητα των κοκκωδών υλικών στο μέτωπο. Στην ενότητα GU-1 τα κοκκώδη υλικά δεν συναντώνται συχνά, είναι περιορισμένου πάχους και δεν επηρεάζουν την γενικότερη ευστάθεια και την ισορροπία του μετώπου. Στην ενότητα GU-2 τα κοκκώδη υλικά έχουν μεγαλύτερη έκταση, μπορούν να καλύπτουν μεγαλύτερο μέρος του μετώπου και να γίνεται αντιληπτή η επίδραση τους στην ευστάθεια. Η αναφερόμενη διάκριση μεταξύ των γεωτεχνικών ενότητων επιβεβαιώθηκε κατά την κατασκευή της σήραγγας και επομένως θεωρείται ότι οι αρχικώς προταθείσες γεωτεχνικές ενότητες περιγράφουν ικανοποιητικά τη γεωτεχνική συμπεριφορά της σήραγγας και υιοθετούνται και στην παρουσία επικαιροποίησης της μελέτης.

### **Γεωτεχνική ενότητα 1 – Συνεκτική έως πολύ συνεκτική κατάσταση ( υπόγειο τμήμα)**

#### **1 ) Σχηματισμός μαργών**

Καστανή κστανότεφρη, τεφρή σκοτεινότεφρη σπιφρή, πολύ σκληρή αργιλική έως αμμώδης μάργα με κατά θέσεις λεπτές ενστρώσεις οργανικών υλικών. Στο σχηματισμό δύνανται να παρεμβάλλονται ενστρώσεις ή φακοί περιορισμένων διαστάσεων ημισυνεκτικού έως συνεκτικού κροκαλοπαγούς, ή συμπαγούς ψαμμίτη, πάχους μερικών εκατοστών έως 3m περίπου. Οι αδρομερείς σχηματισμοί δύνανται να παρουσιάζονται και ασύνδετοι ή με πολύ μικρή συνεκτικότητα σε περιορισμένο όμως ποσοστό εμφάνισης και χωρίς μεγάλες εμφανίσεις στην περιοχή του θόλου. Επίσης κατά θέσεις αναμένεται η παρουσία στρωμάτων χονδρόκοκκης άμμου ιλυώδους κατά θέσεις, πυκνής απόθεσης με χάλικες και κροκάλες κατά θέσεις πολύ μικρής πλαστικότητας. Η χωρίς πλαστικότητα, με πάχος μερικών εκατοστών έως το πολύ 0,5 m κυρίως στις περιοχές μετάβασης από τα κροκαλοπαγή προς τις μάργες ή τους ψαμμίτες. Οι μάργες αποτελούν στεγανό σχηματισμό και αναμένεται εν γένει παρουσία τοπικής υγρασίας λόγω της σχετικής διαφοροποίησης στη σύσταση του σε σχέση με το επικρατούν αργιλικό ή αμμώδες κλάσμα. Αυξημένη υγρασία ή και τοπική ελαφρά ροή αναμένεται στα στρώματα του κροκαλοπαγούς και του ψαμμίτη τα οποία αποτελούν υδροπερατούς σχηματισμούς.

#### **2) Σχηματισμός κροκαλοπαγών**

Ημισυνεκτικό έως συνεκτικό κροκαλοπαγές, συμπαγές κυρίως και κατά θέσεις μόνο χαλαρό ή ασύνδετο, με κατά θέσεις παρουσία σκληρών έως πολύ σπιφρών αργιλωδών ή αμμούχων -ψαμμιτικών συμπαγών μαργών ή ψαμμιτών, υπό μορφή ενστρώσεων ή φακών. Οι αδρομερείς σχηματισμοί δύνανται να παρουσιάζονται και ασύνδετοι ή με πολύ μικρή συνεκτικότητα σε μικρό ποσοστό εμφάνισης του σχηματισμού, χωρίς όμως μεγάλες εμφανίσεις στην περιοχή του θόλου. Ενδέχεται επίσης η παρουσία φακών ή ενστρώσεων περιορισμένης εμφάνισης άμμου ή ιλυώδους άμμου περιορισμένου όμως πάχους το πολύ 0,5m. Επίσης δύνανται να

παρεμβάλλονται εμφανίσεις μαλακής μάργας, αργιλώδους ή αμμώδους , με περιορισμένο επίσης πάχος. Στο σχηματισμό των συνεκτικών-ημισυνεκτικών κροκαλοπαγών, αναμένεται εν γένει αυξημένη υγρασία και στάγδην ροή, ή ελαφρά ροή, χωρίς όμως φαινόμενα παρουσίας υπό πίεση υδροφόρων οριζόντων και χωρίς φαινόμενα αποδόμησης της βραχώμαζας λόγω πίεσης πόρων.

## **Γεωτεχνική ενότητα 2 – Ημισυνεκτική κατάσταση ( Υπόγειο τμήμα)**

### **1) Σχηματισμός μαργών**

Καστανή, κστανότεφρη, τεφρή, σκοτεινότεφρη στιφρή έως κατά θέσεις μαλακής αργιλική έως αμμώδης μάργα με κατά θέσεις λεπτές ενστρώσεις οργανικών υλικών. Οι μάργες παρουσιάζονται εύθρυπτες και αποσαθρωμένες, με φαινόμενα διαχωρισμού κατά μήκος της στρώσης (fissility) και παρουσία slickensides ασυνεχειών κατά θέσεις, κυρίως λόγω τεκτονικής καταπόνησης. Στο σχηματισμό δύνανται να παρεμβάλλονται ενστρώσεις ή φακοί χαλαρού έως ημισυνεκτικού κροκαλοπαγούς, ή εύθρυπτου ψαμμίτη, πάχους 3m έως 5m περίπου. Επίσης κατά θέσεις αναμένεται η παρουσία στρωμάτων άμμου, ιλυώδους κατά θέσεις πυκνής απόθεσης με χάλικες και κροκάλες κατά θέσεις, πολύ μικρής πλαστικότητας ή χωρίς πλαστικότητα ή χωρίς πλαστικότητα, με πάχος το πολύ έως 1,5m αλλά σε στέγνες συνθήκες . Οι αδρομερείς σχηματισμοί δύνανται να παρουσιάζονται και με αυξημένη συνεκτικότητα, σε περιορισμένες όμως εμφανίσεις. Αναμένονται μεγαλύτερες εμφανίσεις ασύνδετων και χαλαρών υλικών στο θόλο, χωρίς όμως να καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος αυτού. Σε σχέση με τις συνθήκες υπογείου νερού αναμένεται αυξημένη ροή, χωρίς όμως αποδιοργάνωση των σχηματισμών στην περιοχή του μετώπου και χωρίς φαινόμενα ροής εδαφικών υλικών που να σχετίζονται με αυξημένη πίεση πόρων.

### **2) Σχηματισμός κροκαλοπαγών**

Ελαφρά συγκολλημένο έως χαλαρό κροκαλοπαγές, συμπαγές μόνο σε περιορισμένες θέσεις, με κατά θέσεις παρουσία στιφρών έως μαλακών αργιλωδών ή αμμούχων – ψαμμιτικών μαργών, ιλυώδους κατά θέσεις , πυκνής απόθεσης με χάλικες και κροκάλες κατά θέσεις, πολύ μικρής πλαστικότητας ή χωρίς παρεμβάλλονται εμφανίσεις πολύ στιφρής ή σκληρής μάργας ,αργιλώδους ή αμμώδους, με περιορισμένο πάχος. Αναμένονται μεγαλύτερες εμφανίσεις ασύνδετων και χαλαρών υλικών στο θόλο χωρίς όμως να καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος αυτού. Στο σχηματισμό των ελαφρά συγκολλημένων έως χαλαρών κροκαλοπαγών, αναμένεται εν γένει αυξημένη υγρασία και στάγδην ροή, ή ελαφρά ροή, χωρίς όμως φαινόμενα παρουσίας υπό πίεση υδροφόρων οριζόντων και χωρίς φαινόμενα αποδόμησης της βραχώμαζας λόγω πίεσης πόρων στην περιοχή του μετώπου.

## **Γεωτεχνική ενότητα 3 – χαλαρή κατάσταση ( Υπόγειο τμήμα)**

### **1) Άμμος**

Εκτεταμένοι ορίζοντες ή φακοί χονδρόκοκκης ή λεπτόκοκκης άμμου, ιλυώδους ή αργιλώδους με παρουσία κατά θέσεις χάλικων και κροκαλών, μέσης ή πυκνής απόθεσης, αλλά και χαλαρές , οι οποίες δύνανται να παρουσιάζονται κουρασμένες η ακόρεστες σε νερό. Οι άμμοι δύνανται να παρουσιάζονται ροή στην περιοχή του μετώπου και να καταλαμβάνουν σημαντικό τμήμα του θόλου ή των πλευρικών

πορειών. Οι άμμοι δύνανται να παρουσιάζονται ως ενστρώσεις ή φακοί σημαντικού πάχους και εύρους εντός των λοιπών αδρομερών και αργιλικών σχηματισμών ( μάργες- κροκαλοπαγή), ή να παρουσιάζονται ως συνεχείς εναλλαγές με μάργες ή κροκαλοπαγή στις οποίες όμως θα υπερτερούν ως ποσοστό εμφάνισης και οι λοιποί σχηματισμοί θα παρουσιάζονται εύθρυπτοι, με μικρή συνεκτικότητα ή χαλαροί ( κροκαλοπαγή) και μαλακοί ( μάργες)

## **2) Μάργες**

Καστανή, κοτανότεφρη, τεφρή, σκοτεινότερη μαλακή έως πολύ μαλακή αργιλική έως αμμώδης μάργα με κατά θέσεις λεπτές ενστρώσεις οργανικών υλικών και έντονη παρουσία διαχωρισμού, ή εμφάνιση των οποίων σχετίζεται με παρουσία ρηξιγενών ζωνών ή πολύ αυξημένης υδροφορίας προερχόμενης από υπερκείμενες αδρομερείς και χαλαρές λιθολογικές φάσεις. Στο σχηματισμό δύνανται να παρεμβάλλονται και ενστρώσεις ή φακοί χαλαρών κροκαλοπαγών ή πιο σφιγρών μαργαϊκών σχηματισμών με περιορισμένες όμως εμφανίσεις ή πάχος.

## **3) Κροκαλοπαγή**

Χαλαρά κυρίως έως κατά θέσεις ελαφρά συγκολλημένα κροκαλοπαγή ή χάλικες με άμμο, με αυξημένη παρουσία στο θόλο ή στην περιοχή θεμελίωσης της διατομής. Δίνονται να παρεμβάλλονται και εμφανίσεις μαλακών ή στριφρών μαργών ή πιο συνεκτικών οριζόντων κροκαλοπαγών μικρής όμως έκτασης και πάχους.

Αναφορικά με τις συνθήκες υπογείου νερού αναμένεται συνθήκες αυξημένης υδροφορίας με κατά θέσεις παρουσία υπό πίεση υδροφόρων οριζόντων και συνεχή ροή, ή οποία επηρεάζει τη δομή των σχηματισμών και δημιουργεί φαινόμενα αποδόμησης της βραχώμαζας.

## **Γεωτεχνική ενότητα 4 ( Δυτικό στόμιο)**

Εναλλαγές χαλαρών άμμων, ιλύων και κροκαλών κανλιοειδούς γεωμετρίας και μαλακών έως ημισυνεκτικών ισχυρά αποσθρωμένων μαργών- Υλικά με προδιάθεση επιφανειακών αστοχιών. Αυτή η γεωτεχνική ενότητα αποτελείται από χαλαρά ετερογενή κοκκώδη υλικά και ημισυνεκτικά εδάφη τα οποία έχουν δομή αλλά όχι ευδιάκριτη. Η συμπεριφορά των υλικών συσχετίζεται άμεσα με την κυκλοφορία του υπογείου νερού. Επιφανειακοί ερπυσμοί μπορεί να παρατηρηθούν λόγω του κορεσμού του ανώτερου τμήματος των υλικών τα οποία είναι συνήθως κροκάλες και άμμοι και λόγω της δημιουργίας επιφανειών ολίσθησης κατά μήκος της επαφής με τα υποκείμενα αργιλικά στρώματα τα οποία αποτελούνται κυρίως από μάργες ή από ιλυώδεις- αμμώδεις αργίλους και αποτελούν το μανδύα αποσάθρωσης των μαργών. Ο βαθμός κορεσμού είναι πολύ σημαντικός ή σιμεντωμένα υλικά μπορεί επίσης να εμφανιστούν τα οποία όμως δεν επηρεάζουν τη συνολική δομή της ενότητας καθώς η παρουσία τους δεν είναι συστηματική. Τα υλικά αυτής της ενότητας είναι πολύ επιδεικτικά στους παράγοντες αποσάθρωσης, με αποτέλεσμα την περαιτέρω αποδιοργάνωση της δομής τους και των μηχανικών ιδιοτήτων τους. Ως αποτέλεσμα, ή εν λόγω γεωτεχνική ενότητα παρουσιάζει γεωτεχνική συμπεριφορά εδάφους.

## Γεωτεχνική ενότητα 5 ( Δυτικά στόμια)

Λεπτοπλακώδεις έως μεσοπλακώδεις κερματιμένοι ασβεστόλιθοι με μερικές ενστρώσεις σχιστολίθων και κερατολίθων. Αποτελείται από λευκότεφρους έως κοκκινώπους ασβεστόλιθους, οι οποίοι είναι κυρίως λεπτοπλακώδεις και χαρακτηρίζονται από καλά αναπτυγμένη στρώση. Κατά θέσεις απαντώνται μαργαϊκοί οασβεστόλιθοι, με ενστρώσεις σχιστολίθων, κερατολίθων και ιλιολίθων. Ο σχηματισμός παρουσιάζεται αρκετά κερματισμένους και αποδιοργανωμένους κατά θέσεις, με χαμηλές έως μέτριες, εξαρτώμενες κυρίως από την παρουσία ζωνών κερματισμού και ενστρώσεων αργιλικών σχιστολίθων, που απογειώνουν την ποιότητα της βραχόμαζας.

### ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ GU-1 (ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΕΔΑΦΟΥΣ).

Geotechnical parameters	GU-1
Unit weight	$\gamma = 23.0\text{kN/m}^3$
Cohesion	$c = 130\text{kPa} - 150\text{kPa}$
Angle of shearing resistance	$\varphi = 30^\circ - 33^\circ$
Elasticity modulus	$E = 250\text{MPa} - 300\text{MPa}$
Poisson's ratio	$\nu = 0.30$

### ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ GU-2 (ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΚΛΗΡΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ – ΜΑΛΑΚΟΥ ΒΡΑΧΟΥ).

Geotechnical parameters	GU-2
Unit weight	$\gamma = 23.0\text{kN/m}^3$
Cohesion	$c = 80\text{kPa} - 90\text{kPa}$
Angle of shearing resistance	$\varphi = 28^\circ - 30^\circ$
Elasticity modulus	$E = 150\text{MPa} - 180\text{MPa}$
Poisson's ratio	$\nu = 0.30$

**ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ GU-3 (ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΕΔΑΦΟΥΣ).**

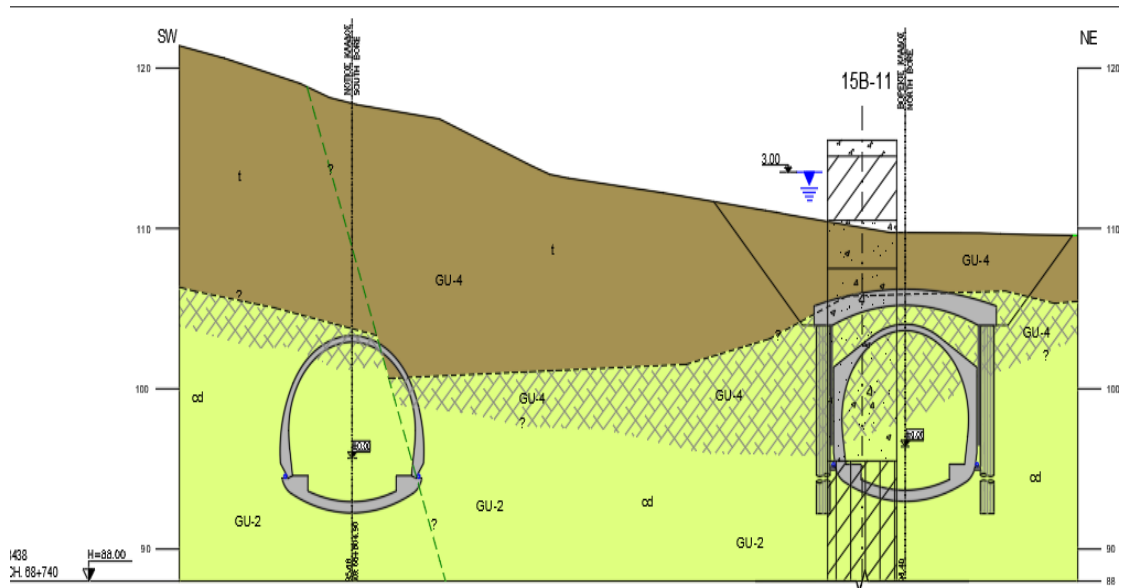
Geotechnical parameters	GU-3
Unit weight	$\gamma = 23.0\text{kN/m}^3$
Cohesion	$c = 20\text{kPa} - 30\text{kPa}$
Angle of shearing resistance	$\phi = 25^\circ - 28^\circ$
Elasticity modulus	$E = 40\text{MPa} - 60\text{MPa}$
Poisson's ratio	$\nu = 0.35$

**ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ GU-4 (ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΕΔΑΦΟΥΣ).**

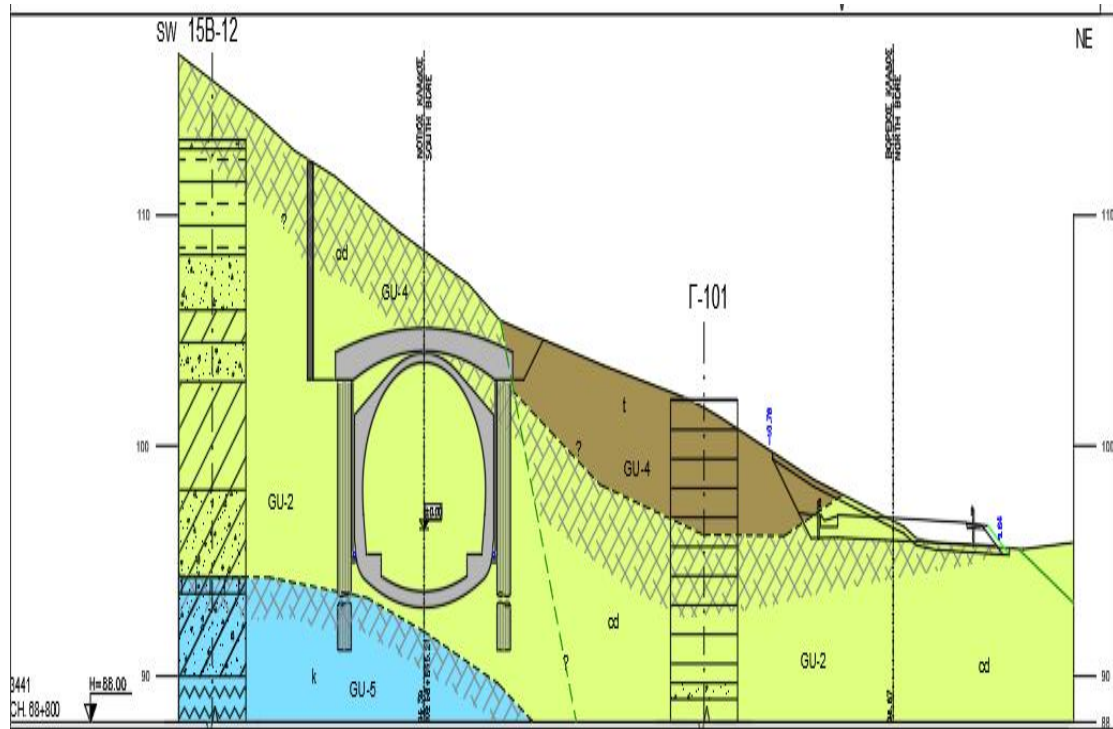
Geotechnical parameters	GU-4
Unit weight	$\gamma = 23.0\text{kN/m}^3$
Cohesion	$c = 15\text{kPa} - 25\text{kPa}$
Angle of shearing resistance	$\phi = 30^\circ - 35^\circ$
Elasticity modulus	$E = 28\text{MPa} - 35\text{MPa}$
Poisson's ratio	$\nu = 0.35$

GU-5 (West portals) / Limestones	
GSI	25-40
$\sigma_{ci}$ (MPa)	12-20
$E_i$ (MPa)	1700-7000
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	26
$\nu$	0.30
$E_m$ (MPa)	350-450
$\sigma_m$ (MPa)	1.0-1.5
$c$ (kPa)	70-100
$\phi$ (°)	35-40

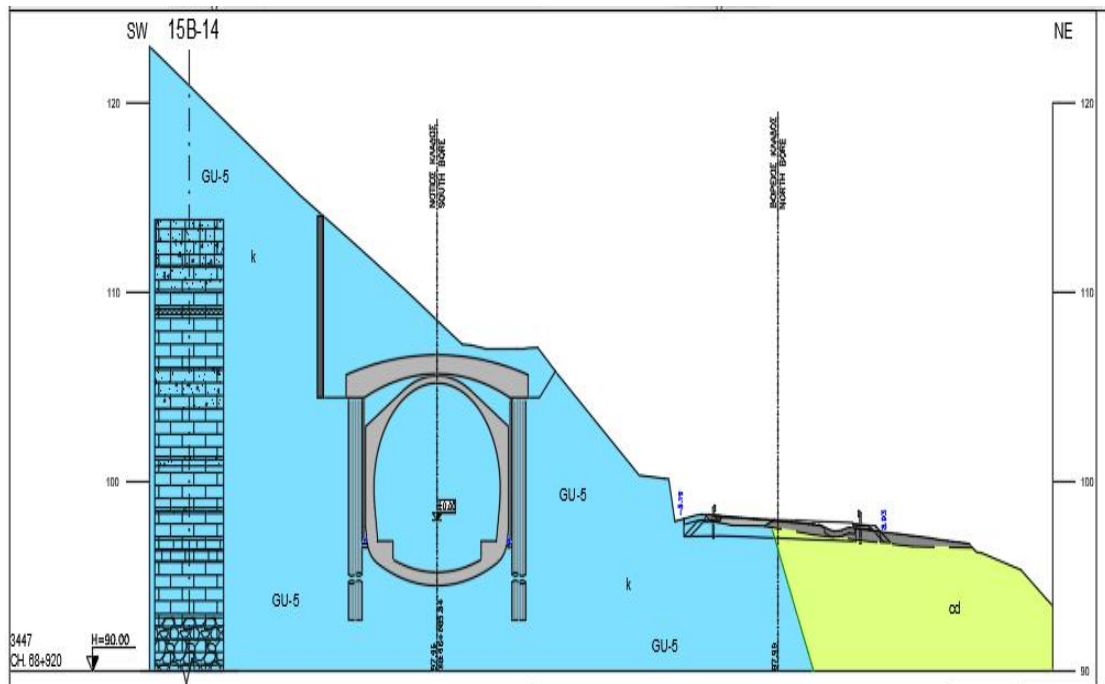
Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι κύριες γεωτεχνικές μονάδες που συναντώνται κατά την εκσκαφή της σήραγγας είναι οι GU-1 και GU-2, με περιορισμένες εμφανίσεις του GU-3.



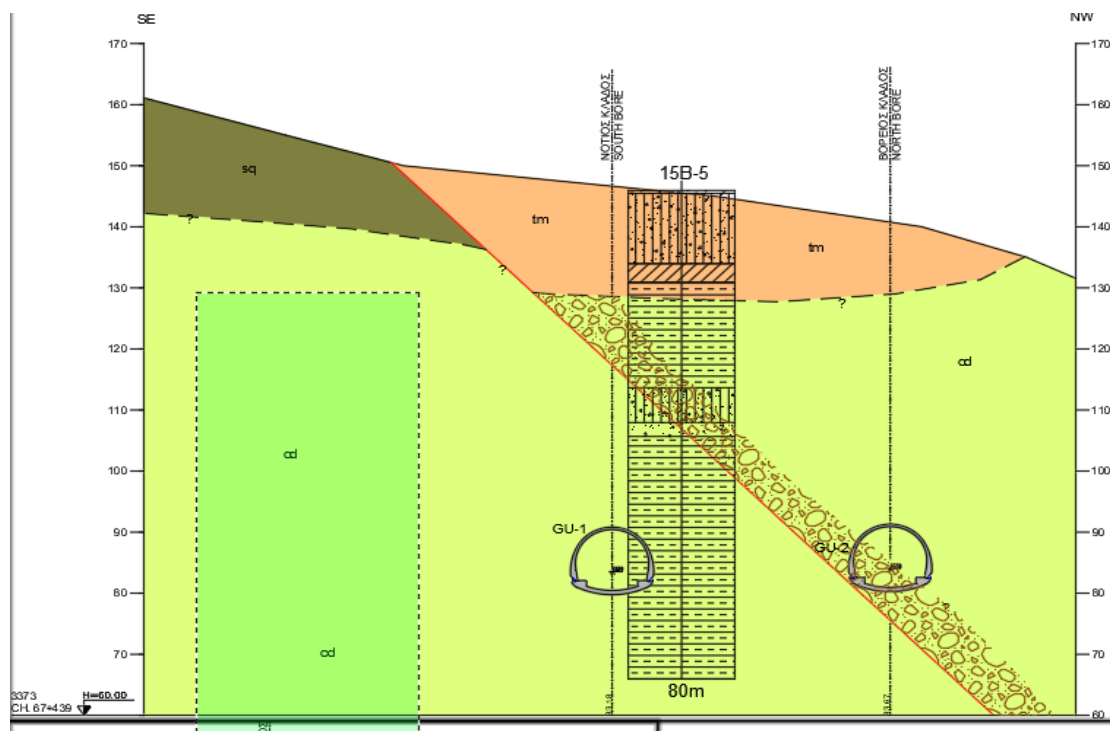
Γεωλογικό - γεωτεχνικό μοντέλο CH 68+740



Γεωλογικό- γεωτεχνικό μοντέλο CH 68+800

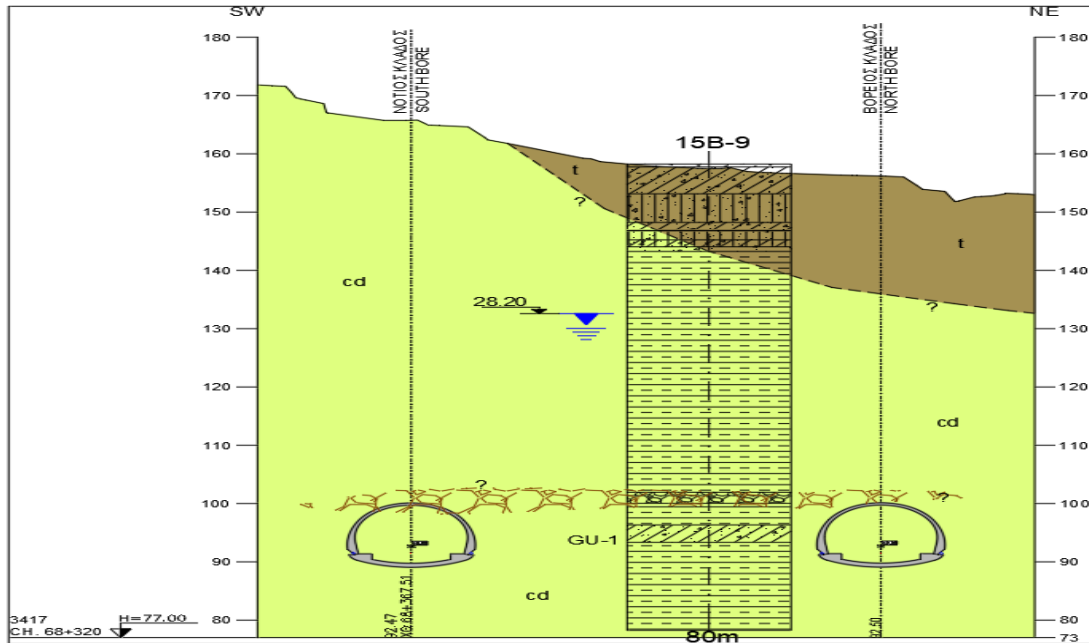


Γεωλογικό- γεωτεχνικό μοντέλο CH 68+920

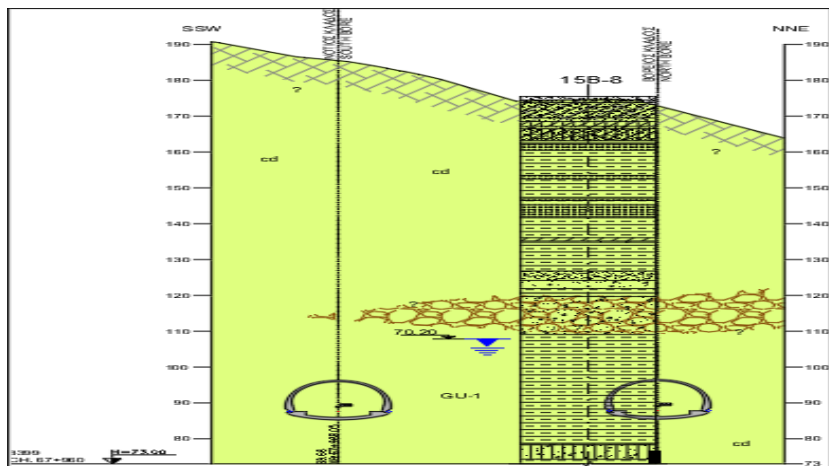


Γεωλογικό - γεωτεχνικό μοντέλο CH 68+439





Γεωλογικό - γεωτεχνικό μοντέλο CH 68+320



Γεωλογικό - γεωτεχνικό μοντέλο CH 67-960

### 3.4 ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΕ ΚΑΘΕΤΗ ΤΑΝΙΣΗ ,K

Αναφορικά με την τιμή του συντελεστή οριζόντιας έως κατακόρυφης τάσης K, ο Terzaghi & Richart (1952) προτείνει τον υπολογισμό του συντελεστή χρησιμοποιώντας τον λόγο Poisson ( $\nu$ ) στην περίπτωση ισότροπης, γραμμικής ελαστικής μάζας βράχου και υποθέτοντας ότι τα πλευρικά στελέχη θα είναι μηδέν ( $\epsilon_2 = \epsilon_3 = 0$ ), σύμφωνα με τον τύπο  $K = \nu / (1-\nu)$ . Αυτή η υπόθεση, αν και έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στο παρελθόν, έχει αποδειχθεί ανακριβής σύμφωνα με επιτόπιες μετρήσεις και προς αυτή την στιγμή σπάνια εφαρμόζεται. Σημειώνεται ότι για τις συνήθως εφαρμοζόμενες τιμές του λόγου Poisson εντός της περιοχής από 0,2 έως 0,4 ο συντελεστής K κυμαίνεται μεταξύ 0,25 και 0,67.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω και λαμβάνοντας επίσης υπόψη:

- την αβεβαιότητα που επικρατεί για τις τιμές του συντελεστή K,
- τη σημασία αυτού του συντελεστή για την ανάπτυξη ζωνών απόδοσης,
- τις βιβλιογραφικές αναφορές, αναφέροντας περιπτώσεις βλαβών λόγω ακατάλληλου προσδιορισμού η τιμή του συντελεστή και
- η εμπειρία της ομάδας σχεδιασμού από έργα σήραγγας σε παρόμοιους σχηματισμούς, αναφέρεται ότι για τον υπολογισμό των τάσεων που θα αναπτυχθούν στην αρχική υποστήριξη, η εκτίμηση των συγκλίσεων κατά την εκσκαφή καθώς και τα φορτία που εφαρμόζονται στην αρχική επένδυση (εκτοξευόμενο σκυρόδεμα) της σήραγγας, στους σχετικούς υπολογισμούς, ο συντελεστής οριζόντιας σε κάθετες καταπονήσεις είναι  $K = 0,75$ .

### 3.5 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ

Σύμφωνα με τον νέο χάρτη σεισμικών κινδύνων (αναθεώρηση των σεισμικών δεδομένων κινδύνου ΦΕΚ 1154 / Β / 12-08-2003) και του Ελληνικού σεισμικού κώδικα (ΕΑΚ, 2000), η υπό μελέτη περιοχή χαρακτηρίζεται ως Ζώνη II. Ο σεισμικός συντελεστής πρέπει να ληφθεί ως  $\alpha = 0,24$  και επομένως η σεισμική επιτάχυνση είναι ίση με  $A = \alpha * g = 0,24 * g$ . Σημειώνεται, ωστόσο, ότι ο σχεδιασμός των μηχανικών δομών θα βασίζεται στις σχετικές συμβατικές διατάξεις, οι οποίες προβλέπουν πιο συντηρητικές προδιαγραφές σχετικά με τον σεισμικό σχεδιασμό μόνιμων δομών. Σύμφωνα με τα έγγραφα της σύμβασης, για σημαντικές μόνιμες κατασκευές στην εξεταζόμενη περιοχή, όπως σήραγγες, ο παραπάνω συντελεστής πρέπει να αυξηθεί κατά συντελεστή 1,3 (δηλαδή  $\alpha = 0,31$ ).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> - ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Η κατασκευή της σήραγγας Πλατάνου T15 πραγματοποιείται με την μέθοδο NATM (New Austrian tunneling method) Πρόκειται για μέθοδο που βασίζεται στην αυτουποστηρίξη της βραχώμαζας. Αυτό σημαίνει ότι κατά την εκσκαφή, αφού προχώρησε η διάνοιξη κάποια μέτρα ( είτε με συμβατικά μέσα διάνοιξης είτε με εκρηκτικά) δίνεται χρόνος στη βραχώμαζα να υποστεί κάποιες πρώτες συγκλίσεις.

Η διάμετρος της διατομής της σήραγγας είναι 14m ενώ το ύψος της φτάνει τα 11.60m τα γεωμετρικά στοιχεία είναι ίδια και για τους δύο κλάδους.

### 4.1 ΦΑΣΕΙΣ ΕΚΣΑΦΗΣ

Η διάνοιξη της σήραγγας πραγματοποιείται σε τρεις (3)φάσεις.

Η φάση Α όπου διανοίγεται μια πρώτη μικρή διατομή, ή φάση Β η οποία έπεται της Α ,όπου η σήραγγα αποκτά την τελική διατομή και η Γ φάση ( Invert) όπου σχηματίζεται ένα μικρό ανεστραμμένο αψιδωτό τόξο στην βάση της σήραγγας, ώστε να αυξηθούν οι τιμές των τάσεων που μπορεί να λάβει η σήραγγα χωρίς να προκληθούν προβλήματα αυξημένων συγκλίσεων ή ακόμα και κατάρρευσης. Ακολουθεί η περιγραφή για την κάθε φάση εκσκαφής .

#### ο Α φάση διάνοιξης

Η Α φάση αποτελεί την δυσκολότερη εργασία κατά την διάνοιξη μιας σήραγγας. Συμβαίνει διότι κατά την φάση αυτή η κατασκευή διανοίγεται σε ακέραιη βραχώμαζα. Η Α φάση διάνοιξης κρύβει αρκετούς κινδύνους τόσο για το ανθρώπινο δυναμικό όσο και για την ίδια την κατασκευή. Τέτοιοι κίνδυνοι είναι η υπερεκσκαφή ή κατάρρευση του μετώπου και τα υπόγεια νερά. Για βραχώμαζες όπως αυτές που αποτελούν την περιοχή του Πλατάνου δηλαδή σκληρά εδάφη έως μαλακοί βράχοι, διάφορα ασύνδετα υλικά ( όπως για παράδειγμα τα κροκαλοπαγή) ενώ αναμένονται φακοί άμμου και εισροές υπόγειων νερών απαιτούνται μια σειρά από εργασίες ώστε να ελαχιστοποιηθούν ή κίνδυνοι της διάνοιξης. :

- I. Σε χιλιομετρικές θέσεις κακής ποιότητας βραχώμαζας, γίνεται χρήση ομπρέλας δοκών προπορείας (forepolling) ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος της υπερεκσκαφής.
- II. Πραγματοποιείται η διάνοιξη με συμβατικά μηχανήματα.
- III. Με το τέλος της εκσκαφής, ξεσηκώνονται οι επικρεμάμενοι βράχοι και χαλαρά υλικά από το μέτωπο και την οροφή και γίνεται χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος (shotcrete)
- IV. Χρησιμοποιούνται αγκύρια μήκους 12μ στα πλαϊνά τοιχώματα της σήραγγας ενώ παράλληλα τοποθετούνται αγκύρια τύπου Fiberglass στο μέτωπο ώστε να αποφευχθούν οι κίνδυνοι κατάρρευσης τόσο της οροφής όσο και του μετώπου.
- V. Τοποθετούνται πλαίσια ( Lattice Girders και HEB)
- VI. Κατασκευάζονται σε σημεία προσωρινό ανεστραμμένο τόξο ( προσωρινό Invert)



Εικόνα 21:εκσάφη Α΄φάση.



Εικόνα 22:εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και fiberglass.

- Β και Γ φάση διάνοιξης:

Κατά την εκσκαφή της Β φάσης χρησιμοποιούνται συμβατικά εκσκαπτικά μηχανήματα ώστε να δοθεί στη σήραγγα ή τελική της διατομής. Επίσης γίνεται χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος και αγκύρων. Προεκτείνονται τα πλαίσια που είχαν ήδη εγκατασταθεί από την Α φάση και τέλος γίνεται χρήση γεωμεμβράνης και γεωυφάσματος ώστε να στεγανοποιηθεί το υπόγειο τεχνικό έργο.

Παράλληλα με τις εργασίες αυτές λαμβάνει χώρα και η κατασκευή της Γ φάσης. Η Γ φάση πρόκειται ουσιαστικά για ένα μικρό ανεστραμμένο τόξο. Το ανεστραμμένο τοξωτό σχήμα αυτό δίνεται στη βάση ώστε να επιτευχθεί αποτονωση των πιέσεων. Εφόσον έχουν ολοκληρωθεί όλες οι φάσεις διάνοιξης και έχουν τοποθετηθεί τα μέσα της προσωρινής υποστήριξης, αλλά και οι γεωμεμβράνες και τα γεωυφάσματα, το υπόγειο τεχνικό έργο είναι πλέον σε θέση να δεχθεί την τελική επένδυση. Η τελική επένδυση κατασκευάζεται όταν έχει ολοκληρωθεί η διάνοιξη της σήραγγας και έχουν μελετηθεί οι συγκλίσεις που παίρνει η βραχομάζα μετά την τοποθέτηση της αντιστήριξης .





Εικόνα 24: Τοποθέτηση spilling



Εικόνα 25: εκσκαφή.

## 4.2 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Κατά τη διάρκεια της εκσκαφής της σήραγγας, υπήρχαν αρκετά ελαττώματα σύμφωνα με τα αποτελέσματα της γεωλογικής μελέτης και των εκτεταμένων γεωλογικών ερευνών. Το κεντρικό τμήμα της σήραγγας διαπερνά το σημείο που εντοπίζεται επιφανειακή ασταθεία ή οποια όμως περιορίζεται στο ανώτερο τμήμα των μαργαϊκών σχηματισμών χωρίς να εκτείνεται σε αυτό το βάθος. Κατά την εκσκαφή συναντώνται ρήγματα τα οποία θεωρούνται ενεργά καθώς διαπερνούν σχηματισμούς νέας ηλικίας. Η σοβαρότερη είναι η βλάβη στα πρώτα 300 μέτρα της υπόγειας εκσκαφής και που συνοδεύει την κυρία ενεργή ζώνη ρηγμάτων της περιοχής. Ωστόσο λαμβάνονται υπόψη σημαντικούς σεισμούς που έχουν λάβει χώρα στην ευρύτερη περιοχή και τον συσχετισμό τους με τις δευτερεύουσες τεκτονικές δομές που συνοδεύουν την προαναφερθείσα κυρία ζώνη ρηγμάτων συμπεραίνεται πως σε αντίστοιχες περιπτώσεις θα υπάρξουν ασήμαντες μετατοπίσεις εύρους λίγων χιλιοστών.

Όσον αφορά την εμφάνιση των υπόγειων υδάτων κατά τη διάρκεια της εκσκαφής, δεν εντοπίζεται φρεατικός υδροφόρος ορίζοντας, αλλά μόνο επικρεμάμενοι υδροφόροι που συνδέονται με την ύπαρξη κροκαλοπαγών στρωμάτων μέσα στις μάργες. Εν πάση περιπτώσει, δεν υπάρχουν σημαντικές εισροές υδάτων στην υπόγεια διάνοξη δεδομένου ότι οι πιθανοί υδροφόροι έχουν περιορισμένη έκταση και χωρητικότητα, οδηγώντας ως επί το πλείστον στην υγρασία ή την τοπική ροή. Πιθανοί εγκλωβισμένοι υδροφόροι συναντώνται σε περιορισμένη έκταση σχεδιασμένοι με την εμφάνιση χαλαρών ή πυκνών άμμων. Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις και δεδομένου ότι η κυκλοφορία των υπόγειων υδάτων επηρεάζει τη δύναμη των περιβαλλόντων γεωυλικών και οδηγεί σε φαινόμενα αποσάθρωσης και καιρικών συνθηκών, όλες οι διατάξεις έγιναν κατά τη διάρκεια της κατασκευής για να βοηθηθεί η σωστή αποστράγγιση του νερού. Επιπλέον, η επιφάνεια εκσκαφής και τα πλευρικά τοιχώματα της σήραγγας προστατεύονται σε όλες τις περιπτώσεις με τη χρήση σκυροδέματος κατάλληλου πάχους.

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε κατά την εκσκαφή της βόρειας οπής, στα τελευταία 200m έως 250m. Από την υπόγεια εκσκαφή, προς τις δυτικές πύλες. Σε αυτή την περιοχή, τα υλικά υπερκείμενης επιφάνειας είναι οι χαλαρές άμμοι και τα χαλίκια με πυκνό περιεχόμενο της Γεωτεχνικής ενότητας GU-4 όπου εμφανίζεται στην περιοχή των δυτικών πυλών και είναι επιρρεπής σε αστάθεια της επιφάνειας με τη βοήθεια των υπόγειων υδάτων. Σε αυτό το τμήμα της σήραγγας, η σωστή αποστράγγιση των υπόγειων υδάτων που βρίσκονται σε αυτούς τους διαπερατούς σχηματισμούς θα υποβοηθείται από το υπόγειο άνοιγμα εκσκαφής, το οποίο θα λειτουργεί ως πρόσθετο μέτρο αποστράγγισης. Σε αυτό το τμήμα της σήραγγας προβλέπεται κατάλληλη κατηγορία στήριξης με τα κατάλληλα μέτρα στήριξης και μεγάλες οπές αποστράγγισης κατάλληλης διαμέτρου στην επιφάνεια εκσκαφής και τις υπόγειες πλευρές, ώστε να βοηθηθεί η σωστή αποστράγγιση των υπόγειων υδάτων και έτσι να αποφεύγεται η χαλάρωση των περιβαλλόντων γεωυλικών και η ενεργοποίηση τυχόν αστάθειας στην επιφάνεια.

Στα τμήματα των προβληματικών διάσπαρτων σχηματισμών τα πλαίσια τοποθετούνται κοντύτερα το ένα στο άλλο τα αγκύρια είναι περισσότερα και το

εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είναι καλύτερο. Αναφέρεται στο σημείο αυτό πως πριν την έναρξη της εκσκαφής κατασκευάστηκε για προστατευτικούς λόγους ένα χαλύβδινο προπλαίσιο τύπου HEB με μήκος 6,5 μ σε κάθε κλάδο. Η προσωρινή υποστήριξη αποτελείται από χαλυβδINA πλαίσια ( HEB και Lattice Girder) αγκύρια πλήρους πάκτωσης και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Σε ορισμένες περιπτώσεις και ιδιαίτερα στα πρώτα μέτρα διάνοιξης από τα στόμια εισόδου και εξόδου των σήραγγων γίνεται προ- υποστήριξη του μετώπου εκσκαφής με αγκύρια τύπου fiberglass και δοκούς προπορείας.

#### 4.3 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Οι εργασίες κατασκευής της σήραγγας του Πλατάνου ξεκίνησαν το 2009. Στα τέλη Ιουνίου 2011 η κατασκευή διεκόπη για περίπου 2,5 χρόνια.

Το Φεβρουάριο του 2014 έγινε επανέναρξη των εργασιών της σήραγγας από το Δυτικό μέτωπο όμως η κατασκευή διεκόπη ξανά.

Και το Νοέμβριο του 2014 έγινε επανέναρξη της διάνοιξης από το Ανατολικό μέτωπο έως τον Μαιο του 2015 όπου και διακόπηκαν ξανά βάσει της αποφάσεις προσωρινής παύσης των εργασιών του Ειρηνοδικείου Ακράτας.

Τον Ιανουάριο του 2016 έγινε εκ νέου επανεκκίνηση των εργασιών εκσκαφής και στα δύο μέτωπα του Νότιου Κλάδου (Δυτικό ,Ανατολικό). Σημειώνεται ότι το φθινόπωρο του 2015 παρατηρήθηκαν φαινόμενα υπερφόρτισης της άμεσης υποστήριξης στην περιοχή του ανατολικού μετώπου του Νότιου Κλάδου ( Χ.Θ. 68+403,50 – Χ.Θ. 68+462,00) που έτυχαν ειδικής μελέτης αποκατάστασης.

#### **Ανατολικό μέτωπο (Χ.Θ. 68+ 462)**

Με την παύση των εργασιών του 2011 στο ανατολικό μέτωπο του Νότιου Κλάδου ή εκσκαφή της Α' φάσης είχε φτάσει έως τη Χ.Θ. 68+374. Από την επανέναρξη του 2014 έως την προσωρινή παύση του Μαΐου 2015 η Α' φάση έφτασε τη Χ.Θ. 68+462.Οι εργασίες προς το σκοπό της ολοκλήρωσης της Β' & Γ' φάσης στο διανοιχθέν ως άνω τμήμα, ξεκίνησε το Μάιο του 2015 με κατεύθυνση προς το Δυτικό μέτωπο της σήραγγας και διακόπηκαν στα μέσα του Μαΐου του 2015 στη Χ.Θ. 68+350 περίπου.

Το Δεκέμβριο του 2015 έγινε εκ νέου επανέναρξη των υπόγειων εργασιών προς ενίσχυση στο τμήμα Χ.Θ. 68+403,50 – Χ.Θ. 68+462,00 του Νότιου Κλάδου της άμεσης υποστήριξης της Α' φάσης λόγω εμφάνισης υψηλών μετακινήσεων-συγκλίσεων και εκδήλωση τοπικής αστοχίας του κελύφους εκτοξευόμενου σκυροδέματος μεταξύ των Χ.Θ. 68+414 και Χ.Θ. 68+462 (~50μ ) . Βάσει των διαθέσιμων στοιχείων γεωλογικής χαρτογραφίας των μετώπων, ή διάνοιξη του τμήματος από τη Χ.Θ. 68+403,50 έως τη Χ.Θ. 68+462 πραγματοποιήθηκε κυρίως εντός σιφρής μάργας με ενστρώσεις χαλικοπαγών ημισυνεκτικής έως χαλαρής δομής, που εμπίπτει εν γένει στη γεωτεχνική ενότητα GU-2 και τοπικά σε μικτή κατηγορία GU-2 & GU-3.Η γεωλογική συμπεριφορά του σχηματισμού εντάσσεται στην κατηγορία του μαλακού εδαφοποιημένου γεωυλικού. Η αμμώδης μάργα



χαρακτηρίζεται εν γένει σφιγρή έως νωπή, ενώ τοπικά παρατηρήθηκε στάγδην ροή νερού από τις οπές των δοκών προπορείας στην οροφή της σήραγγας, καθώς και από τις αποστραγγιστικές οπές. Σύμφωνα με τα κριτήρια εφαρμογής της εγκεκριμένης μελέτης, στην περιοχή εφαρμόστηκε η κατηγορία υποστήριξης S1.

Στο τμήμα από τη Χ.Θ. 68+ 403.50 έως τη Χ.Θ. 68+462,00 η άμεση υποστήριξη λόγω της πολύμηνης διακοπής των υπόγειων εργασιών υπέστη υπερφόρτιση και τα επιβαλλόμενα φορτία υπερέβησαν τοπικά την αντοχή των στοιχείων υποστήριξης σε βαθμό ώστε να προκαλέσουν την τοπική διάρρηξη του εκτοξευόμενου σκυροδέματος όπως περιγράφεται ακολούθως:

- Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα της άμεσης υποστήριξης ρηγματώθηκε μεταξύ θόλου και βόρειας πορείας της διατομής και αποκολλήθηκε σε μήκος 20m περίπου από την Χ.Θ. 68+430 έως τη Χ.Θ.68+450.
- Τα μεταλλικά πλαίσια σε θέσεις από τη Χ.Θ. 68+436 έως τη Χ.Θ. 68 + 439 υπέστησαν παραμόρφωση ή/και στρέβλωση.
- Επί του προσωρινού αναστροφου τόξου της Α' φάσης παρατηρήθηκαν εκτεταμένες επιφανειακές ρωγμές και σπασίματα στο δάπεδο της άνω ημιδιατομής με σαφή ανύψωση του πυθμένα ( περί τα 20cm. ) κυρίως στην περιοχή από τη Χ.Θ. 68+430 έως τη Χ.Θ.68+450.
- Στο μέτωπο του Νότιου Κλάδου περί τη Χ.Θ. 68+462 και πιο συγκεκριμένα στο νότιο τμήμα του μετώπου αναπτύχθηκε κατακόρυφη ρωγμή επί του κελύφους του σπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Βάσει των ανώτερων απαιτήθηκε η ενίσχυση της άμεσης υποστήριξης της άνω ημιδιατομής και η λήψη μέτρων αποκατάστασης της περιοχής ούτως ώστε να ήταν δυνατή η συνέχιση των εργασιών με ασφάλεια. Για το σκοπό αυτό εκπονήθηκε ειδική μελέτη αποκατάστασης του βλαφθέντος τμήματος από Χ.Θ.68+ 403,50 – Χ.Θ. 68+ 462,00 [και εφαρμόστηκαν τα παρακάτω μέτρα:

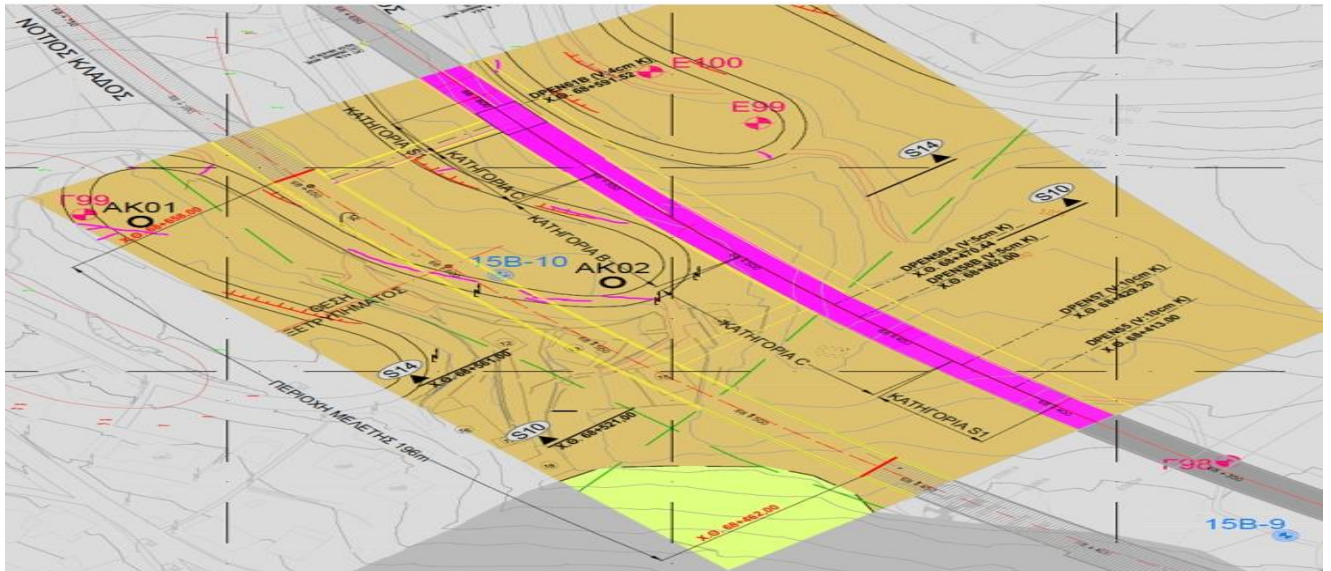
- Μηχανική απόσπαση του κελύφους άμεσης υποστήριξης στην περιοχή Χ.Θ.68+420 -Χ.Θ. 68+450 του θόλου και της βόρειας πορείας της σήραγγας όπου είχε ρηγματωθεί και αποκολληθεί το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.
- Επιπρόσθετη εφαρμογή κελύφους ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 20-40 cm (ελάχιστο – μέγιστο ) στο άνω τόξο της ημιδιατομής και πάχους 25cm στο προσωρινό αναστροφή τόξο.
- Τοποθέτηση πρόσθετων αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης φ32mm ,B500c , 350kN ,μήκους 9m σε κάναβο 1,5m × 1,0m
- Αντικατάσταση βλαφθέντων μεταλλικών πλαισίων και τοποθέτηση καινούργιων HEB 140.
- Πρόσθετες αποστραγγιστικές οπές.
- Πύκνωση των υφιστάμενων σταθμών γεωδαιτικής παρακολούθησης του κελύφους της άμεσης υποστήριξης.

Κατά τη σύνταξη της παρούσας έκθεσης, οι υφιστάμενες θέσεις και φάσεις εκσκαφής του υπογείου τμήματος του Νότιου Κλάδου της σήραγγας Πλατάνου είναι οι ακόλουθες:

- **Ανατολικό τμήμα έως Χ.Θ.68+462** . Έχει ολοκληρωθεί η εκσκαφή και άμεση υποστήριξη της Α' φάσης έως και τη Χ.Θ. 68+ 462 και των Β' & Γ'

φάσεων έως τη Χ.θ.68+ 452 . Σκυροδετείται ή τελική επένδυση έως περίπου τη Χ.θ.68+423.

- **Δυτικό τμήμα έως Χ.Θ. 68+658** . Έχει ολοκληρωθεί η εκσκαφή και άμεση υποστήριξη της Α' φάσης έως Χ.θ.68+ 658. Πραγματοποιούνται οι εκσκαφές των Β' και Γ' φάσεων έως περίπου τη Χ.θ. 68+ 690 .



Εικόνα 26: Απόσπασμα οριζοντιογραφίας σήραγγας Πλατάνου στην περιοχή ενδιαφέροντος.

- **ΤΜΗΜΑ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΒΟΡΕΙΟΥ ΚΛΑΔΟΥ**

Η διάνοιξη του βόρειου κλάδου της σήραγγας ξεκίνησε το 2009 και μέχρι το 2014 όπου ξάνα σταμάτησε η κατασκευή είχε ολοκληρώθη.

Ωστόσο στον βόρειο κλάδο της σήραγγας δεν παρατηρούμε σημαντικές αστοχίες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> - ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΜΕΣΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ & ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

### 5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σύμφωνα με τις καθορισμένες γεωτεχνικές ενότητες, τη γεωμηχανική συμπεριφορά της άμεσης υποστήριξης που καταγράφηκε στα τμήματα του Βόρειου και Νοτίου κλάδου της σήραγγας και τις συγκλίσεις που μετρήθηκαν, σχεδιάστηκαν δύο κατηγορίες εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης. Επισημαίνεται ότι οι δύο αυτές κατηγορίες σχεδιάστηκαν λόγω της ύπαρξης περιοχών στα ανατολικά μέτωπα αμφοτέρων των κλάδων της σήραγγας με τοπικά φαινόμενα υπερφόρτισης της σήραγγας κυρίως των παύσεων εργασιών και της διακοπτόμενης αλληλουχίας κατασκευής. Οι κατηγορίες είναι οι εξής:

- Κατηγορία R1 με πεδίο εφαρμογής τη γεωτεχνική ενότητα GU-2 με δυνητικές εμφανίσεις GU-3 και τις μικτές γεωτεχνικές συνθήκες GU-2 & GU-1 με επικράτηση της GU-2.
- Κατηγορία R2 με πεδίο εφαρμογής την γεωτεχνική ενότητα GU-3 και τις μικτές γεωλογικές συνθήκες GU-2 & GU-3 με επικράτηση της GU-3.

Βάσει των στοιχείων διάνοιξης του Βόρειου κλάδου, της περιοχής ενδιαφέροντος του Νοτίου Κλάδου η κυρία γεωτεχνική ενότητα που συναντήθηκε είναι η GU-2, όμως εμφανίζονται συνήθως υπό την μορφή μικρών συνθηκών μετώπου και οι ενότητες GU-2 & GU-1 ή GU-2 & GU-3. Λαμβάνοντας υπόψιν τα ανώτερο, θεωρήθηκε αναγκαία η εφαρμογή δοκών προπορείας στην στέψη της σήραγγας και η περιμετρική ήλωση της Α' και Β' φάσης και στις δύο προτεινόμενες κατηγορίες άμεσης υποστήριξης. Σε γεωτεχνικά δυσμενείς περιπτώσεις δύνανται να χρησιμοποιηθούν και οι μικροπάσσαλοι στην περιοχή διευρυμένης έδρασης της Α' φάσης της σήραγγας. Κύριοι παράμετροι που υποδεικνύουν κατά την κατασκευή την επιλογή της κατηγορίας υποστήριξης θεωρούνται οι ακόλουθοι:

- Η γεωλογική χαρτογράφηση του μετώπου και ο καθορισμός γεωτεχνικής ενότητας
- Οι υδρογεωλογικές συνθήκες.
- Οι μικρομετακινήσεις του κελύφους άμεσης υποστήριξης.
- Η κρίση του κατασκευαστή.

## 5.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΕΤΡΩΝ ΑΜΕΣΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

### 5.2.1 ΕΚΣΚΑΦΗ – ΑΜΕΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

#### ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

- Γεωτεχνική ενότητα Gu-2 με δυνητικές τοπικές εμφανίσεις GU-3 και μικτές γεωτεχνικές συνθήκες GU-2 & GU-1 με επικράτηση GU-2 στο μέτωπο.
- Γεωτεχνική συμπεριφορά εδάφους – μαλακού βράχου.

#### ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ

- Μηχανική εκσκαφή. Η διατομή διαιρείται σε τρεις κατασκευαστικές φάσεις στην άνω ημιδιατομή με προσωρινό ανάστροφο τόξο, την βαθμίδα και τον τελικό ανάστροφο πυθμένα.

### 5.2.2 ΚΥΡΙΑ ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

- Χαλύβδινοι δοκοί προπορείας Φ114,3t=6,3mm ( St37) στην περίμετρο της άνω ημιδιατομής, βρίσκονται σε αξονική απόσταση 0,40m στις 120° του θόλου, μήκος 12m, κάθε 8m .
- Κατασκευή αποστραγγιστικών οπών με διάμετρο μετώπου Φ3" , και μήκους 12m , τοποθετούνται κάθε 8m.
- Αγκύρια fiberglass πλήρως ενεματωμένα, φέρουσας ικανότητας 250kN ,μήκους 12m ,κατωφερή κλίση 8° στο μέτωπο κάθε 8m .
- Συστηματική τοποθέτηση ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 10cm στο μέτωπο κατά την τοποθέτηση των δοκών προπορείας και 5cm στα επόμενα βήματα εκσκαφής.
- Συστηματική τοποθέτηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού ελάχιστου στατικού πάχους 30 cm ( 25 cm ινοπλισμένα), στη στέψη και στις παρειές με δύο δομικά πλέγματα T188.
- Συστηματική τοποθέτηση χαλύβδινων πλαισίων HEB140 St37 ανά βήμα εκσκαφής.
- Συστηματική τοποθέτηση ζεύγους αγκυρίων πλήρως ενσωματωμένων για την συγκράτηση των χαλύβδινων πλαισίων, μήκους 9m,Φ32,B500c φέρουσας ικανότητας 350kN .
- Συστηματική τοποθέτηση αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης Φ32,B500c , φέρουσας ικανότητας 350kN , μήκους 9m, σε πεσσοειδή διάταξη 1,50m ( περίμετρος) × Βήμα εκσκαφής
- Τοποθέτηση αποστραγγιστικών οπών στην περίμετρο της εκσκαφής, διαμέτρου Φ3" ,μήκους 6,00m ,κάθε 2 ~ 3 m.
- Τοποθέτηση αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης Φ32,B500c ,φέρουσας ή ικανότητας 350kN,μήκους 9m,σε πεσσοειδή διάταξη 1,5m ( περίμετρος) × βήμα εκσκαφής στην κλείδα της σήραγγας όταν:
  - Οι γεωτεχνικές συνθήκες είναι δυσμενέστερες από GU-2 .
  - Η γεωτεχνική ενότητα είναι GU-2 και έχουν ξεπεραστεί τα όρια προειδοποίησης.

### 5.2.3 ΕΚΣΚΑΦΗΣ – ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ –R1

- 1,00m στην άνω ημιδιατομή ( Α' φάση) και 2,00m στην Β' και Τ' φάση.

<b>ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ – R1</b>		
<b>Α</b>	<b>ΑΝΩ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗ</b>	<b>ΒΗΜΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ</b>
	<u>1,00 μ.</u>	
1.	Τοποθέτηση δοκών προπορείας. Τοποθέτηση επόμενων δοκών κάθε 8 βήματα προχώρησης.	X
2.	Τοποθέτηση αποστραγγιστικών οπών μετώπου.	X
3.	Τοποθέτηση αγκυρίων fiberglass στο μέτωπο. Επανάληψη της εργασίας κάθε 8 βήματα προχώρησης, σε διαφορετικούς χρόνους από τις δοκούς προπορείας.	X-3
4.	Εκσκαφή άνω ημιδιατομής. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί κατά την εκσκαφή της περιοχής θεμελίωσης των πλαισίων ώστε να αποφευχθούν υπερεκσκαφές.	X
5.	Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων (ξεσκάρωμα).	X
6.	Εφαρμογή στρώσης προστασίας μετώπου εκσκαφής από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ελάχιστου στατικού πάχους 10cm στις θέσεις κατασκευής των δοκών προπορείας και 5cm κατά τα ενδιάμεσα βήματα προχώρησης.	X
7.	Προσεκτική προετοιμασία της περιοχής της εκσκαφής κάτω από τα elephant foot. Στην περιοχή θα τοποθετούνται προκατασκευασμένες πλάκες σκυροδέματος ώστε να αποφεύγονται καθιζήσεις λόγω ιδίου βάρους του φορέα (πλαίσιο και σκυρόδεμα).	X
8.	Εφαρμογή πρώτης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος, στατικού πάχους 5cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.	X
9.	Τοποθέτηση δομικού πλέγματος T188.	X
10.	Εγκατάσταση του μεταλλικού πλαισίου, διαδοκίδων σύνδεσης των μεταλλικών πλαισίων, πρόσθετων διαμηκών ράβδων οπλισμού και δομικού πλέγματος T188.	X
11.	Εφαρμογή δεύτερης και τρίτης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος (σε δυο υποστρώσεις), συνολικού στατικού πάχους 20cm στην περίμετρο της εκσκαφής.	X
12.	Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων.	X-1
13.	Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων συγκράτησης πλαισίων.	X-1
14.	Κατασκευή αποστραγγιστικών οπών στην περίμετρο της εκσκαφής μήκους 6m καθώς και ανακουφιστικών οπών στο σκυρόδεμα σε περιοχές όπου παρουσιάζεται αυξημένη υδροφορία.	X-1
15.	Τοποθέτηση δομικού πλέγματος T188.	X-2
16.	Εφαρμογή τέταρτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος, στατικού πάχους 5 cm στο θόλο και στις παρειές της εκσκαφής, χωρίς ίνες.	X-2
17.	Το προσωρινό ανάστροφο τόξο εκσκάπτεται κάθε δυο βήματα εκσκαφής της άνω ημιδιατομής. Οποιαδήποτε υπερεκσκαφή στο προσωρινό ανάστροφο τόξο και ειδικά στην περιοχή των elephant foot πρέπει να αποφεύγεται. Εάν απαιτείται, πρέπει να διενεργείται επανεπίχωση τυχόν υπερεκσκαφής με πλήρωση με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Έλεγχος της γεωμετρίας του ανάστροφου τόξου. Τοποθέτηση δυο δομικών πλεγμάτων T188. Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 25cm.	X-3 έως X-4

18.	Διαμόρφωση προσωρινού δαπέδου εργασίας στην άνω ημιδιατομή με πλήρωση του ανάστροφου τόξου στην περιοχή που αντιστοιχεί στα βήματα προχώρησης.	X-3 έως X-4
19.	Τελική στρώση εξομάλυνσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος.	(*)
20.	Η τοποθέτηση αγκυρίων στην κλείδα της σήραγγας πραγματοποιείται όταν:	X-1
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Οι γεωτεχνικές συνθήκες είναι δυσμενέστερες από GU-2.</li> <li>• Η γεωτεχνική ενότητα είναι GU-2 και έχουν ξεπεραστεί τα όρια προειδοποίησης.</li> </ul>	

<b>B</b>	<b><u>ΚΑΤΩ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗ &amp; ΤΕΛΙΚΟ ΑΝΑΣΤΡΟΦΟ ΤΟΞΟ</u> ΒΗΜΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ 2,00 m.</b>	
1.	Πλήρης εκσκαφή της κάτω ημιδιατομής, με βήμα διπλάσιο από εκείνο της άνω ημιδιατομής. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο μέγεθος και σχήμα της εκσκαφής, ώστε αυτό να είναι σύμφωνο με εκείνο του αντίστοιχου σχεδίου.	Y
2.	Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων (ξεσκάρωμα).	Y
3.	Εφαρμογή πρώτης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος, στατικού πάχους 5cm στις παρειές και στο μέτωπο.	Y
4.	Προετοιμασία της περιοχής έδρασης των πλαισίων. Εγκατάσταση του μεταλλικού πλαισίου.	Y
5.	Εφαρμογή δεύτερης & τρίτης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος (σε δυο υποστρώσεις), συνολικού στατικού πάχους 20cm.	Y
6.	Διάρθρωση και τοποθέτηση των αγκυρίων και των αγκυρίων συγκράτησης πλαισίων, όχι στο τελευταίο βήμα εκσκαφής, αλλά στο προηγούμενο, όπου το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα έχει σκληρυνθεί.	Y-1
7.	Τοποθέτηση δομικού πλέγματος T188.	Y-1
8.	Εφαρμογή τέταρτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος, στατικού πάχους 5cm, χωρίς ίνες.	Y-1
9.	Εκσκαφή τελικού ανάστροφου τόξου με 30 cm εκτοξευόμενου σκυροδέματος και δυο δομικά πλέγματα T188. Επανεπίχωση του ανάστροφου τόξου με υλικό εκσκαφής, πάχους κατ'ελάχιστο 1 m στο χαμηλότερο σημείο του τελικού ανάστροφου τόξου. Προσοχή πρέπει να δοθεί ώστε κανένας μηχανικός εξοπλισμός να μην πατήσει επάνω στο νωπό κέλυφος του τελικού ανάστροφου τόξου.	Y-2 έως Y-3
10.	Τελική στρώση εξομάλυνσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος.	(*)
(*)	Η τελική στρώση εξομάλυνσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος θα τοποθετείται ανεξαρτήτως βήματος προχώρησης εάν απαιτείται	

## 5.2.4 ΕΚΣΚΑΦΗ – ΑΜΕΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ R2

ΕΚΣΚΑΦΗ – ΑΜΕΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ R2	
ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Γεωτεχνική ενότητα GU-3 και μικτές γεωτεχνικές συνθήκες GU-2 &amp; GU-3 με επικράτηση της GU-3 στο μέτωπο. Γεωτεχνική συμπεριφορά εδάφους. Η παρουσία χαλαρών – ημισυνεκτικών υλικών στο μέτωπο είναι εμφανής έως επικρατούσα.</li> <li>▪ Περιοχές όπου παρατηρούνται δυσμενείς γεωτεχνικές συνθήκες στις θέσεις θεμελίωσης της άνω ημιδιατομής.</li> <li>▪ Περιοχές ρηγμάτων ή έντονα χαλαρών ζωνών.</li> <li>▪ Περιοχές όπου παρατηρείται έντονη εισροή υδάτων.</li> <li>▪ Περιοχές όπου το υποκείμενο της σήραγγας είναι μαλακός σχηματισμός GU-3 που δύναται να προκαλέσει καθιζήσεις της σήραγγας.</li> </ul>
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Μηχανική εκσκαφή. Η διατομή διαιρείται σε τρεις κατασκευαστικές φάσεις, στην άνω ημιδιατομή με ένα προσωρινό ανάστροφο τόξο, την βαθμίδα και τον τελικό ανάστροφο πυθμένα.</li> </ul>
ΚΥΡΙΑ ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Συστηματική εφαρμογή χαλύβδινων δοκών προπορείας <math>\Phi 159/t=6,3\text{mm}</math> (St37) στην περίμετρο της άνω ημιδιατομής, σε αξονική απόσταση 0,35 m στις 120° του θόλου, μήκους 12m, κάθε 8m.</li> <li>• Τοποθέτηση αποστραγγιστικών οπών στην περίμετρο της εκσκαφής, διαμέτρου <math>\varnothing 3"</math>, μήκους 6,00m, κάθε 2~3m.</li> <li>• Αγκύρια fiberglass πλήρως ενεματωμένα, φέρουσας ικανότητας 250kN, μήκους 12m, τοποθετούμενα με κατωφερή κλίση 8° στο μέτωπο κάθε 8m.</li> <li>• Συστηματική τοποθέτηση ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10cm στο μέτωπο κατά την τοποθέτηση των δοκών προπορείας και 5cm στα επόμενα βήματα εκσκαφής.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Συστηματική τοποθέτηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ελάχιστου πάχους 35cm (30cm ινοπλισμένα), στην στέψη και στις παρειές με διπλό δομικό πλέγμα T188.</li> <li>• Συστηματική τοποθέτηση χαλύβδινων πλαισίων HEB160 St37 ανά βήμα εκσκαφής.</li> <li>• Συστηματική τοποθέτηση ζεύγους αγκυρίων πλήρως ενεματωμένων για την συγκράτηση των χαλύβδινων πλαισίων, μήκους 9m, Φ32 B500c, φέρουσας ικανότητας 350kN.</li> <li>• Συστηματική τοποθέτηση αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης, Φ32, B500c, φέρουσας ικανότητας 350kN, μήκους 9m, σε πεσσοειδή διάταξη 1,50 m (περίμετρος) x βήμα εκσκαφής.</li> <li>• Τοποθέτηση ζεύγους μικροπασσάλων Φ114/t=6,3mm (St37) με κεφαλόδεσμο στην περιοχή διευρυμένης έδρασης, μήκους 6m ανά βήμα εκσκαφής, εφόσον απαιτούνται.</li> <li>• Τοποθέτηση αποστραγγιστικών οπών μετώπου διαμέτρου Φ3", μήκους 12m, τοποθετούμενες κάθε 8m.</li> </ul>
ΒΗΜΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	1,00 m στην άνω ημιδιατομή (Α' φάση) και 2,00 m στην Β' & Γ' φάση.
ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΙΚΡΟΠΑΣΣΑΛΩΝ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Υπέρβαση ορίων προειδοποίησης.</li> <li>• Επικράτηση GU-3 στο σύνολο της διατομής του μετώπου.</li> <li>• Επικράτηση GU-3 στη θέση θεμελίωσης της σήραγγας.</li> </ul>



**ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ – R2**

<u>A</u>	<u>ΑΝΩ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗ</u>	<u>ΒΗΜΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ</u>
	<u>1.00 μ.</u>	
1.	Τοποθέτηση δοκών προπορείας. Τοποθέτηση επόμενων δοκών κάθε 8 βήματα προχώρησης.	X
2.	Τοποθέτηση αποστραγγιστικών οπών μετώπου.	X
3.	Τοποθέτηση αγκυρίων fiberglass στο μέτωπο. Επανάληψη της εργασίας κάθε 8 βήματα προχώρησης, σε διαφορετικούς χρόνους από τις δοκούς προπορείας.	X-3
4.	Εκσκαφή άνω ημιδιατομής. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί κατά την εκσκαφή της περιοχής θεμελίωσης των πλαισίων ώστε να αποφευχθούν υπερεκσκαφές.	X
5.	Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων (ξεσκάρωμα).	X
6.	Εφαρμογή στρώσης προστασίας μετώπου εκσκαφής από ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυροδέμα ελάχιστου στατικού πάχους 10cm στις θέσεις κατασκευής των δοκών προπορείας και 5cm κατά τα ενδιάμεσα βήματα προχώρησης.	X
7.	Προσεκτική προετοιμασία της περιοχής της εκσκαφής κάτω από τα elephant foot. Στην περιοχή θα τοποθετούνται προκατασκευασμένες πλάκες σκυροδέματος ώστε να αποφεύγονται καθιζήσεις λόγω ιδίου βάρους του φορέα (πλαίσιο και σκυροδέμα).	X
8.	Εφαρμογή πρώτης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος, στατικού πάχους 5cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.	X
9.	Τοποθέτηση διπλού δομικού πλέγματος T188.	X
10.	Εγκατάσταση του μεταλλικού πλαισίου HEB 160, διαδοκίδων σύνδεσης των μεταλλικών πλαισίων, πρόσθετων διαμηκών ράβδων οπλισμού και διπλού δομικού πλέγματος T188.	X
11.	Εφαρμογή δεύτερης και τρίτης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος (σε δυο υποστρώσεις), συνολικού στατικού πάχους 25cm στην περίμετρο της εκσκαφής.	X
12.	Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων.	X-1
13.	Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων συγκράτησης πλαισίων.	X-1
14.	Κατασκευή αποστραγγιστικών οπών στην περίμετρο της εκσκαφής μήκους 6m καθώς και ανακουφιστικών οπών στο σκυροδέμα σε περιοχές όπου παρουσιάζεται αυξημένη υδροφορία.	X
15.	Τοποθέτηση διπλού δομικού πλέγματος T188.	X-2
16.	Εφαρμογή τέταρτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος, στατικού πάχους 5cm στο θόλο και στις παρειές της εκσκαφής, χωρίς ίνες.	X-2
17.	Το προσωρινό ανάστροφο τόξο εκσκάπτεται κάθε δυο βήματα εκσκαφής της άνω ημιδιατομής. Οποιαδήποτε υπερεκσκαφή στο προσωρινό ανάστροφο τόξο και ειδικά στην περιοχή των elephant foot πρέπει να αποφεύγεται. Εάν απαιτείται πρέπει να διενεργείται επανεπίχωση τυχόν υπερεκσκαφής με θραυστά σκύρα (απαραίτητη η συμπύκνωση τους), ή εκτοξευόμενο σκυροδέμα. Έλεγχος της γεωμετρίας του ανάστρουφου τόξου. Τοποθέτηση δυο πλεγμάτων T188. Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 30cm.	X-3 έως X-4
18.	Διαμόρφωση προσωρινού δαπέδου εργασίας στην άνω ημιδιατομή με πλήρωση του ανάστρουφου τόξου στην περιοχή που αντιστοιχεί στα βήματα προχώρησης.	X-3 έως X-4
19.	Διάτρηση και τοποθέτηση μικροπασσάλων, εάν απαιτείται.	X
20.	Τελική στρώση εξομάλυνσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος.	(*)

<u>B</u>	<u>ΚΑΤΩ ΗΜΙΔΙΑΤΟΜΗ &amp; ΤΕΛΙΚΟ ΑΝΑΣΤΡΟΦΟ ΤΟΞΟ</u>	<u>ΒΗΜΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ</u>
	<u>2,00 m.</u>	
1.	Πλήρης εκσκαφή της κάτω ημιδιατομής, με βήμα διπλάσιο από εκείνο της άνω ημιδιατομής. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο μέγεθος και σχήμα της εκσκαφής, ώστε αυτό να είναι σύμφωνο με εκείνο του αντίστοιχου σχεδίου.	Υ
2.	Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων (ξεσκάρωμα).	Υ
3.	Εφαρμογή πρώτης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος, στατικού πάχους 5cm.	Υ
4.	Προετοιμασία της περιοχής έδρασης των πλαισίων. Εγκατάσταση του μεταλλικού πλαισίου HEB 160.	Υ
5.	Εφαρμογή δεύτερης & τρίτης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος (σε δυο υποστρώσεις), συνολικού στατικού πάχους 25cm.	Υ
6.	Διάτρηση και τοποθέτηση των αγκυρίων και των αγκυρίων συγκράτησης πλαισίων, όχι στο τελευταίο βήμα εκσκαφής, αλλά στο προηγούμενο, όπου το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα έχει σκληρυνθεί.	Υ-1
7.	Τοποθέτηση διπλού δομικού πλέγματος T188.	Υ-1
8.	Εφαρμογή τέταρτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος, στατικού πάχους 5cm, χωρίς ίνες.	Υ-1
9.	Εκσκαφή τελικού ανάστροφου τόξου με 35cm εκτοξευόμενου σκυροδέματος και δυο δομικά πλέγματα T188. Επανεπίχωση του ανάστροφου τόξου με υλικό εκσκαφής, πάχους κατ'ελάχιστο 1m στο χαμηλότερο σημείο του τελικού ανάστροφου τόξου. Προσοχή πρέπει να δοθεί ώστε κανένας μηχανικός εξοπλισμός να μην πατήσει επάνω στο νωπό κέλυφος του τελικού ανάστροφου τόξου.	Υ-2 έως Υ-3
10.	Τελική στρώση εξομάλυνσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος.	(*)
(*)	Η τελική στρώση εξομάλυνσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος θα τοποθετείται ανεξαρτήτως βήματος προχώρησης εάν απαιτείται.	

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> – ΔΙΑΤΟΜΕΣ

## 6.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Α

### ➤ Άνω ημιδιατομή

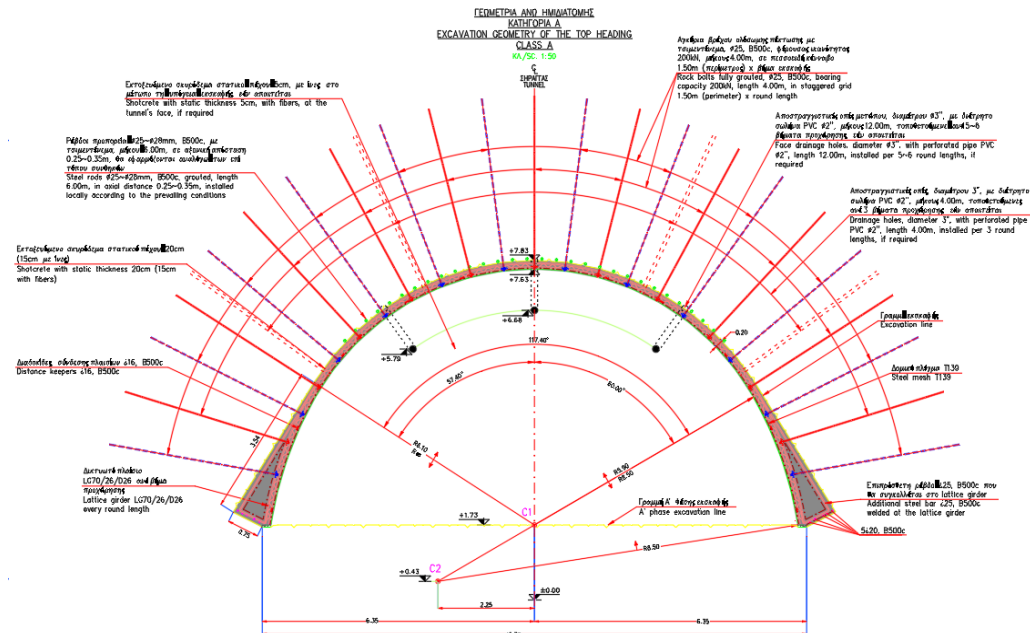
Για μέτρια ποιότητα εδάφους έχουμε βήμα προχώρησης 1.5m – 2.0m κατηγορία Α .

### Θόλος

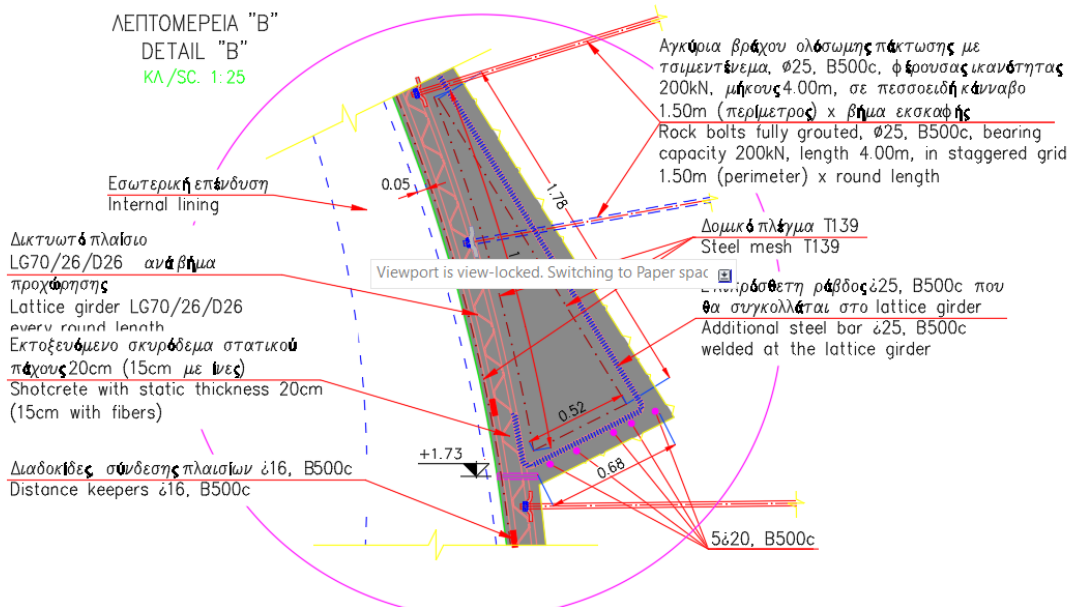
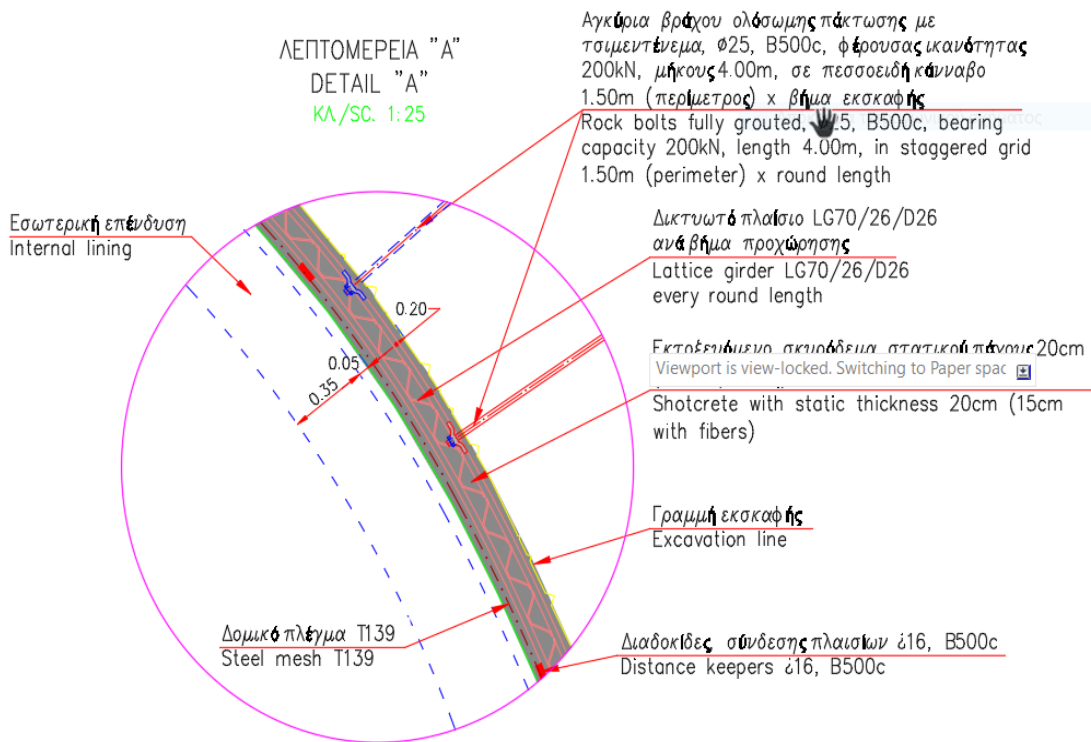
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 20cm ( 15 cm ίνες)
- Αντιρηδες φ16 B500c
- Δικτυωτό πλαίσιο LG70/26/D26 ανά βήμα προχώρησης
- Ράβδοι προπορείας φ25 ~ φ28 mm ,B500c με τσιμεντένεμα μήκους 6.0m σε αξονική απόσταση 0.25~ 0.35 θα εφαρμόζονται αναλόγως των επί τόπου συνθηκών.
- Μέτωπο
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 35 cm
- Υψος μετώπου 6.0 m

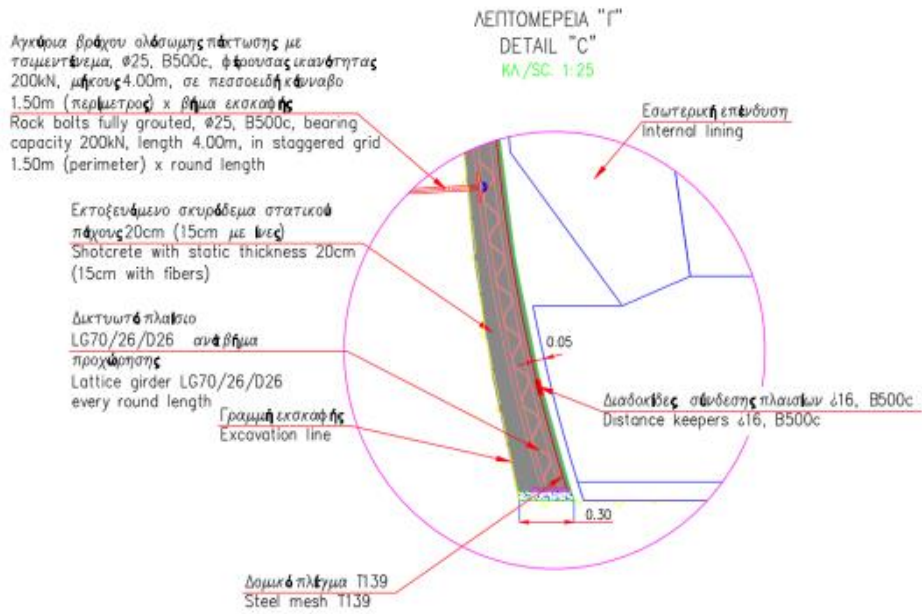
### Αγκύρια πλαίσια

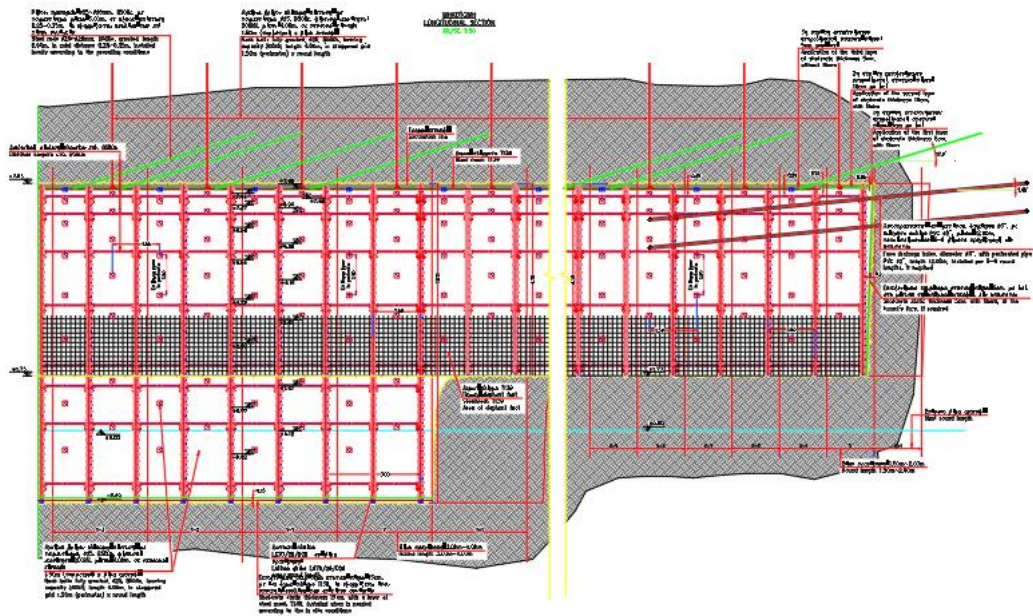
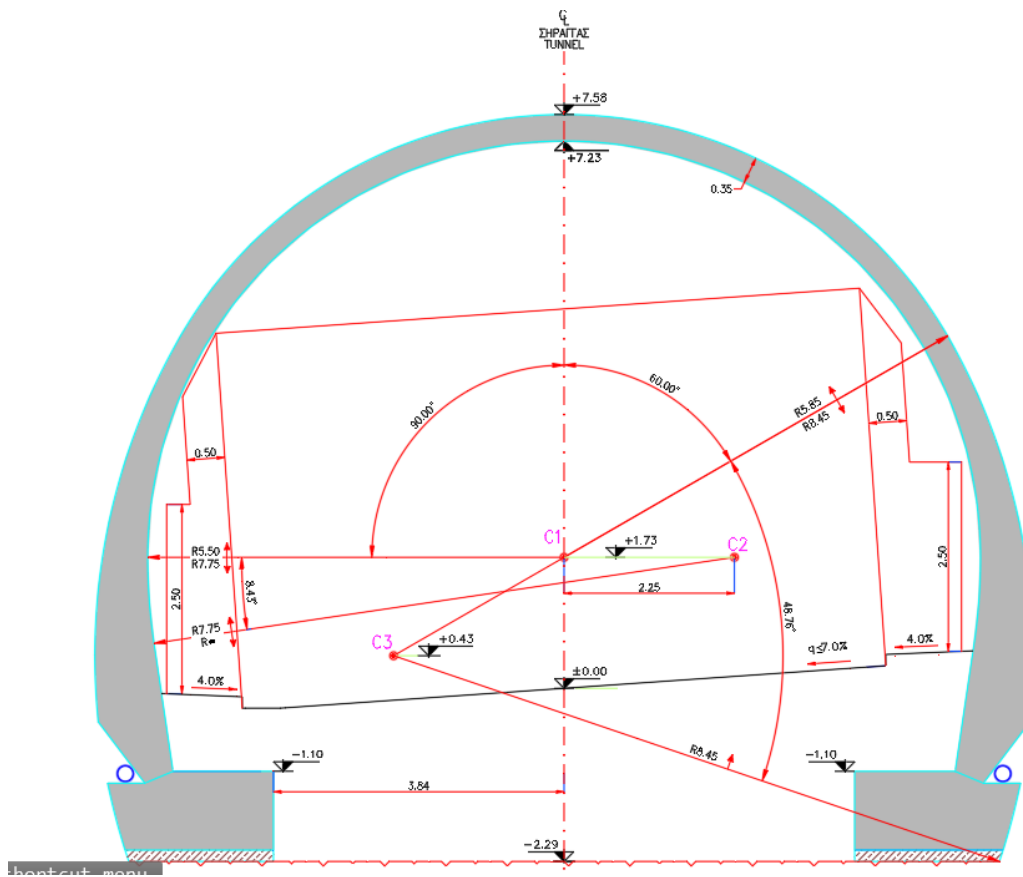
- Αγκύρια βράχου ολόσωμης πάκτωσης με τσιμεντένεμα φ25 ,B500c φέρουσας ικανότητας 200kN μήκους 4.0m σε πεσσοειδή κάναβο 1.5 m (περίμετρος) × βήμα εκσκαφής.
- Αποστραγγιστικές οπές διαμέτρου 3” ,με διάμετρο σωλήνα PVC Φ2” μήκους 4.0m τοποθετούμενες ανά 3 βήματα προχώρησης εάν απαιτείται.
- Δομικό πλέγμα T139











Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 15cm με ένα δομικό πλέγμα T139 εφαρμόζεται όπου απαιτείται, ανάλογης των επί τόπου συνθηκών .

Δικτυωτό πλαίσιο LG70/26/D26 ανά βήμα προσχώρησης.

Αγκύρια βράχου ολόσωμης πάκτωσης με τσιμεντένεμα  $\phi 25$  B500C, και φέρουσα ικανότητας 200kN μήκους 4.0μετρα σε πεσσοειδή κάναβο 1.50m (περίμετρος)  $\times$ βήμα εκσκαφής.

Διαδικασίες συνδέσεις πλαισίων  $\phi 16$  ,B500c.

Ράβδοι προπορείας  $\phi 25 \sim \Phi 28$  mm ,B500c με τσιμεντένεμα μήκους μήκους 6.0m σε αξονική απόσταση 0.25 ~ 0.35 m , θα εφαρμοστούν αναλόγως των επί τόπου συνθηκών.

Αποστραγγιστικές οπές διαμέτρου  $\Phi 3''$  με διάμετρο σωλήνα PVC  $\Phi 2''$  , μήκους 12.0m τοποθετούμενες ανά 5 ~ 6 m βήματα προσχώρησης εάν απαιτείται.

Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 5cm με ίνες στο μέτωπο της υπόγειας εκσκαφής ένα απαιτείται

1η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5cm με ίνες.

2η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 10cm με ίνες

3η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5cm χωρίς ίνες.

## 6.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ C

### ➤ Άνω ημιδιατομή

Για μέτρια ποιότητα εδάφους έχουμε βήμα προχώρησης 1.00 m κατηγορία C .

#### Θόλο

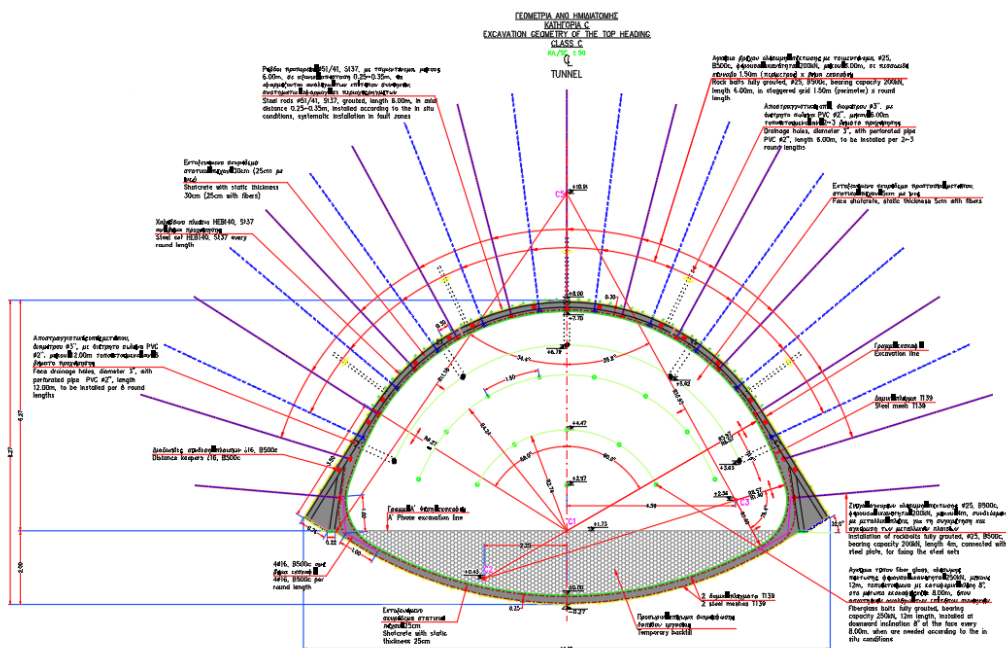
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 30cm (25 cm με ίνες)
- Χαλύβδινο πλαίσιο HEB 40, St 37 αν βήμα προσχώρησης.
- Ράβδοι προπορείας  $\phi 51/ 41$  ,St37 με τσιμεντένεμα μήκους 6.0m σε αξονική απόσταση 0.25 ~ 0.35 m θα εφαρμόζονται αναλόγως των επί τόπου συνθηκών συστηματικής εφαρμογής σε περιοχή ρηγμάτων.
- Δικλίδες προπορείας  $\phi 16$  ,B500c
- Δύο δομικά πλέγματα T139
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στο κάτω μέρος στατικού πάχους 25cm
- Οπλισμός 4 $\phi 16$ ,B500C ανά βήμα εκσκαφής

#### Μέτωπο

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα προστασίας μετώπου στατικού πάχους 5cm με ίνες.
- Ύψος μετώπου 6.27 m



- Αποστραγγιστικές οπές μετώπου διαμέτρου φ3" με διάτρητο σωλήνα PVC Φ2" μήκους 12.0m τοποθετούμενες ανά 8 βήματα προσχώρησης.
- Προσωρινό επίσηςμα διαμορφώσεις δαπέδου εργασίας.
- Αγκύρια τύπου fiber glass ολόσωμης, πάκτωσης φέρουσας ικανότητας 250kN μήκους 12.0m τοποθετούμενα με κατωφερική κλίση 8° στο μέτωπο εκσκαφής κάθε 8.0m όπου απαιτηθούν αναλόγως των επί τόπου συνθηκών.



➤ Κάτω ημιδιατομή

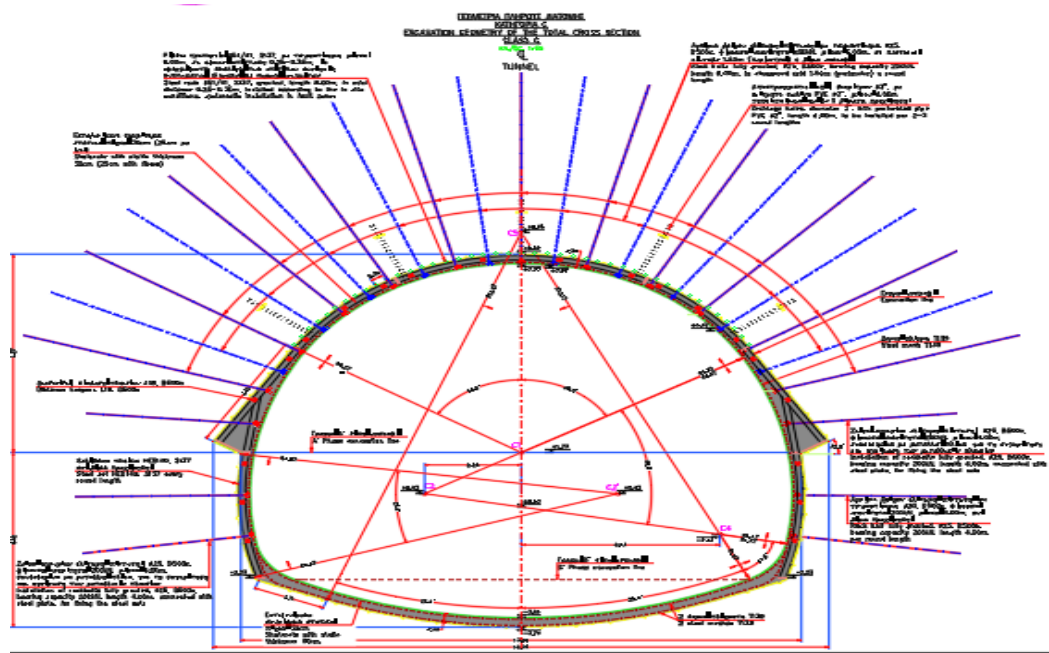
Για μέτρια ποιότητα εδάφους έχουμε βήμα προχώρησης 2.0m κατηγορία C

Θόλο

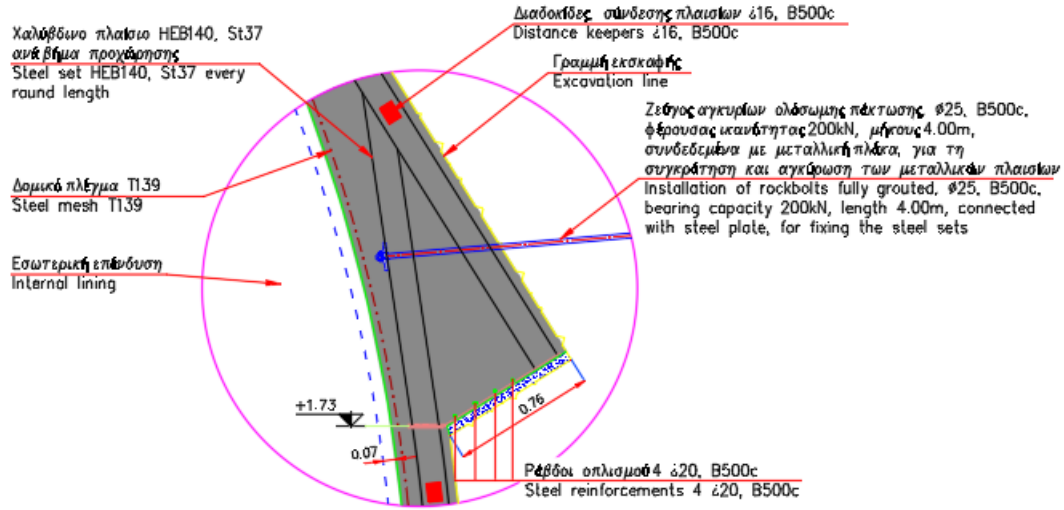
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 30cm (25 cm με ίνες)
- Χαλύβδινο πλαίσιο HEB 40, St 37 αν βήμα προχώρησης.
- Ράβδοι προπορείας φ51/ 41 ,St37 με τσιμεντένεμα μήκους 6.0m σε αξονική απόσταση 0.25 ~ 0.35 m θα εφαρμόζονται αναλόγως των επί τόπου συνθηκών συστηματικής εφαρμογής σε περιοχή ρηγμάτων.
- Δικλίδες προπορείας φ16 ,B500c
- Δύο δομικά πλέγματα T139
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στο κάτω μέρος στατικού πάχους 25cm
- Οπλισμός 4φ16,B500C ανά βήμα εκσκαφής

## Μέτωπο

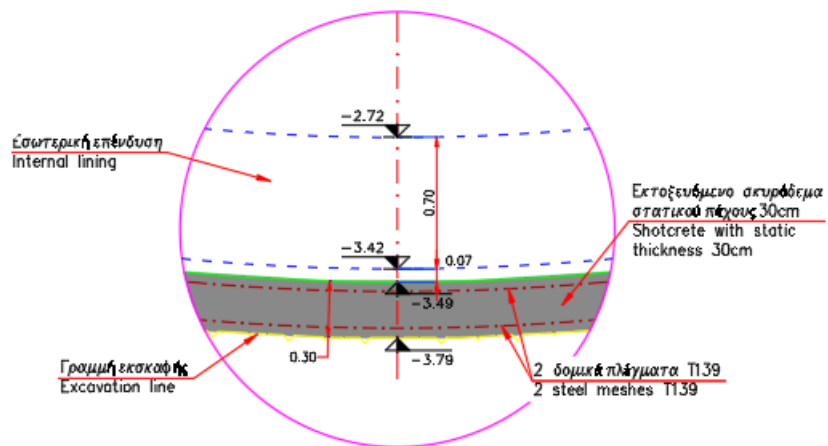
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα προστασίας μετώπου στατικού πάχους 5cm με ίνες.
- Ύψος μετώπου 6.27m
- Αποστραγγιστικές οπές μετώπου διαμέτρου φ3" με διάτρητο σωλήνα PVC φ2" μήκους 12.0m τοποθετούμενες ανά 8 βήματα προσχώρησης.
- Προσωρινό επίσημα διαμορφώσεις δαπέδου εργασίας.
- Αγκύρια τύπου fiberglass ολόσωμης πάκτωσης φέρουσας ικανότητας 250kN μήκους 12.0m τοποθετούμενα με κατωφερική κλίση 8° στο μέτωπο εκσκαφής κάθε 8.0m όπου απαιτηθούν αναλόγως των επί τόπου συνθηκών.



**ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ "Α"**  
**DETAIL "A"**  
 ΚΛ./ΣΚ. 1:25

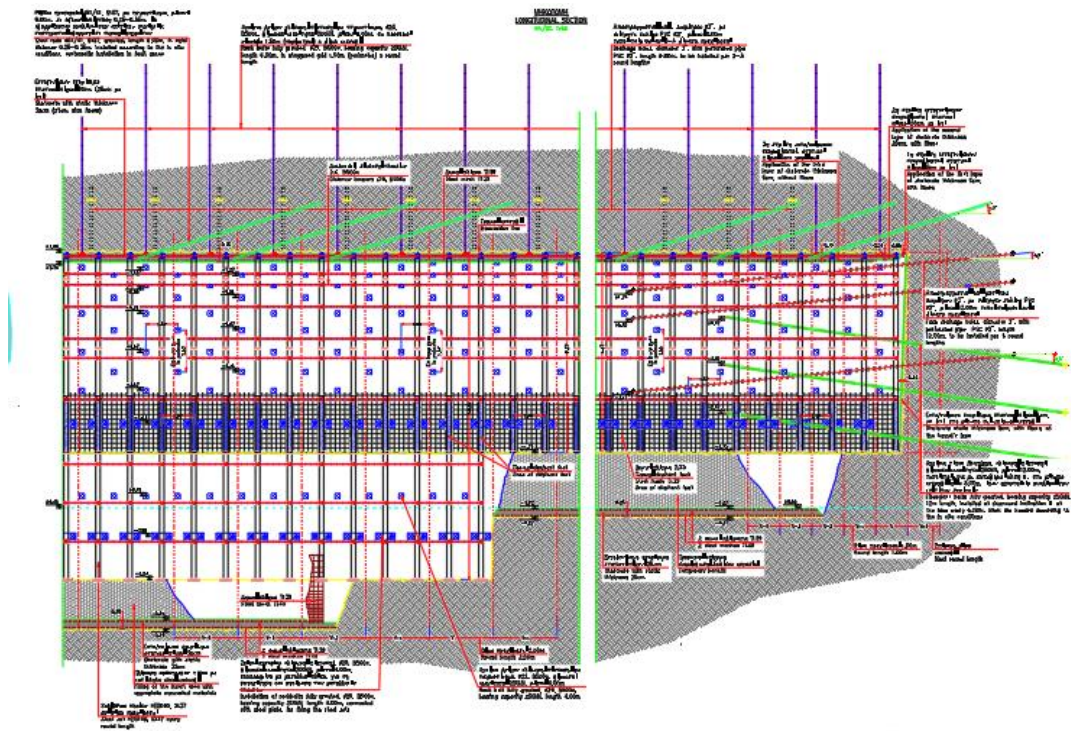
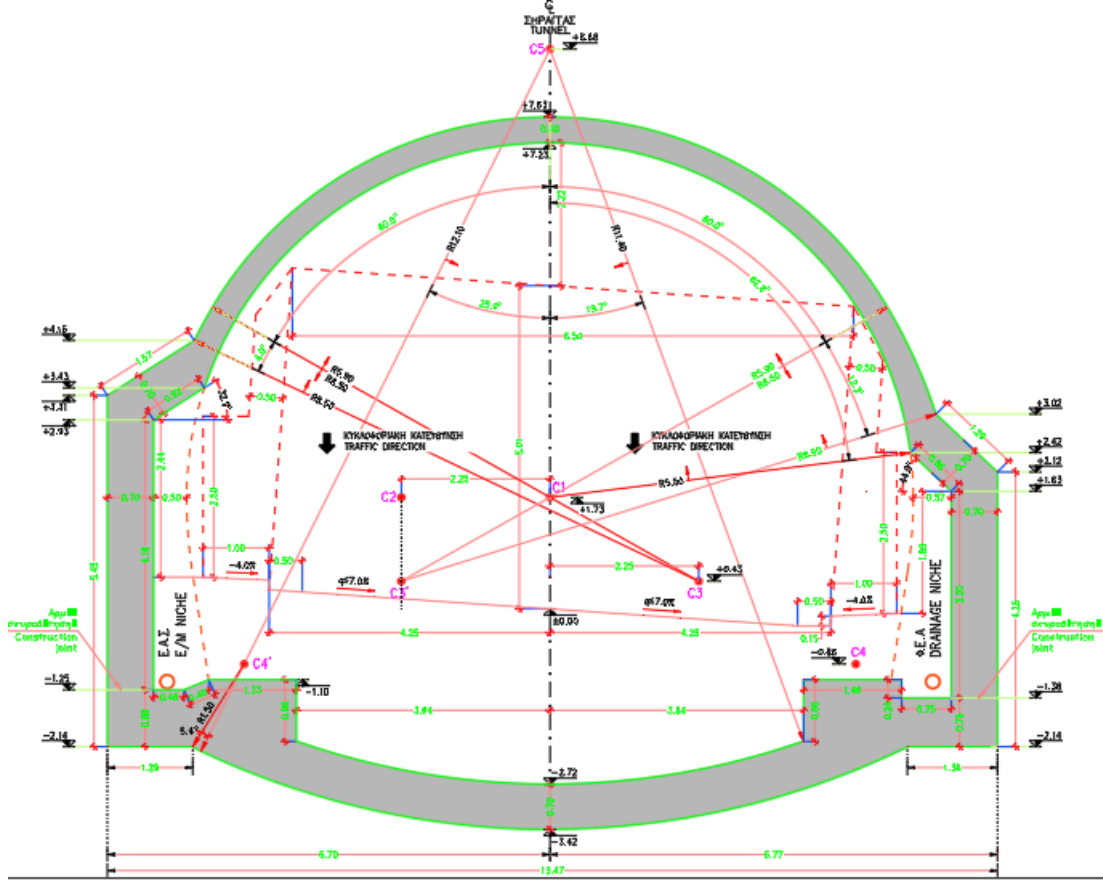


**ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ "Β"**  
**DETAIL "B"**  
 ΚΛ./ΣΚ. 1:25



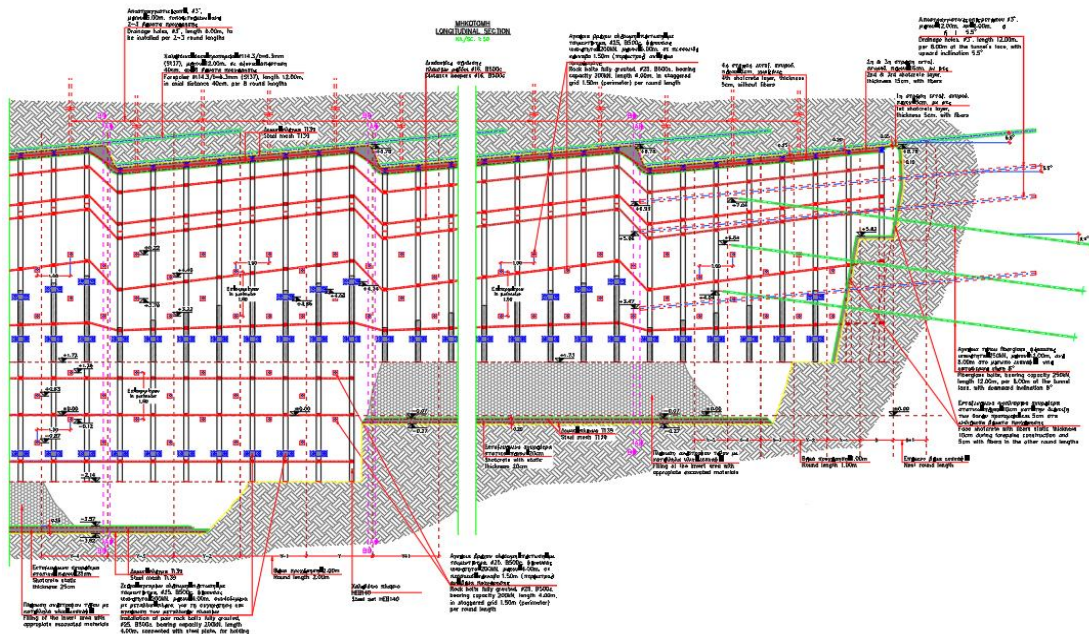
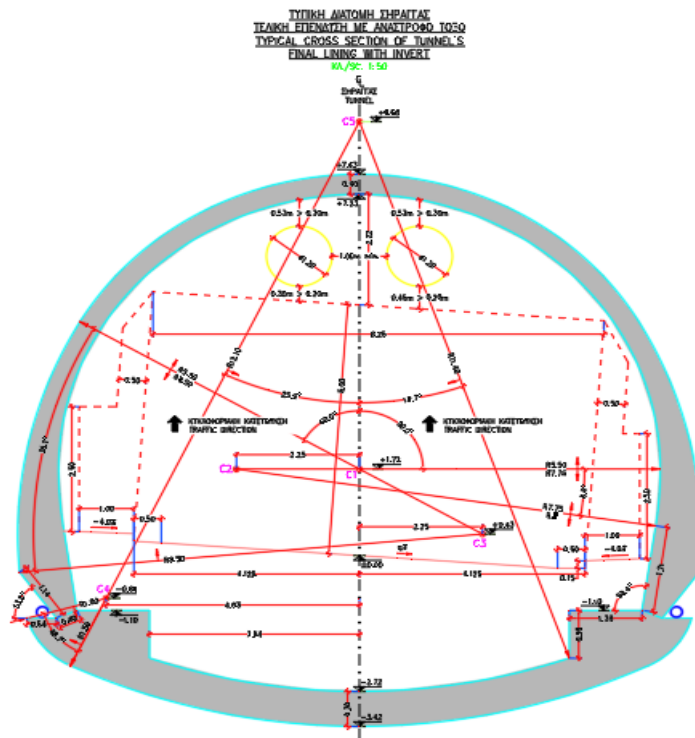


ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΜΗΣ Β-Β ΜΕ ΑΝΑΣΤΡΟΦΟ ΤΟΞΟ ΣΕ ΘΕΣΗ Ε.Α.Σ. & Φ.Ε.Α. - ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ Β, Γ & Δ  
 GEOMETRY OF CROSS SECTION B-B WITH INVERT IN E/M & DRAINAGE NICHE POSITION - CLASSES B, C & D  
 ΚΛΙΜΑΚΑ/SCALE 1:50



- Εκτοξευόμενου σκυρόδεμα στατικού πάχους 30cm ( 25 cm με ίνες)
- Ράβδοι προπορείας  $\phi 51/41$  St37 με τσιμεντένεμα μήκους 6.0m σε αξονική απόσταση 0.25 έως 0.35m θα εφαρμόζονται αναλόγως των επί τόπου συνθηκών συστηματικής εφαρμογή σε περιοχές ρηγμάτων.
- Αγκύρια βράχου ολόσωμης πάκτωσης με τσιμεντένεμα  $\phi 25$  B500c, φέρουσας ικανότητας 200kN μήκους 6.0m σε πεσσοειδή κάναβο 1.50m ( περίμετρος) × βήμα εκσκαφής
- Πλήρωση ανάστροφου τόξου με κατάλληλα υλικά εκσκαφής
- Χαλύβδινο πλαίσιο HEB 140, St37 αν βήμα προσχώρησης
- Ζεύγος αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης  $\phi 25$ , B500c φέρουσας ικανότητας 200kN μήκους 4.0m συνδεδεμένα με μεταλλική πλάκα για τη συγκράτηση και αγκύρια των μεταλλικών πλαισίων .
- Αγκύρια βράχου ολόσωμης πάκτωσης με τσιμεντένεμα  $\phi 25$  B500c, φέρουσας ικανότητας 200kN ,μήκους 4.0m
- Δομικό πλέγμα T139
- Περιοχή elephant foot
- Διαδοκίδες σύνδεσης πλαισίων  $\phi 16$ , B500c.
- Άνω ημιδιατομή
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 5cm με ίνες στο μέτωπο της υπόγειας εκσκαφής
- Αγκύρια τύπου fiberglass ολόσωμης πάκτωσης φέρουσας ικανότητας 250kN μήκους 12.0m τοποθετούμενα με κατωφερική κλίση  $8^\circ$  στο μέτωπο εκσκαφής κάθε 8 μέτρα όπου απαιτηθούν αναλόγως των επί τόπου συνθηκών.
- Προσωρινό επίχωμα διαμόρφωσης δαπέδων εργασίας.
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 25cm
- Δομικό πλέγμα T139 , elephant foot
- Αποστραγγιστικές οπές μετώπου διαμέτρου  $\phi 3"$  με διάτρητο σωλήνα PVC  $\phi 2"$  μήκους 12.0m τοποθετούμενες ανά 8 βήματα προσχώρησης
- 1η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 20cm
- 2η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5cm με ίνες
- 3η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5cm χωρίς ίνες
- Αποστραγγιστικές οπές διαμέτρου  $\phi 3"$  με διάτρητο σωλήνα  $\phi 2"$  μήκους 6.0m τοποθετούμες αν 2 – 3 βήματα προσχώρησης.

## 6.3 KATHΓΟΡΙΑ S1



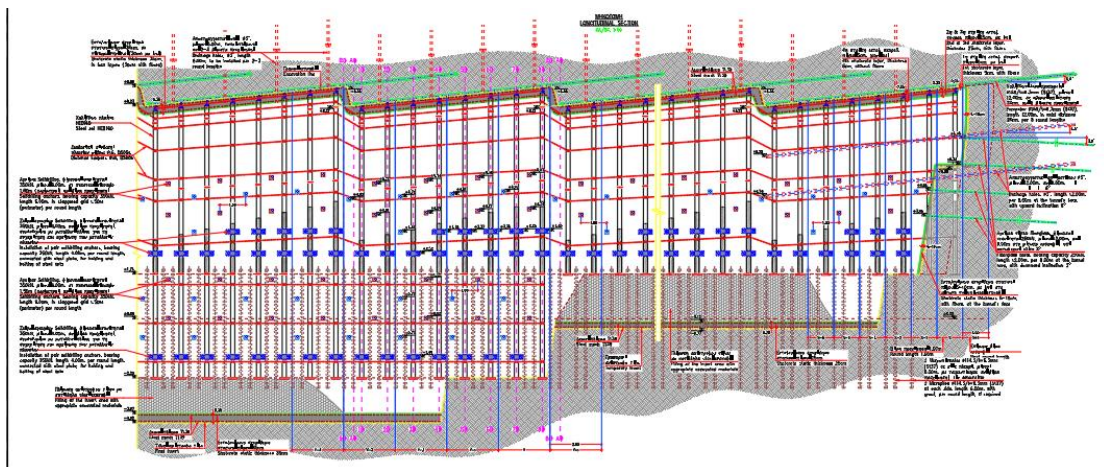
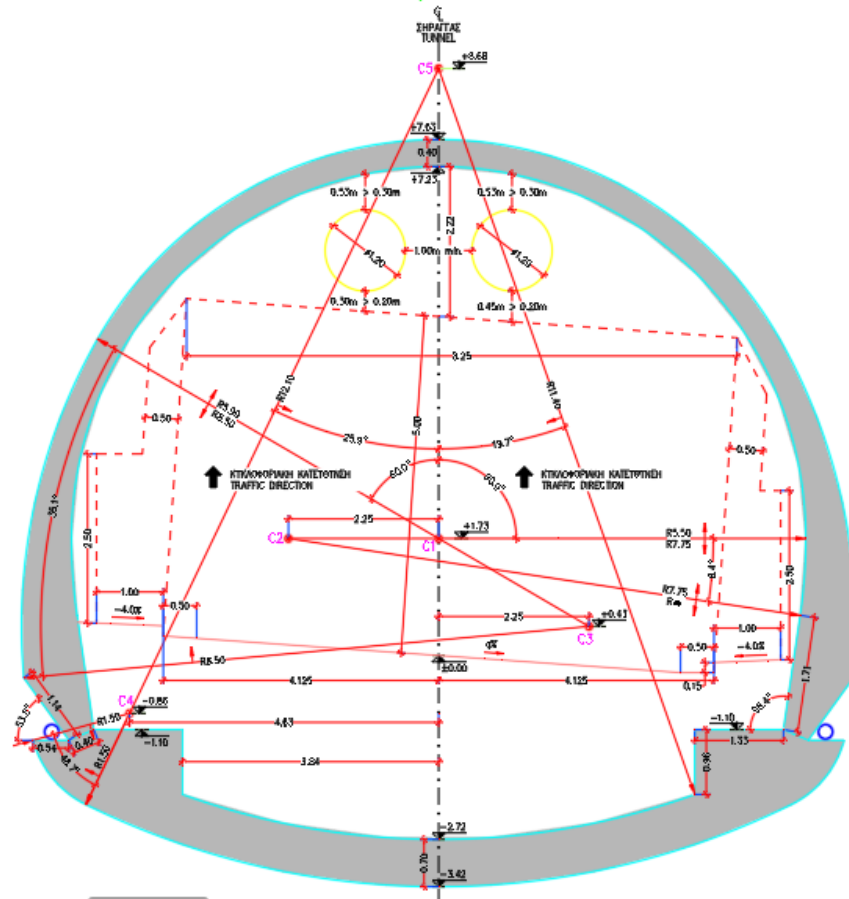
- Εκτοξευόμενο ινοπλισμένο σκυρόδεμα στατικού πάχους 10cm κατά την διάνοιξη των δοκών προπορείας και 5cm στα ενδιάμεσα βήματα προσχώρησης
- Πλήρωση ανάστροφου τόξου με κατάλληλα υλικά εκσκαφής
- Δομικό πλέγμα T139

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 20cm
- Αγκύρια βράχου ολόσωμης πάκτωσης με τσιμεντένεμα φ25, B500c φέρουσας ικανότητας 200kN μήκους 6.0m σε πεσσοειδή κάναβο 1.50m ( περίμετρος) ανά βήμα προσχώρησης
- Αποστραγγιστικές οπές μετώπου φ3" μήκους 12.0m ανά 8.0m
- 1η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5cm με ίνες
- 2η και 3η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15cm με ίνες
- 4η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5cm χωρίς ίνες
- Βαθμίδα και ανάστροφος πυθμένα
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 25cm
- Πλήρωση ανάστροφου τόξου με κατάλληλα υλικά εκσκαφής
- Δομικό πλέγμα T139
- Ζεύγος αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης με τσιμεντένεμα φ25, B500c φέρουσας ικανότητας 200kN , μήκους 4.0m συνδεδεμένα με μεταλλική πλάκα για τη συγκράτηση και ακύρωση των μεταλλικών πλαισίων
- Χαλύβδινο πλαίσιο HEB 140
- Αγκύρια βράχου ολόσωμης πάκτωσης με τσιμεντένεμα φ25 B500c φέρουσας ικανότητας 200kN μήκους 4.0m σε πεσσοειδή κάναβο 1.50m ( περίμετρος) ανά βήμα προσχώρησης.
- Διαδοκίδες σύνδεσης πλαισίων ράβδοι φ16 B500c
- Αποστραγγιστικές οπές φ3" μήκους 6.0m τοποθετούμενες ανά 2 – 3 βήματα προσχώρησης
- Χαλύβδινες δοκοί προπορείας φ114.3/ t= 6.3mm ( St37 ) μήκους 12.0m σε αξονική απόσταση 40cm



## 6.4 KATHΓOPIA S2

ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΡΑΤΤΑΣ  
ΕΣΤΕΡΙΑΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΜΕ ΑΝΑΓΡΟΦΟ ΤΟΞΟ  
TYPICAL CROSS SECTION OF TUNNEL'S  
INTERNAL LINING WITH INVERT  
KA/SC. 1:50

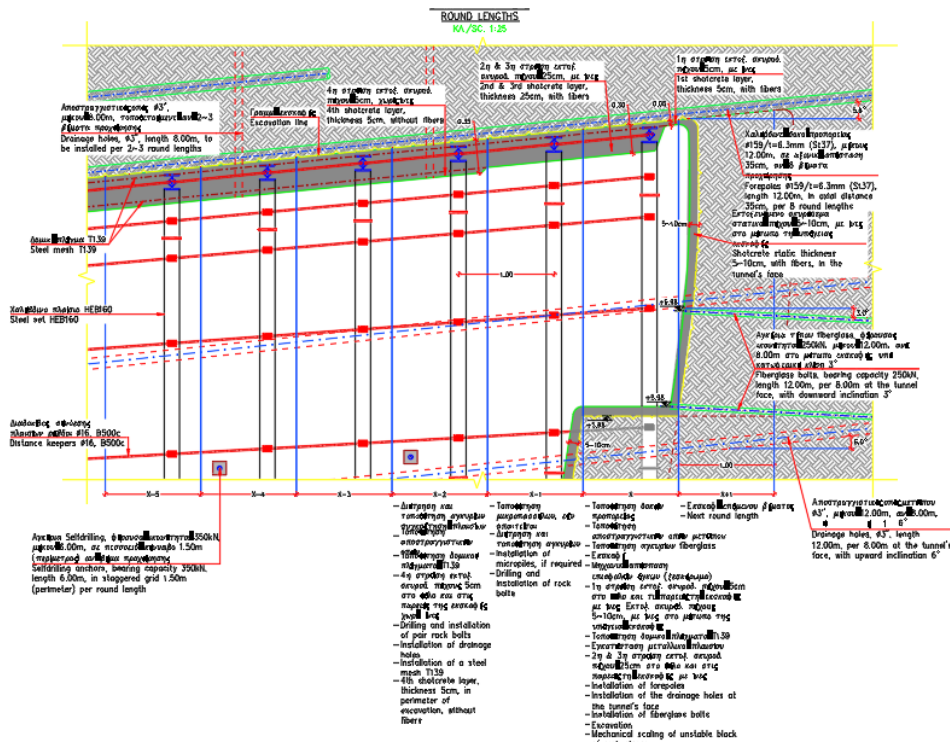


➤ Άνω ημιδιατομή

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 5cm - 10cm με ίνες στο μέτωπο της υπόγειας εκσκαφής
- Αγκύρια τύπου fiberglass φέρουσας ικανότητας 250 kN μήκους 12.0m ανά 8.00m στο μέτωπο εκσκαφής υπό κατωφερική κλίση 3°
- Αποστραγγιστικές οπές μετώπου φ3" μήκους 12.0m ανά 8.0m η 6.0m
- Χαλύβδινες δοκοί προπορείας φ159/t= 6.3mm ( St37) αξονική απόσταση 35cm ανά 8.00m βήματα προσχώρησης
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 25cm
- 2 μικροπάσσαλοι φ114.3/ t=6.3mm ( St37) σε κάθε πλευρά μήκους 6.00m σε τσιμεντένυμα ανά βήμα προσχώρησης εάν απαιτείται
- Πλήρωση ανασκαφής τόξου με κατάλληλα υλικά εκσκαφής
- Δομικό πλέγμα T139
- Προσωρινό ανάστροφο τόξο
- 1η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5cm με ίνες
- 2η και 3η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 25 cm με ίνες
- 4η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5cm χωρίς ίνες

➤ Βαθμίδα και ανάστροφος πυθμένας

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 35cm
- Δομικό πλέγμα T139 και τελικό ανάστροφο τόξο
- Πλήρωση ανάστροφου τόξου με κατάλληλα υλικά εκσκαφής
- Ζεύγος αγκυρίων Selfdrilling φέρουσας ικανότητας 350 kN μήκους 4.0m ανά βήμα προσχώρησης συνδεδεμένα με μεταλλική πλάκα για τη συγκράτηση και ακύρωση των μεταλλικών πλαισίων
- Αγκύρια Selfdrilling φέρουσας ικανότητας 350kN μήκους 6.0m σε πεσσοειδή κάνναβο 1.50m ( περίμετρος) ανά βήμα προσχώρησης.
- Διαδοκίδες σύνδεσης πλαισίων ράβδοι φ16 B500c
- Χαλύβδινο πλαίσιο HEB 160
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 35 cm σε τέσσερις στρώσεις (30 cm με ίνες) αποστραγγιστικές οπές φ3" μήκους 8.0m τοποθετούμενες ανά 2 - 3 βήματα προσχώρησης



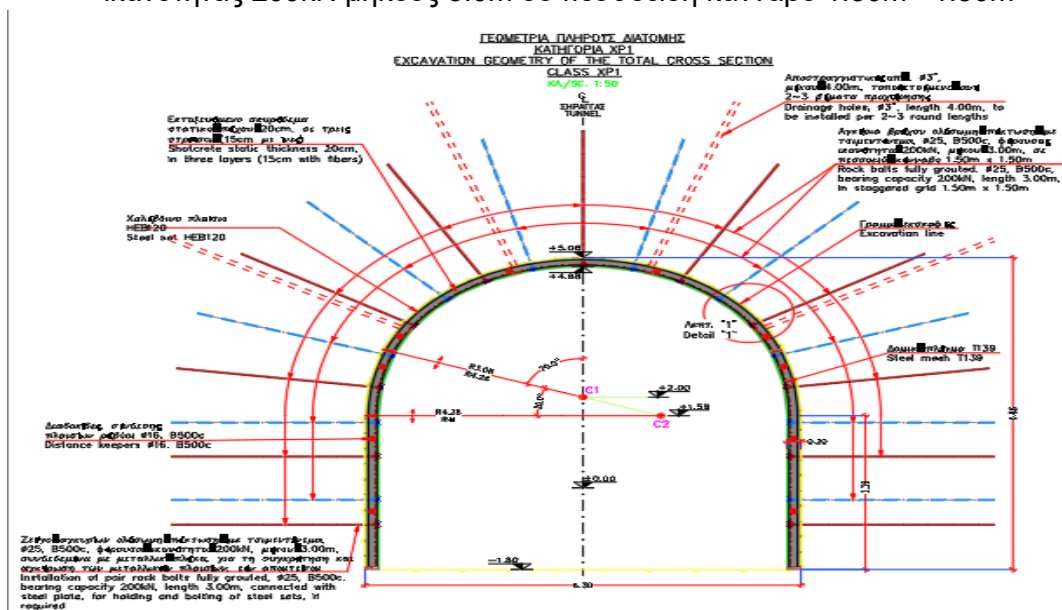
### ➤ Βήματα προσχώρησης

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 5 - 10cm με ίνες στο μέτωπο της υπόγειας εκσκαφής
- Δομικό πλέγμα T139
- Χαλύβδινο πλαίσιο HEB160
- Διαδοκίδες σύνδεσης πλαισίων ράβδοι φ16 ,B500c
- Αγκύρια τύπου fiberglass φέρουσας ικανότητας 250kN μήκους 12.0m ανά 8.00m στο μέτωπο εκσκαφής υπό κατωφερική κλίση 3°
- Χαλύβδινες δοκοί προτορείας φ159/t= 6.3mm( St37) μήκους 12.0m σε αξονική απόσταση 35cm ανά 8 βήματα προσχώρησης
- 1η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5cm με ίνες
- 2η και 3η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 25cm με ίνες
- 4η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5cm χωρίς ίνες
- Αποστραγγιστικές οπές φ3" μήκους 8.0m τοποθετούμενες ανά 2 -3 βήματα προσχώρησης
- Αγκύρια Selfdrilling φέρουσας ικανότητας 350kN μήκους 6.0m σε πεσοσειδή κάνναβο 1.50m ( περίμετρος) ανά βήμα προσχώρησης
- Εκσκαφή επόμενου βήματος
- Τοποθέτηση προτορείας
- Τοποθέτηση αποστραγγιστικών οπών μετώπου
- Τοποθέτηση αγκυρίων fiberglass
- Εκσκαφή
- Μηχανική απόσταση επισφαλών όγκων ( ξεσκάρωμα )

- 1η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5cm στο θόλο και της παρειές της εκσκαφής με ίνες εκτοξευόμενου πάχους 5- 10 cm με ίνες στο μέτωπο της υπόγειας εκσκαφής
- Τοποθέτηση δομικού πλέγματος T139
- Εγκατάσταση μεταλλικού πλαισίου
- 2η και 3η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 25cm στο θόλο και στις παρειές 25cm στο θόλο και στις παρειές της εκσκαφής με ίνες
- Τοποθέτηση μικροπασσάλων εάν απαιτείται
- Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων
- Διάτρηση και τοποθέτηση αγκυρίων συγκράτησης πλαισίων
- Τοποθέτηση αποστραγγιστικών οπών
- Τοποθέτηση δομικού πλέγματος T139
- 4η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5cm στο θόλο και στις παρειές της εκσκαφής χωρίς ίνες.

## 6.5 ΔΙΑΤΟΜΗ ΠΕΖΩΝ

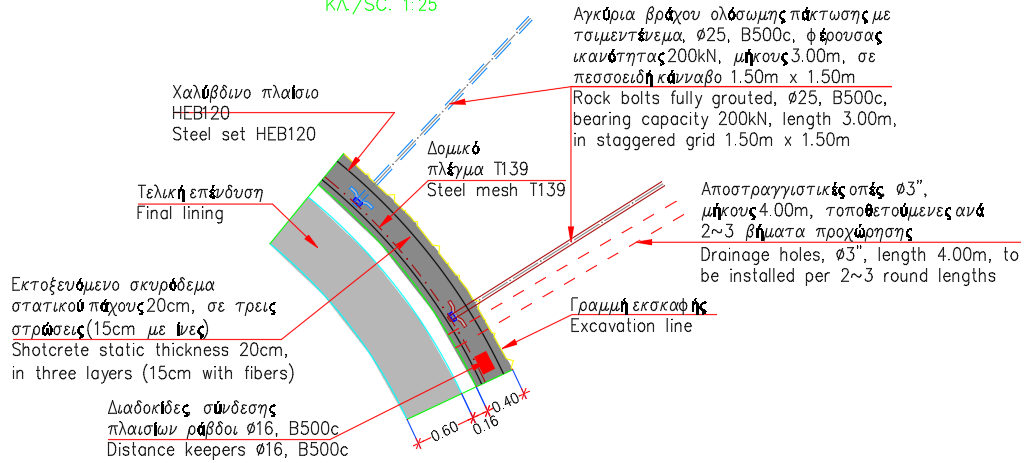
- Δομικό πλέγμα T139
- Διαδοκίδες σύνδεσης πλαισίων ράβδοι φ16 ,B500c
- Ζεύγος αγκυρίων με τσιμεντένεμα φ25 B500c φέρουσας ικανότητας 200kN μήκους 3.0m συνδεδεμένα με μεταλλική πλάκα για τη συγκράτηση και αγκύρωση των μεταλλικών πλαισίων εάν απαιτείται
- Χαλύβδινο πλαίσιο HEB120
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 20cm σε τρεις στρώσεις (15cm με ίνες)
- Αποστραγγιστικές οπές φ3" μήκους 4.0m τοποθετούμενες ανά 2-3 βήματα προσχώρησης
- Αγκύρια βράχου ολόσωμης πάκτωσης τσιμεντένεμα φ25 B500c φέρουσας ικανότητας 200kN μήκους 3.0m σε πεσσοειδή κάναβο 1.50m x 1.50m



ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ "1"

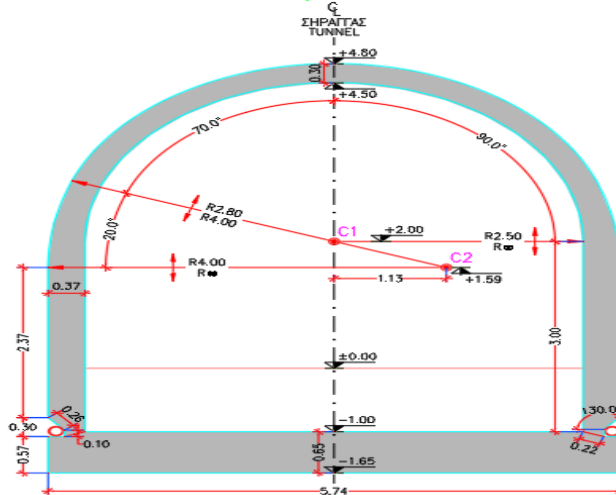
DETAIL "1"

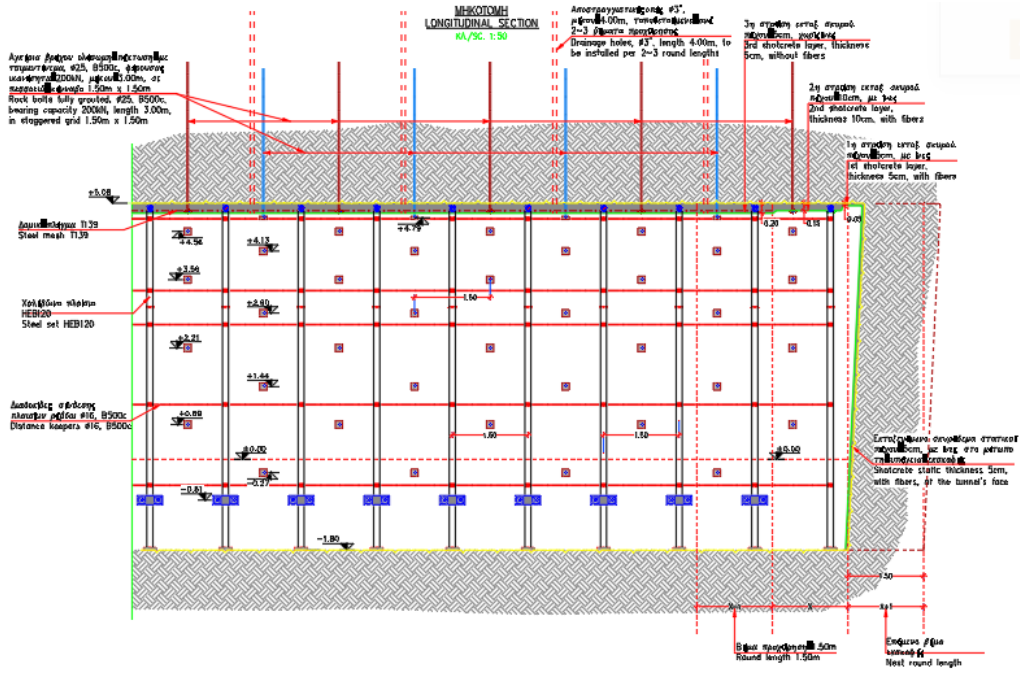
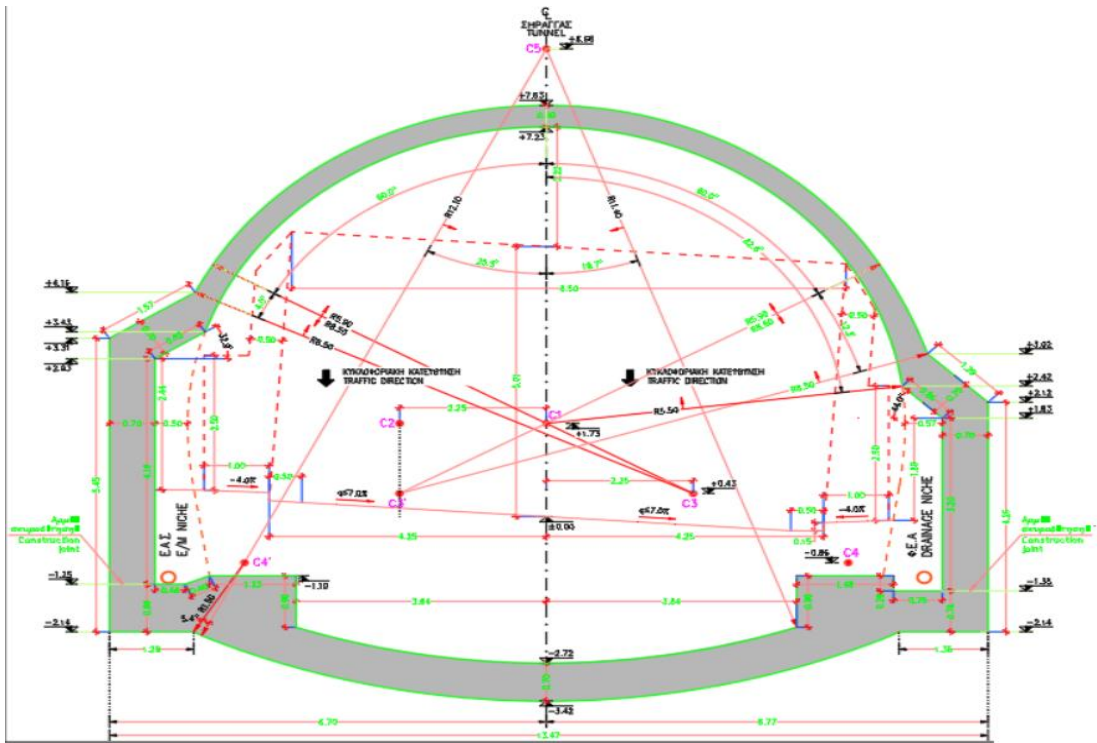
ΚΛ./SC. 1:25



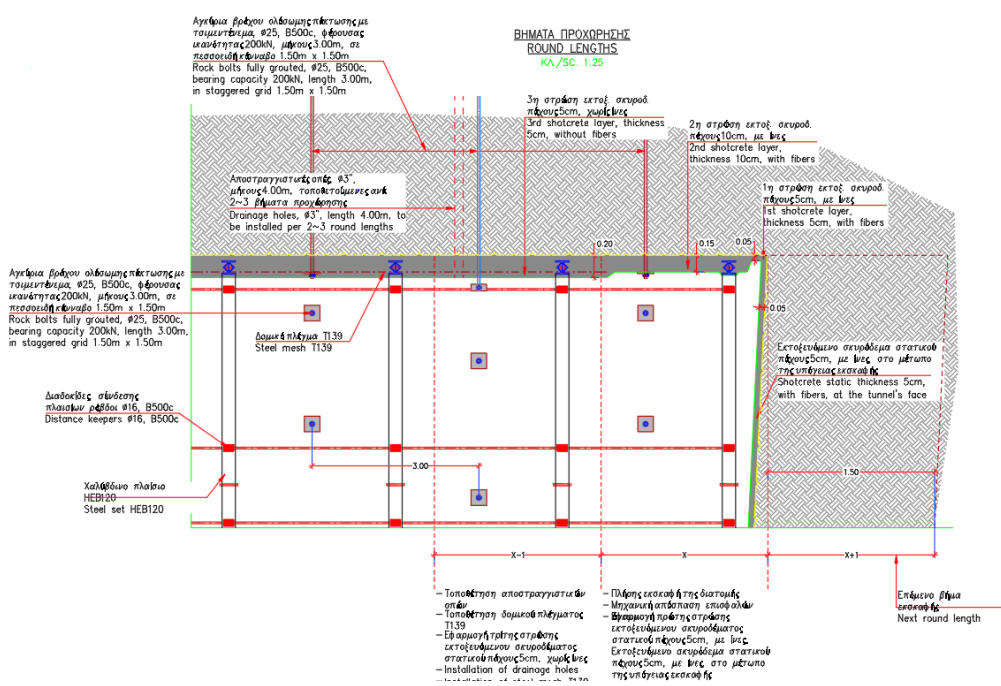
ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΣΤΟΑΣ ΔΙΑΦΤΗΣ ΠΕΖΩΝ ΧΩΡΙΣ ΑΝΑΣΤΡΟΦΟ ΤΟΞΟ  
TYPICAL CROSS SECTION OF PEDESTRIAN CROSS PASSAGE'S INTERNAL LINING WITHOUT INVERT

ΚΛ./SC. 1:50





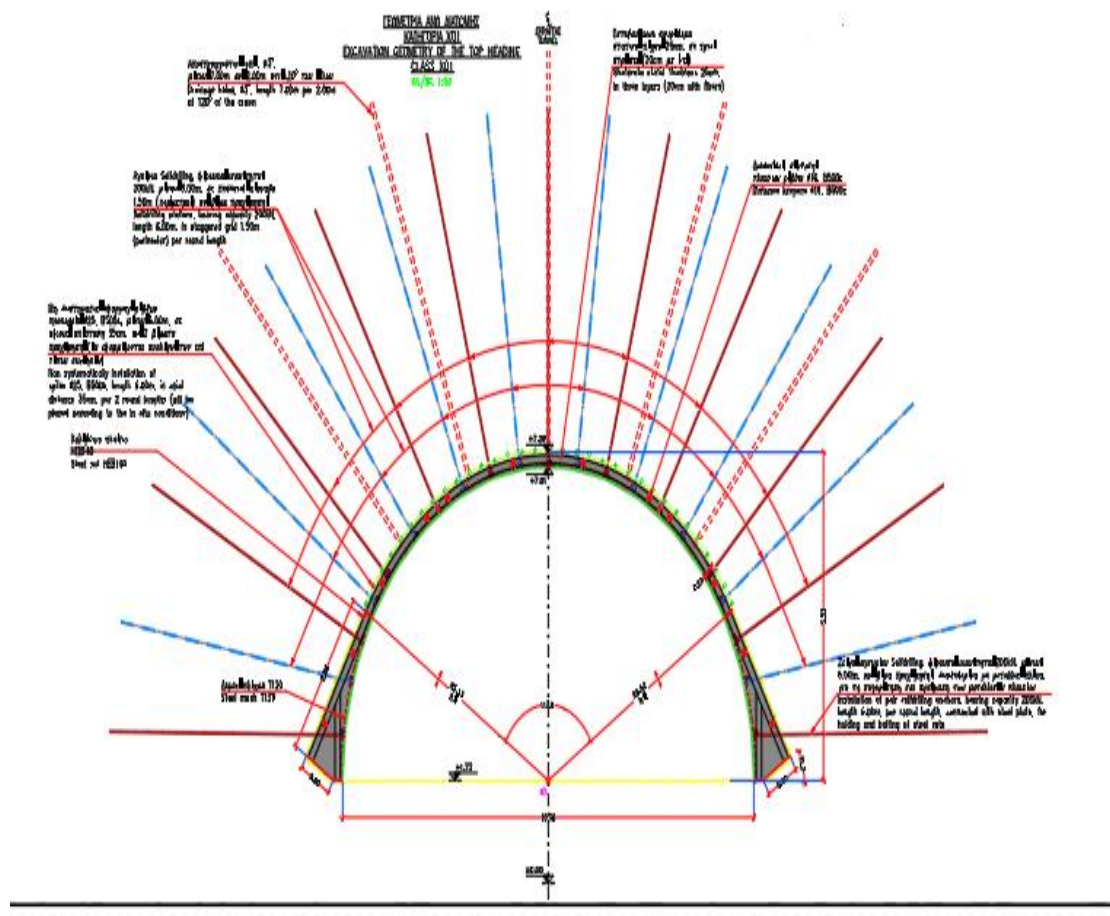
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 5cm με ίνες στο μέτωπο της υπόγειας εκσκαφής
- Δομικό πλέγμα T139
- Χαλύβδινο πλαίσιο HEB120
- Διαδοκίδες σύνδεσης πλαισίων ράβδοι φ16 B500c
- Αγκύρια βράχου ολόσωμης πάκτωσης με τσιμεντένεμα φ25 B500c φέρουσας ικανότητας 200kN μήκους 3.0m σε πεσσοειδή κάρναβο 1.50m x 1.50 m
- Αποστραγγιστικές οπές φ3" μήκους 4.0m τοποθετούμεσ ανά 2 -3 βήματα προχώρησης
- 1η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5cm με ίνες
- 2η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10cm με ίνες
- 3η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5cm χωρίς ίνες



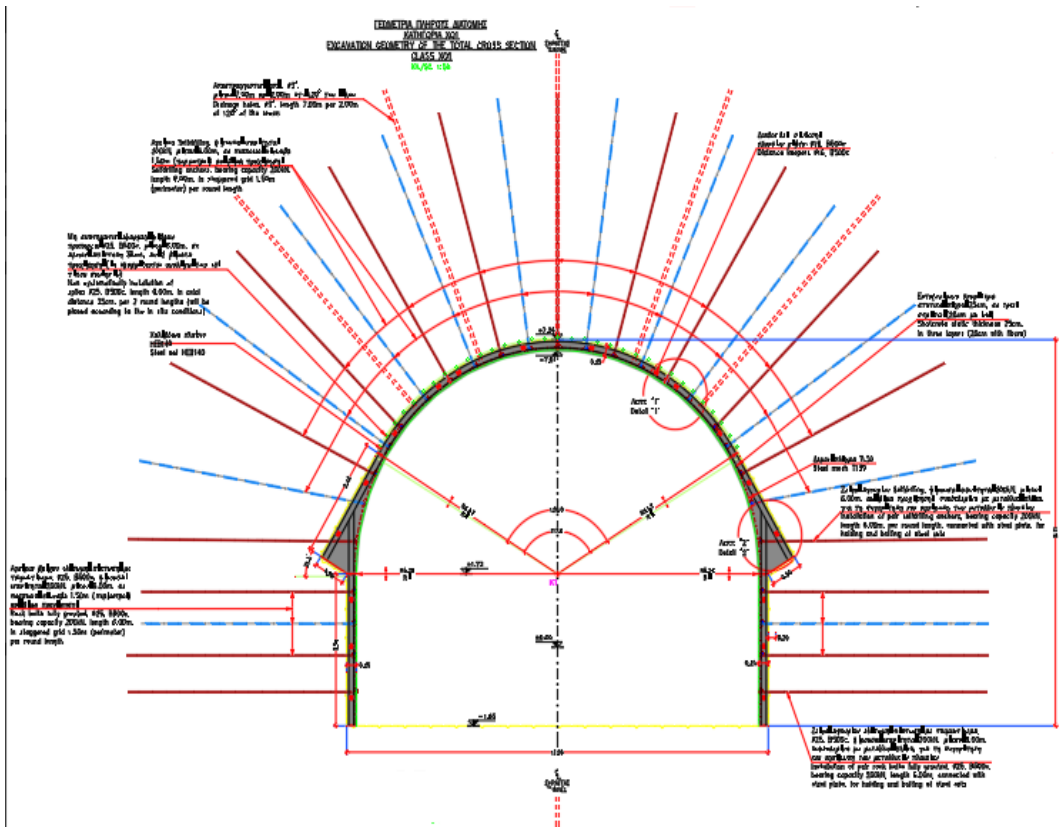
## 6.6 ΔΙΑΤΟΜΗ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

- Εκτοξευόμενου σκυρόδεμα στατικού πάχους 25cm σε τρεις στρώσεις (20cm με ίνες)
- Διαδοκίδες σύνδεσης πλαισίων ράβδοι φ16 B500c
- Ζεύγος αγκυρίων Selfdrilling φέρουσας ικανότητας 200kN μήκους 6.0m ανά βήμα προχώρησης συνδεδεμένα με μεταλλική πλάκα για τη συγκράτηση και αγκύρωση των μεταλλικών πλαισίων
- Δομικό πλέγμα T139

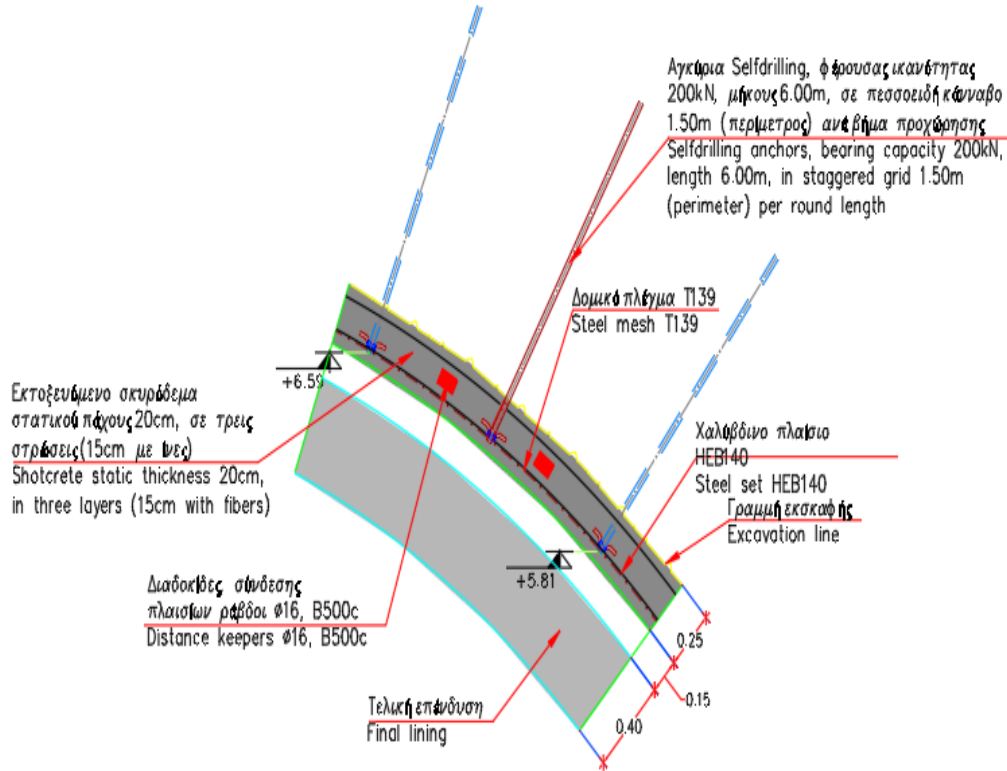
- Χαλύβδινο πλαίσιο HEB140
- Μη συστηματική εφαρμογή ράβδων προπορείας  $\phi 25$  B500c ανά 2 βήματα προχώρησης ( θα εφαρμόζονται αναλόγως των επί τόπου συνθηκών
- Αγκύρια Selfdrilling φέρουσας ικανότητας 200kN μήκους 6.0m σε πεσσοειδή κάνναβο 1.50m ( περίμετρος) ανά βήμα προχώρησης
- Αποστραγγιστικές οπές  $\phi 3"$  μήκους 7.00m ανά 2.0m στις  $120^\circ$  του θόλου
- Αγκύρια βράχου ολόσωμης πάκτωσης με τσιμεντένεμα  $\phi 25$  B500c φέρουσας ικανότητας 200kN μήκους 6.0m σε πεσσοειδή κάνναβο 1.50m ( περίμετρος) ανά βήμα προχώρησης



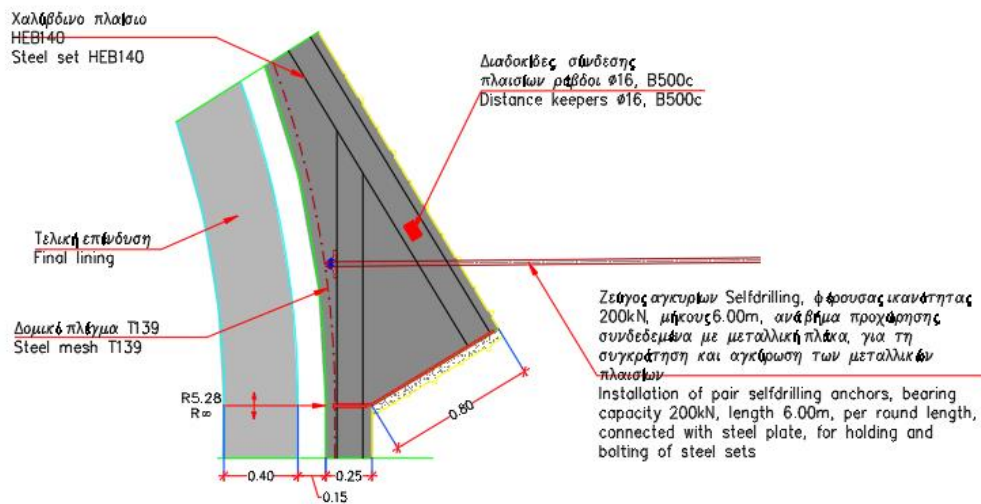




ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ "1"  
 DETAIL "1"  
 ΚΛ./ΣΚ. 1:25



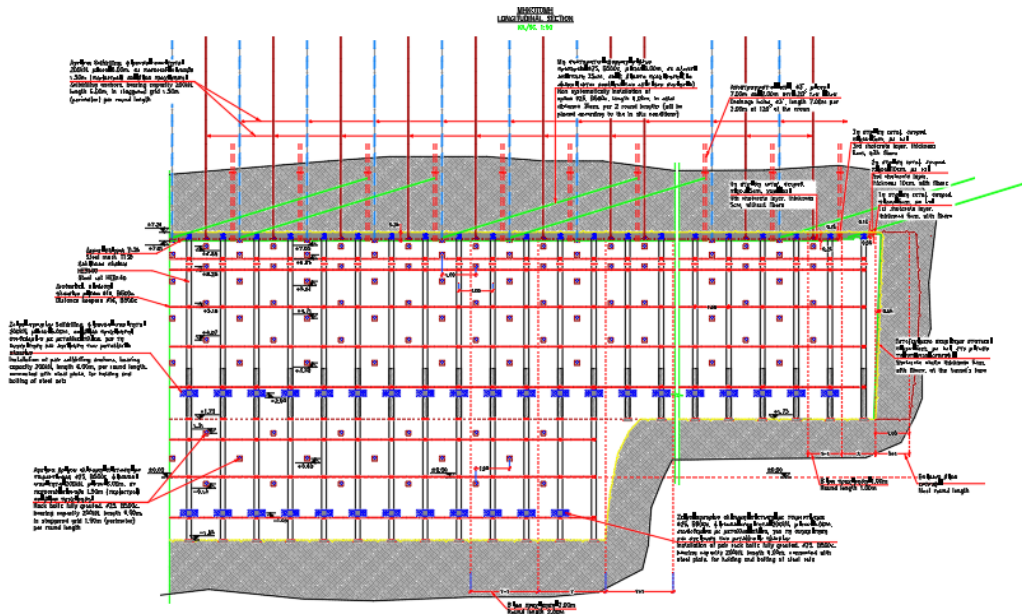
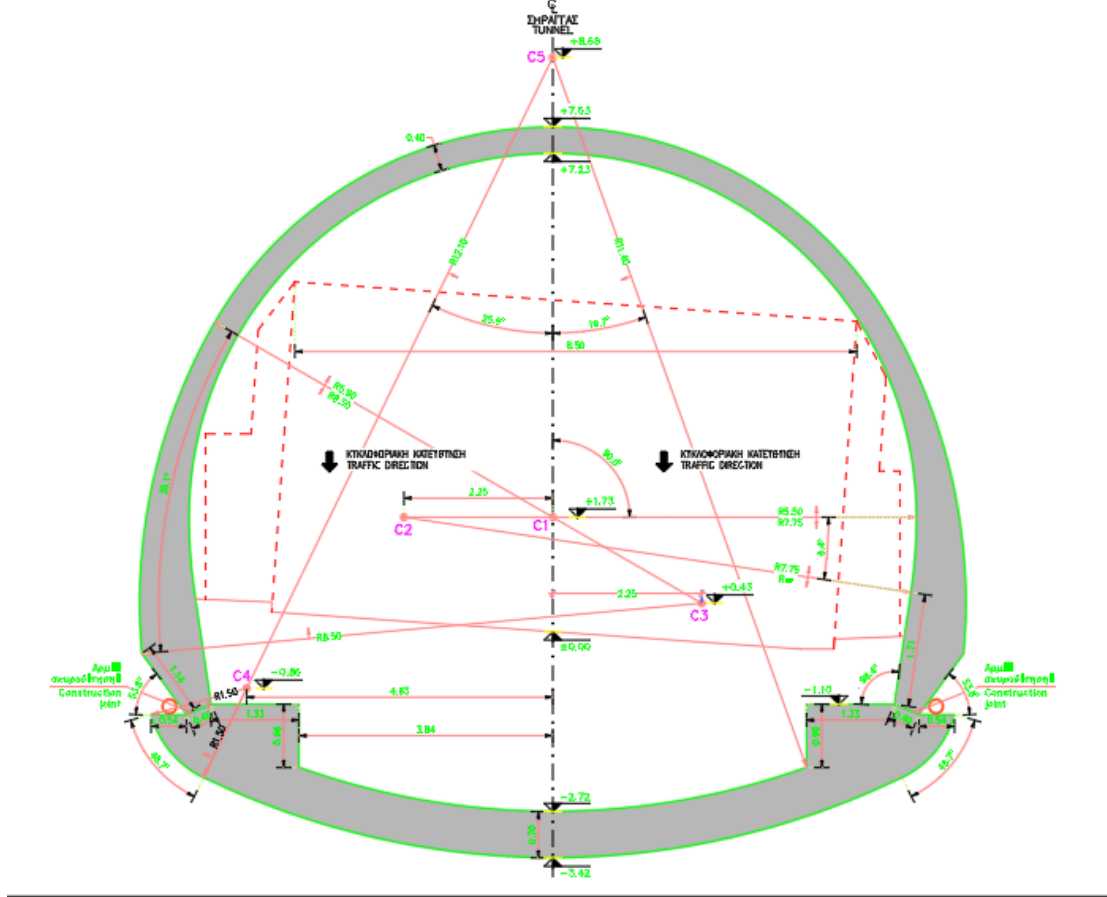
ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ "2"  
 DETAIL "2"  
 ΚΛ./ΣΚ. 1:25





ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΜΗΣ Α-Α ΜΕ ΑΝΑΣΤΡΟΦΟ ΤΟΞΟ - ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ S2  
 GEOMETRY OF CROSS SECTION A-A WITH INVERT - CLASS S2

ΚΑΙΜΑΚΑ/SCALE 1:50



- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 5cm με ίνες στο μέτωπο της υπόγειας εκσκαφής
  - Αποστραγγιστικές οπές φ3" μήκους 7.0m ανά 2.0m στις 120° του θόλου
  - 1η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5cm με ίνες
  - 2η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10cm με ίνες
  - 3η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5cm με ίνες
  - 4η στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5cm με ίνες
- 
- Ζεύγος αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης με τσιμεντένεμα φ25 B500c φέρουσας ικανότητας 200kN μήκους 6.0m συνδεδεμένα με μεταλλική πλάκα για τη συγκράτηση και αγκύρωση των μεταλλικών πλαισίων
  - Αγκύρια βράχου ολόσωμης πάκτωσης με τσιμεντένεμα φ25, B500c φέρουσας ικανότητας 200kN μήκους 6.0m σε πεσσοειδή κάναβο 1.50m (περίμετρος) ανά βήμα προσχώρησης
  - Ζεύγος αγκυρίων Selfdrilling φέρουσας ικανότητας 200kN μήκους 6.0m ανά βήμα προσχώρησης συνδεδεμένα με μεταλλική πλάκα για τη συγκράτηση και αγκύρωση των μεταλλικών πλαισίων
  - Διαδοκίδες σύνδεσης πλαισίων ράβδοι φ16, B500c
  - Χαλύβδινο πλαίσιο T139
  - Αγκύρια Selfdrilling φέρουσας ικανότητας 200kN μήκους 6.0m σε πεσσοειδή κάναβο 1.50m (περίμετρος) ανά βήμα προσχώρησης
  - Μη συστηματική εφαρμογή ράβδων προπορείας φ25 B500c μήκους 6.0m σε αξονική απόσταση 35cm ανά 2 βήματα προχώρησης (Θα εφαρμόζονται αναλόγως επί τόπου συνθηκών)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup> - ΟΔΗΓΙΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Η μεθοδολογία κατασκευής της σήραγγας Πλάτανου ακολουθεί τις γενικές αρχές της Νέας Αυστριακής μεθόδου (NATM). Η σημασία μιας έντονα στενής καταγραφής και ελέγχου της ποιότητας εργασίας και της σωστής εκτέλεσης των έργων σύμφωνα με τα σχετικά σχέδια καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου εργασίας δίνεται ιδιαίτερη έμφαση. Αυτό πρέπει να ασκείται κατά τη διάρκεια της ημέρας καθώς και νυχτερινές βάρδιες και τα Σαββατοκύριακα. Υπογραμμίζεται ότι κάθε σχέδιο μπορεί να είναι επιτυχής μόνο όταν εφαρμόζεται με ακρίβεια και με καλή ποιότητα στην εκτέλεση.

### 7.1 ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΡΓΑ

Η γνώση και η πιστοποιημένη εμπειρία των φορέων εκμετάλλευσης έχουν μεγάλη σημασία. Όταν ο εκσκαφέας λειτουργεί κοντά στην γραμμή εκσκαφής, οι εναπομείνουσες εργασίες κατατομής πρέπει να εκτελούνται πολύ προσεκτικά. Από την άλλη πλευρά, η επιφάνεια του βράχου πρέπει να καθαρίζεται από οποιοδήποτε χαλαρό υλικό που στα τελευταία στάδια θα μπορούσε να πέσει και να θέσει σε κίνδυνο το προσωπικό που εργάζεται στην περιοχή του προσώπου ή στο αναστρέψιμο. Σύμφωνα με τις πραγματικές εμπειρίες από έργα σήραγγας σε αρκετές τοποθεσίες, πρέπει να επισημανθεί ότι πρέπει να αποφευχθεί οποιαδήποτε υπερβολική ανασκαφή στο αναστρέψιμο και ειδικά κάτω από τα πλευρικά πόδια του ελέφαντα. Ανάλογα με τον τύπο του εκσκαφέα που χρησιμοποιείται επί τόπου, είναι μερικές φορές αδύνατο να εκτελεστεί το προφίλ που εργάζεται στην αναστροφή πλήρως με το φτυάρι του εκσκαφέα, ειδικά στην περιοχή των ποδιών των «ελεφάντων», αφού το φτυάρι δεν μπορεί να φτάσει επαρκώς στην περιοχή λόγω το προηγούμενο σύνολο χάλυβα. Στην περίπτωση αυτή, η τοποθέτηση πρέπει να γίνεται είτε με το χέρι με πνευματικά σφυριά είτε με ελαφριά μηχανικά μέσα. Σε κάθε περίπτωση, η γεωμετρία της εκσκαφής της επιφάνειας των στρωμάτων των ελεφάντων πρέπει πάντα να ελέγχεται με μια ελαφριά και εύκολη στη χρήση συσκευή διαμόρφωσης (μετρητή) πριν από οποιαδήποτε εφαρμογή σκυροδέματος ή εγκατάσταση χαλύβδινων κοματιών. Εάν δεν μπορεί να αποφευχθεί η υπερβολική ανασκαφή κάτω από τα πόδια του ελέφαντα (παρουσία κατάλληλων ογκόλιθων μεγάλου μεγέθους), αυτή η υπερβολική ανασκαφή πρέπει στη συνέχεια να επιστραφεί προσεκτικά με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ή κατάλληλα θραυσμένα αδρανή πέτρα και να συμπιεστεί σωστά με χειροκίνητα μηχανικά μέσα. Εάν το ξαναγέμισμα οποιασδήποτε υπερέκθεσης επιτυγχάνεται με το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, απαιτείται κάποια σκλήρυνση του (σε επαρκή χρόνο) προτού κατασκευαστεί το χαλύβδινο τόξο και προσαυξηθεί με το βάρος του σε αυτό το υπόστρωμα. Η χρήση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος για την αναπλήρωση δεν είναι επωφελής σε περίπτωση μεγάλης (> 1m<sup>3</sup>) ή βαθιάς υπερβολικής ανασκαφής. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να υπάρχει μια καθαρή και κατάλληλη επιφάνεια για την ανέγερση του σετ χάλυβα και την πρόσθετη ενίσχυση του ποδιού ελέφαντα. Η ανασκαφή ενός ενιαίου στρογγυλού μήκους πρέπει να γίνεται συνεχώς και δεν πρέπει να διακόπτεται για οποιονδήποτε λόγο. Η εγκατάσταση του προσωρινού υλικού στήριξης πρέπει να ξεκινήσει αμέσως μετά την εκσκαφή. Σε αυτό το είδος αδύναμου εδάφους ή πετρωμάτων δεν επιτρέπεται η διατήρηση των νέων επιφανειών που δεν υποστηρίζονται, καθώς αυτό θα δημιουργήσει ήδη μια σταδιακή χαλάρωση του βράχου που περιβάλλει την περιφέρεια της εκσκαφής της σήραγγας. Εάν δεν είναι εγγυημένη η έγκαιρη τροφοδοσία υλικού στήριξης (εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, μπουλόνια), δεν πρέπει να πραγματοποιηθεί η εκκίνηση της εκσκαφής του επόμενου

βήματος προόδου. Κάθε στρογγυλό μήκος πρέπει να ολοκληρωθεί με όλα τα μέτρα στήριξης που έχουν ολοκληρωθεί πριν από τη διακοπή των εργασιών εκσκαφής. Πριν από τα έργα εκτοξευόμενου σκυροδέματος της ανάστροφης εκκίνησης, το ανάστροφο πρέπει να είναι εντελώς απαλλαγμένο από χαλαρό υλικό ή λάσπη ενώ η γεωμετρία του πρέπει να επαληθεύεται αυστηρά. Η τελευταία προσπάθεια καθαρισμού του αναστροφέα πρέπει να πραγματοποιηθεί με τη χρήση πεπιεσμένου αέρα ως ξεχωριστή κατασκευή. Σε κάθε περίπτωση οι γραμμές εκσκαφής πρέπει να ακολουθούνται αυστηρά. Ωστόσο, η παρουσία υπερεκφράσεων αποδίδεται κυρίως στους ακόλουθους λόγους:

- Ποιότητα της ακολουθίας κατασκευών
- Πιθανή κατάρρευση λόγω του προφίλ εδάφους

Δεν επιτρέπονται υπερβολικές ανασκαφές λόγω της ποιότητας της ακολουθίας κατασκευής. Σε κάθε περίπτωση ο Αντισυμβαλλόμενος είναι υπεύθυνος για την ποιότητα της ανασκαφής, προκειμένου να αποφευχθούν οποιοσδήποτε ανασκαφές. Τονίζεται ότι κάθε σοβαρή ανασκαφή ή κατάρρευση λόγω γεωλογικών αναγκών πρέπει να αντιμετωπιστεί χωριστά, σε στενή συνεργασία με τον Σχεδιαστή Σήραγγας, Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην επίτευξη στεγανών γεωτρήσεων (για βράχια, οπές, οπές αποστράγγισης κλπ.), Προκειμένου να αποφευχθεί η μείωση των γεωτεχνικών ιδιοτήτων της μάζας του εδάφους. Κατά την εκσκαφή της σήραγγας, η διαδικασία κατασκευής μπορεί να αναφέρεται είτε στην εκσκαφή ολόκληρης της επιφάνειας της κεφαλής σε μία φάση και στην εκσκαφή του πάγκου σε μεταγενέστερο στάδιο είτε στην ταυτόχρονη εκσκαφή τόσο της κεφαλής όσο και του πάγκου, διατηρώντας μια ελάχιστη απόσταση μεταξύ των δύο προβεβλημένων επιφανειών των 50 μέτρων. Η εκσκαφή των κερκίδων έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι ανεξάρτητη από την εκσκαφή της κορυφαίας κεφαλίδας. Ο πάγκος μπορεί να ανασκαφεί είτε μετά την πλήρη εκσκαφή της κορυφαίας επικεφαλίδας είτε αλλιώς ως μέτρο έκτακτης ανάγκης που αποσκοπεί στο κλείσιμο της κατασκευής του κελύφους εκτοξευόμενου σκυροδέματος (απροσδόκητοι επιφανειακοί οικισμοί, διαφορετικά προφίλ γαιών κ.λπ.). Όσον αφορά τις διασταυρώσεις, η κύρια σήραγγα θα προχωρήσει τουλάχιστον 30 μέτρα. Στην περιοχή τομής μεταξύ της κύριας σήραγγας και της σήραγγας διασταύρωσης θα εκπονηθούν εκτεταμένα μέτρα στήριξης για την αρχική στήριξη καθώς και για την τελική επένδυση (επέκταση του πάχους της επένδυσης εάν είναι απαραίτητο). Δεδομένου ότι πρόκειται για τις αποθήκες έκτακτης ανάγκης και τις εξόδους έκτακτης ανάγκης και αποστράγγισης, η κατασκευή τους μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε ταυτόχρονα με την εκσκαφή του κύριου τμήματος της σήραγγας είτε σε μεταγενέστερο στάδιο, σύμφωνα με τις επικρατούσες γεωτεχνικές συνθήκες.

## 7.2 ΕΡΓΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Οι προδιαγραφές Υλικών και Εργασιών σχετικά με τις εργασίες για τα υπόγεια τμήματα του έργου παρέχονται στο ΤCC. Για τους σκοπούς του σχεδίου αυτού, η κύρια επένδυση στηρίζεως εγκαθίσταται με την υιοθέτηση οπλισμών ενισχυμένων με ίνες σε όλα τα στρώματα αλλά με την τελευταία (πάχος 5 cm). Γενικά, το τελευταίο στρώμα αποτελείται από απλό σκυρόδεμα ενισχυμένο με ένα μόνο στρώμα χάλυβα. Γενικά, η ποσότητα των χαλύβδινων ινών υπολογίζεται σύμφωνα με την εγκεκριμένη σύνθεση σκυροδέματος που παρασκευάζεται από τον ανάδοχο. Εντούτοις, η ελάχιστη ποσότητα οπλισμού των χαλύβδινων ινών πρέπει να είναι 20 kg / m<sup>3</sup> εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Πρέπει να εξασφαλίζεται συνεχώς ότι η σύνθεση του μίγματος εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι η κατάλληλη, σύμφωνα με τα κατασκευαστικά έγγραφα. Στο πλαίσιο ελέγχου ποιότητας οπλισμένου σκυροδέματος ενισχυμένου με ίνες, πρέπει να εξεταστούν και οι δύο οι συμπιεστικές ( $\geq 28\text{MPa}$ ) και οι εφελκυστηκές ( $\geq 5\text{MPa}$ ) αντοχές του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Τα σχετικά δεδομένα πρέπει να συλλέγονται συνεχώς και να είναι πάντα διαθέσιμα στην τοποθεσία του έργου. Η λειτουργία του εξοπλισμού πρέπει να επιτρέπεται μόνο σε χειριστές εξοπλισμού σκυροδέματος με μεγάλη εμπειρία σε αυτό το είδος σκυροδέματος, με την υγρή μέθοδο. Ιδιαίτερα η διαδικασία και η τοποθέτηση σφυρήλατου σκυροδέματος (ενισχυμένη με ίνες) αποτελεί περίπλοκη τεχνολογία που μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό το τελικό προϊόν (μίγμα ή το ίδιο το κέλυφος), κάτω από μεγάλο πάχος υπερκείμενου υλικού και υπό συνθήκες υψηλής υδροστατικής πίεσης με την υγρή μέθοδο. Η απόσταση του ακροσωληνίου από το βράχο πρέπει να είναι πάντα κανονική και σύμφωνα με τις σχετικές προδιαγραφές. Το τσιμεντοκονίαμα πρέπει πάντα να τοποθετείται σε διαφορετικά, διαδοχικά στρώματα. Τα σχετικά συμβατικά έγγραφα που αναφέρονται στο πάχος κάθε στρώματος πρέπει να εφαρμόζονται περιοριστικά. Γενικά, το πρώτο στρώμα αποτελεί μια αρχική πρωταρχική στήριξη η οποία, εάν εφαρμοστεί έγκαιρα, ελαχιστοποιεί την χαλάρωση του περιβάλλοντος εδάφους και τελικά τις αναμενόμενες παραμορφώσεις. Δεν επιτρέπεται η τοποθέτηση στρωμάτων σκυροδέματος που είναι παχύτερα από αυτά που υποδεικνύονται στα σχέδια. Η τοποθέτηση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος πρέπει να γίνει με προσοχή και με κατευθύνσεις αντισταθμιστικής εξισορρόπησης, προκειμένου να αποφευχθούν τυχόν σκιές πίσω από τις σειρές χάλυβα. Κάθε πιθανή υπερκάλυψη πρέπει να συμπληρωθεί ανάλογα. Σε κάθε περίπτωση, πρέπει να εξασφαλίζεται το ελάχιστο απαιτούμενο πλάτος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, όπως φαίνεται στα σχέδια κατασκευής (από την γραμμή εκσκαφής έως το εσωτερικό τμήμα της σήραγγας). Σε κάθε περίπτωση πρέπει να πληρήται το ελάχιστο πάχος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος που απαιτείται για δομικές εφαρμογές σε κάθε πλευρικό τοίχωμα της σήραγγας. Σύμφωνα με τις παρατηρήσεις επί τόπου, πρέπει να αποφευχθεί με οποιοδήποτε τρόπο η "σκιώδης επίδραση" του σκυροδέματος πίσω από τα χαλύβδινα σύνολα, επειδή η μεταφορά φορτίου από την περιβάλλουσα μάζα του βράχου στην προσωρινή υποστήριξη δεν μπορεί να επιτευχθεί κανονικά χωρίς να αποφευχθούν επιπλέον παραμορφώσεις. Τοποθετήθηκε ένα τελικό στρώματα λείανσης, ανάλογα με τις συνθήκες εδάφους που συναντώνται στο χώρο. Για τη βελτίωση των θεμελίων των χαλύβδινων συνόλων, το τοπικό σκυρόδεμα εφαρμόζεται όπως φαίνεται στα σχετικά κατασκευαστικά σχέδια, εκτός εάν υπάρχουν επί τόπου προκατασκευασμένες πλάκες από σκυρόδεμα.



### 7.3 ΠΟΔΑΣ ΕΛΕΦΑΝΤΑ- ΜΙΚΡΟΠΑΣΣΑΛΟΙ

Σύμφωνα με τις αρχές του NATM σε ειδικές συνθήκες αδύναμης μάζας, ένα πρόωρο κλείσιμο του δακτυλίου στήριξης είναι πλεονεκτικό. Για να αποφευχθούν σημαντικοί οικισμοί μέχρι το πλήρες κλείσιμο του δακτυλίου για τις περιστάσεις αυτές, πρέπει να αναπτυχθούν ειδικά μέτρα, με στόχο τη μείωση των οικισμών του κελύφους του θησαυρού. Εάν οι οικισμοί παραμείνουν εντός μιας εύλογης αξίας, ακόμη και μια ανακάλυψη της σήραγγας της κορυφαίας κεφαλίδας είναι δυνατή, πριν ξεκινήσει η εκσκαφή της εξέδρα. Πρέπει να εξασφαλίζεται συνεχώς η σωστή γεωμετρία εκσκαφής του πλήρους αναστροφέα στεφάνης. Η επιφάνεια του εδάφους πρέπει να είναι ανενόχλητη και υγιή, ή σε περίπτωση υπερβολικής ανασκαφής πρέπει να προετοιμάζεται για τη μεταφορά φορτίου από το κέλυφος στο βράχο. Δεν επιτρέπεται ροή νερού στην περιοχή των ποδιών των ελέφαντα. Ο οπλισμός πρέπει να τοποθετείται αυστηρά σύμφωνα με τα σχετικά σχέδια και πρέπει να επαληθεύεται συνεχώς. Η προσωρινή αναστροφή του σκυροδέματος του άνω τροχού συνδέεται με το πόδι του ελέφαντα με ένα αυξανόμενο δομικό πάχος προς αυτό το πόδι. Αυτή η λεπτομέρεια παρέχεται στα αντίστοιχα κατασκευαστικά σχέδια. Το παραπάνω στρώμα από χαλύβδινο πλέγμα στο προσωρινό ανάστροφο ακολουθεί αυτή την καμπύλη σύνδεση μεταξύ του ποδιού του αναστροφέα και του ελέφαντα. Το προσωρινό ανάστροφο μπορεί να ανασκάπτεται κάθε δύο βήματα για την αποφυγή οποιασδήποτε βλάβης στο προηγουμένως κατασκευασμένο μέρος του, λόγω των διαστάσεων του εκσκαφέα, λαμβάνοντας υπόψη μια πολύ προσεκτική εκτέλεση. Δεν υπάρχει ανάγκη για διαμήκη επικάλυψη των χαλύβδινων ματιών. Εντούτοις, εξωτερικοί διαχωριστές για το κάτω πλέγμα είναι απαραίτητοι για να εξασφαλιστεί η κάλυψη του τραπεζοειδούς τσιμέντου του οπλισμού. Επιπλέον, η χρήση διαμηκών οπλικών ράβδων στα πόδια του ελέφαντα αυξάνει την ικανότητα του συστήματος του ποδιού ελέφαντα - αναστροφή. Δεν υπάρχει ανάγκη για συγκόλληση αυτού του οπλισμού κατά τη διαμήκη κατεύθυνση αλλά μόνο για στερέωση με σύρμα, διατηρώντας μια επικάλυψη 30cm. Η τοποθέτηση της ενίσχυσης πρέπει να γίνεται σε κάθε βήμα προόδου λαμβάνοντας μέτρα προστασίας από την ανάκαμψη του εφαρμοζόμενου εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Ο χώρος για το μήκος επικάλυψης υπάρχει πάντα στο πρόσωπο της σήραγγας και αυτό σε καμία περίπτωση δεν σημαίνει ότι πρέπει να ξεπεραστεί το βήμα προόδου της σχετικής κλάσης. Αυτές οι διαμήκεις ράβδοι επιβάλλονται προκειμένου να αποφευχθούν πρόωρες ακτινικές ρωγμές στο προσωρινό κέλυφος που προκαλούνται από παραμορφώσεις λόγω της χαμηλής αντοχής εφελκυσμού του "πράσινου" εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Η τοποθέτηση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στην περιοχή του ποδιού ελέφαντα πρέπει να επιτευχθεί χωρίς να δημιουργηθούν σκιές πίσω από τις σειρές χάλυβα. Σύμφωνα με τις λεπτομέρειες των σχετικών σχεδίων, ο σύνδεσμος σύνδεσης μεταξύ του ποδιού ελέφαντα και του μεγεθυμένου τμήματος του προσωρινού αναστροφέα πρέπει να εκτελεστεί προσεκτικά ώστε να επιτραπεί η επιθυμητή μεταφορά δυνάμεων διαμήκως σε αυτήν την άρθρωση εργασίας. Δύο μικροπάσσαλοι σε κάθε πλευρά, μήκους 6.00m, με ενέματα, ανά στρογγυλό μήκος προβλέπονται στις κλάσεις υποστήριξης S2 & V2, σύμφωνα με τις in situ συνθήκες. Σημειώνεται ότι οποιαδήποτε λάσπη που παράγεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας διάτρησης για την εγκατάσταση των μικροπάσσαλοι θα πρέπει να αφαιρεθεί. Η γεώτρηση των μικροπασσάλων πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τις ειδικές συνθήκες του έργου. Για την σωστή λειτουργία του συστήματος θεμελίωσης που αποτελείται από τα μικρά πτερύγια και το πόδι του ελέφαντα, η κορυφή των μικροπασσάλων θα πρέπει να

ενσωματωθεί για μεγάλο μήκος στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα του ποδιού ελέφαντα έτσι ώστε το αξονικό φορτίο να μεταφερθεί σε αυτά. Η κατεδάφιση της προσωρινής αναστροφής κατά τη διάρκεια της εκσκαφής σε εξέδρα είναι μια εργασία που συνήθως εκτελείται με τη χρήση μηχανημάτων βαρέων μηχανικών εκσκαφών. Αυτός ο εξοπλισμός προκαλεί σοβαρή ζημιά στη βάση του ποδιού ελέφαντα και του ίδιου του ποδιού ελέφαντα. Τονίζεται ότι η κατεδάφιση πρέπει να πραγματοποιείται με τη χρήση μηχανικών μέσων. Δεν επιτρέπεται η χρήση ανατινάξεων και εκρηκτικών. Πρέπει να χρησιμοποιούνται κατάλληλοι εξοπλισμοί και εργαλεία κατεδάφισης, όπως σπαστήρες σκυροδέματος, πριόνια σκυροδέματος, συμβατικά πριόνια με διαμάντια, σφύρες, μπουλντόζες, φτυάρια, φορτωτές, φορητά κλπ.

#### 7.4 ΧΑΛΥΒΔΙΝΑ ΤΟΞΑ ( HEB )

Τα χαλύβδινα σύνολα εγκαθίστανται ανά εκσκαφή γύρω από τη σήραγγα και συνδέονται μεταξύ τους υιοθετώντας σωστά αποστάτες από χαλύβδινες ράβδους B500c, Φ16 σε διάμετρο, σε διαφορετικά υψόμετρα. Κάθε φορά, το μήκος των αποστατών συμπίπτει με το μήκος γύρου. Η κατάλληλη εγκατάσταση περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, την κατάλληλη σφήνωση των καμάρων στην περίμετρο της εκσκαφής. Με αυτό εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή επαφή μεταξύ του χαλύβδινου σετ και της μάζας του βράχου. Το wedging συνήθως λαμβάνεται από το shotcrete, στο οποίο τα σύνολα θα είναι πλήρως ενσωματωμένα μετά την τοποθέτηση του δομικά απαιτούμενου εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Οι δοκοί και οι χαλύβδινες σειρές που τοποθετούνται στο σχέδιο είναι LG70 / 26/26 (κλάση υποστήριξης A), HEB120 St37 (κλάσεις υποστήριξης B & XP1), HEB140 St37 (κλάσεις υποστήριξης C, S1, XP2 & XO1) και HEB160 St37 υποστηρίξτε τάξη D, S2, XO2, V1 & V2). Πρέπει να παραδίδονται στο χώρο εργασίας κομμένα σε κομμάτια (για να διευκολύνουν τη μεταφορά και το χειρισμό), σωστά καμπυλωμένα στη γεωμετρία που παρέχεται στα σχέδια κατασκευής. Υπογραμμίζεται ότι μία από τις βασικές παραδοχές του σχεδιασμού αναφέρεται σε αυτό, κάθε φορά που ένα σύνθετο πρωτεύον υπόστρωμα στήριξης πρέπει να λαμβάνεται με σύνολα χάλυβα και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ως συστατικά. Επομένως, σε κάθε περίπτωση η πλήρης ενσωμάτωση των σετ χαλύβων έχει σχεδιαστεί στα σχέδια των αντίστοιχων κλάσεων στήριξης έχοντας σχεδιάσει κατάλληλες προσαρμογές του πάχους των διαδοχικών στρωμάτων σκυροδέματος. Επιπλέον, πρέπει να διασφαλιστεί η πλήρης ενσωμάτωση στην κατασκευή, ρυθμίζοντας την τοποθέτηση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος έτσι ώστε οι σκιές ή τα κενά πίσω από τα σετ χάλυβα να αποφευχθούν πλήρως. Με βάση τα παραπάνω, οι δοκοί δικτύματος μπορούν να ενσωματωθούν καλύτερα στις βασικές επενδύσεις από σκυρόδεμα, αποφεύγοντας το σκιασμένο αποτέλεσμα, το οποίο είναι το πιο χαρακτηριστικό ελάττωμα στην κατασκευή των σετ χάλυβα. Η λειτουργία αυτών των τόξων μπορεί να προσομοιωθεί υποθέτοντας ότι αντιδρούν ως πρόσθετες ράβδοι οπλισμού στην πρωτογενή επένδυση σκυροδέματος ενάντια στην κάμψη της επένδυσης. Είναι ελαφριά και ως εκ τούτου πολύ πιο εύκολο στον χειρισμό, την εγκατάσταση και την ανέγερση σε σύγκριση με τα πολύ βαρύτερα σετ χάλυβα. Η εγκάρσια δοκός στο σχέδιο είναι του τύπου LG70 / 26/26 της κλάσης A, οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους διαμέσου διαγώνιων ράβδων διαστήματος (του B500c) έτσι ώστε να αποκτηθεί μια κατάλληλη δομή. Τα συγκεκριμένα στοιχεία έχουν πλεονεκτική λειτουργία καθώς επιτρέπουν την ελαχιστοποίηση του τοπικού λυγισμού της ασπίδας και εξασφαλίζουν επαρκή αντίσταση έναντι των

εφαρμοζόμενων τάσεων στεφανιού καθώς και των ροπών κάμψεως. Έτσι, μπορεί να επιτευχθεί μια ασφαλή μεταφορά φορτίου των εσωτερικών δυνάμεων από την αψίδα στην επένδυση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στα πρώιμα στάδια της κατασκευής («πράσινο» εκτοξευόμενο σκυρόδεμα). Σε γενικές γραμμές, οι δοκοί πλέγματος είναι βιομηχανικά προϊόντα που παρέχονται από διάφορους διανομείς στην ΕΕ. Είναι επίσης συνηθισμένη η πρακτική να προτείνονται οι προτεινόμενες αψίδες από τον σχεδιαστή με βάση την εμπειρία και την κρίση του. Είναι προφανές ότι οι δομικές απαιτήσεις για τις συγκεκριμένες καμάρες έχουν καθοριστεί από τον ορισμό της διαμέτρου των κύριων ράβδων και της απόστασης, με βάση την οποία μπορούν να συναχθούν εύκολα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της καμάρας (στιγμική αδράνεια). Επομένως, δεδομένου ότι οι αντίστοιχες καμάρες αποτελούν ένα τρισδιάστατο προϊόν, ο παραγωγός είναι υπεύθυνος να διασφαλίσει ότι το προϊόν είναι κατάλληλο και έτοιμο για ενσωμάτωση. Αυτό σημαίνει ότι η μεταφορά φορτίου είναι ενεργοποιημένη στις υποδοχές με τον ίδιο τρόπο όπως στην τυπική ενότητα. Επιπλέον, το σχήμα και η ακαμψία των διαγώνιων πρέπει να εξασφαλίζουν ότι καμία αποτυχία της αψίδας δεν θα οφείλεται σε αδύναμες διαγώνιες. Με αυτό τον τρόπο, το μήκος καθώς και η ποιότητα των συγκολλήσεων των διαγώνιων διαστήματος με τις κύριες ράβδους μπορούν επίσης να αποδειχθούν κρίσιμες στη συνολική αντίσταση της αψίδας. Οι καμάρες συνδέονται μεταξύ τους, κατά τη διαμήκη κατεύθυνση, υιοθετώντας κατάλληλους αποστάτες χαλύβδινων ράβδων Β500c, Φ16 σε διάμετρο, που τοποθετούνται σε διαφορετικά υψόμετρα. Κάθε φορά, το μήκος των αποστατών συμπίπτει με το μήκος γύρου. Από την άποψη της προσομοίωσης, υποτίθεται ότι αυτά τα αποστάτες επιτρέπουν την επιθυμητή μεταφορά φορτίου κατά τη διαμήκη κατεύθυνση. Παρατηρείται ότι ο Ανάδοχος θα πρέπει να διασφαλίσει την ακριβή τοποθέτηση και ανέγερση όπως υποδεικνύεται στα σχέδια, με τις κατάλληλες τοπογραφικές μεθόδους.

## 7.5 ΑΓΚΥΡΙΑ ΒΡΑΧΟΥ

Στις κατηγορίες υποστήριξης που έχουν σχεδιαστεί οι βολίδες έχουν καθοριστεί με κυμαινόμενο μήκος μεταξύ 3m και 9m χωρητικότητας κυμαινόμενο μεταξύ 200kN και 350kN. Χρησιμοποιούνται κυρίως φ25 β500c πλήρεις μπουλόνια. Θα χρησιμοποιηθούν ισοδύναμοι μπουλόνια αυτοεξόλλησης (κλάσεις υποστήριξης D, S2, V1, V2 & ΧΟ2) όταν αναμένονται δυσμενείς συνθήκες γεώτρησης, που σχετίζονται με την παρεμπόδιση των γεωτρήσεων. Οι προδιαγραφές Υλικών και Εργασιών σχετικά με τις εργασίες συγκόλλησης για τα υπόγεια τμήματα του έργου παρέχονται σ. Σημειώνεται ότι η εγκατάσταση βιδών σε υπόγεια έργα, σύμφωνα με τις αρχές του NATM, έχει ως στόχο:

- τον έλεγχο των επιδράσεων χαλάρωσης της βράχου που περιβάλλει την ανασκαφή.
- Δημιουργία περιμετρικής ζώνης αυξημένης συνοχής.
- Αντιμετώπιση ασυμμετρικών φορτίων στην κύρια επένδυση σκυροδέματος (λαμβάνοντας υπόψη ότι η σήραγγα ανασκάπτεται μέσω ανισότροπων υλικών).

Το σχέδιο τύπου και εγκατάστασης των βράχων πρέπει να εκτελείται αυστηρά σύμφωνα με τα σχετικά σχέδια. Δεν επιτρέπεται η χρήση βραχύτερων ή

ασθενέστερων βράχων λόγω έλλειψης υλικού. Η κρίσιμη παράμετρος των βιδών είναι η φέρουσα ικανότητα τους σε σχέση με το φορτίο που μπορεί να εκτελεστεί από το σύστημα μπουλονιών στο σύνολό του (αντοχή διατμήσεως των χαλύβδινων συνδέσεων, χαλύβδινη τάση, απόκριση πλάκας κεφαλής - παξιμάδι κ.λπ.). Αυτή η ικανότητα φέρουσας πρέπει να επαληθεύεται πριν από την έναρξη των υπόγειων έργων αλλά και κατά την εκσκαφή των τούνελ, διεξάγοντας κατάλληλες δοκιμές φορτίου σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές. Οι γεωτρήσεις για τις πλήρεις βίδες πρέπει να γεμίζονται προσεκτικά με ένα άκαμπτο κονίαμα τσιμέντου από τον πυθμένα της οπής στην επιφάνεια. Εάν το κονίαμα δεν είναι αρκετά σκληρό, θα ρέει έξω πριν τοποθετηθεί το μπουλόκι και επομένως ο μπουλόκι δεν θα επιτύχει την πλήρη χωρητικότητά του. Εάν το κονίαμα δεν είναι αρκετά σκληρό, η γεώτρηση γύρω από το μπουλόκι πρέπει να σφραγιστεί με αφρό ή οποιοδήποτε άλλο μέσο για να αποφευχθεί η ροή του κονιάματος. Το μείγμα της σύνθεσης του κονιάματος πρέπει να αποφασιστεί με βάση το όριο ροής του, περιορίζοντας έτσι σε οποιαδήποτε τάση του κονιάματος να ρέει από τις ανερχόμενες γεωτρήσεις. Εν τω μεταξύ, είναι κοινή πρακτική η χρήση ειδικού επιταχυνθέντος κονιάματος για μπουλόκια, το οποίο επιτρέπει πλήρη χωρητικότητα μετά από 12 ώρες ή και νωρίτερα. Η προδιαγραφή των προϊόντων που χρησιμοποιούνται πρέπει να παρέχεται από τον ανάδοχο. Πριν να σκληρυνθεί το κονίαμα, οι κοιλίες που ανοίγουν προς τα πάνω πρέπει να στερεωθούν με τη χρήση σφήνας ξύλου για να αποφευχθεί η ολίσθηση τους, με αποτέλεσμα την απώλεια φέρουσας ικανότητας. Μετά το σχετικό χρονικό διάστημα, το περικόχλιο του μπουλονιού πρέπει να σταθεροποιηθεί με χειροκίνητο κλειδί όσο το δυνατόν πιο σφιχτά για να αυξηθεί η αντίσταση διάτμησης μεταξύ πρωτογενούς υποστηρίγματος και βράχου. Το ελεύθερο άκρο του βράχου δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 20 cm, προκειμένου να αποφευχθεί τυχόν βλάβη του μπουλονιού που προκαλείται από τα βαριά μηχανήματα εκσκαφής. Εάν για οποιονδήποτε λόγο δεν είναι δυνατή η τοποθέτηση ενός μπουλονιού σε όλο το μήκος του, το υπόλοιπο ελεύθερο άκρο πρέπει να αποκοπεί. Συνιστάται να καθαρίζετε όλες τις πλάκες και τα περικόχλια από το σκυρόδεμα του τελευταίου στρώματος. Σε περίπτωση ενδεχόμενης υπερφόρτωσης, τα περικόχλια θα μπορούσαν να χαλαρώσουν για μερικά εκατοστά και η καταστροφή των πλακών και του εκτοξευόμενου σκυροδέματος μπορεί να αποφευχθεί το TCC. Πριν από την τοποθέτηση του τελικού επιπέδου (λείανσης) στρώματος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος για την προετοιμασία της επιφάνειας για την εγκατάσταση των στρωμάτων αποστράγγισης και στεγανοποίησης, όλα τα υπόλοιπα τμήματα των βιδών πρέπει να αποκόπτονται μέχρι το επίπεδο των παξιμαδιών χρησιμοποιώντας ηλεκτρικό ή πνευματικό τροχό για χαλύβδινα τεμάχια. Η χρήση οξυγόνου δεν επιτρέπεται να μην επηρεάζει την ποιότητα του χάλυβα λόγω της ανάπτυξης υψηλών θερμοκρασιών. Χρησιμοποιούνται επίσης βίδες Super Swellex (ή ισοδύναμα) για την αντιμετώπιση δομικών αστοχιών (δηλαδή σφηνών) στις καλύτερες συνθήκες μάζας βράχου. Η εφαρμογή τους συνδέεται γενικά με τη γρήγορη αντίδραση διπλής δράσης στήριξης με αγκύρωση + περιορισμό (που πραγματοποιείται με την επέκταση των διπλωμένων κοίλων βιδών Swellex όταν συμπιέζονται με νερό σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές εγκατάστασης). Λόγω αυτού του διπλού αποτελέσματος στήριξης, η πλήρης χωρητικότητά τους θα αποκτηθεί αμέσως μετά την ολοκλήρωση της εγκατάστασης. Οι βίδες βράχου με αυτοκόλλητη διάτρηση πρέπει να χρησιμοποιούνται για δυσμενείς συνθήκες υπόγειου περιβάλλοντος και όταν μπορεί να αναμένεται η συσχετισμένη παρεμπόδιση των γεωτρήσεων. Αυτός ο τύπος μπουλονιού είναι εφοδιασμένος με ένα τρυπάνι στο ένα άκρο και είναι

κατασκευασμένο από σωλήνες υψηλής αντοχής από χάλυβα. Ο βράχος βράχου ανοίγεται απευθείας στη γεώτρηση και στη συνέχεια υφίσταται "υπό πίεση", μέσω του σωλήνα μέχρι το άκρο της ράβδου και έξω από την οπή μέσω της γεώτρησης. Αυτά τα μπουλόνια χρησιμοποιούνται σε πολύ αδύναμους σχηματισμούς εδάφους και βράχου. Εάν το απαιτούμενο μήκος του μπουλονιού είναι μεγαλύτερο από τη διάμετρο της σήραγγας, πρέπει να χρησιμοποιούνται συζεύξεις για τη ρύθμιση του μήκους του μπουλονιού.

## 7.6 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΜΕΤΩΠΟΥ

Από τις σχετικές αναλύσεις αναγνωρίζεται η μεγάλη σημασία της σταθερότητας του ανασκαμμένου μετώπου, ειδικά στις χαμηλές περιοχές υπερφόρτωσης, όχι μόνο για την ασφάλεια του προσωπικού και του εξοπλισμού αλλά και για τη δομική σταθερότητα της σήραγγας. Οι αστάθειες μετώπου αναμένονται να προκαλούνται από το άγχος (ανάλογα με τη δύναμη του πυρήνα της μάζας βράχου μπροστά από το μέτωπο, σε σχέση με το πεδίο επαγόμενου στρες).

Τα κύρια μέτρα στήριξης μετώπου αποτελούνται από συνδυασμούς βλήτρων και βιδών από γυαλί, η ένταση των οποίων εξαρτάται από τις προβλεπόμενες συνθήκες. Συγκεκριμένα:

- Η τοποθέτηση σκυροδέματος ενισχυμένη με ίνες με πάχος που κυμαίνεται μεταξύ 5cm (υποστηρίζουν τάξεις B, C, D, V1, XP1, XP2, XO1 & XO2 συστηματικά και υποστηρίζουν την κλάση A εάν απαιτείται) σε πάχος 10cm (σε κατηγορίες υποστήριξης S1, V2).
- Εγκαταστήστε ρολόκολλα από fiberglass μήκους 12m, χωρητικότητας 250kN. Αυτό έχει οριστεί ως προαιρετικό για τις κατηγορίες υποστήριξης B, C, D & V1 και υποχρεωτικό για τις κατηγορίες υποστήριξης S1, S2 & V2.
- Δεν θα εμποδιστεί η ανασκαφή του βράχου με σωστές διαστάσεις ώστε να μην εμποδίζεται η τοποθέτηση των μέτρων στήριξης όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο μετώπου (τάξεις υποστήριξης S1, S2 & V2). Ελαφρώς κεκλιμένη εκσκαφή προσόψεως έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ένα απλοποιημένο στήριγμα βράχου (στις υπόλοιπες κλάσεις υποστήριξης). Γενικά, πρέπει πάντα να αποφεύγεται αυστηρά το κοίλο σχήμα του μετώπου προς την κατεύθυνση της κίνησης. Τα προαναφερθέντα μέτρα περιγράφονται λεπτομερώς στα αντίστοιχα κατασκευαστικά σχέδια.

Είναι προφανές ότι σε περιθωριακές περιπτώσεις από την άποψη της σταθερότητας του μετώπου η κατασκευή ενός προσωρινού αναστροφέα στην κύρια επένδυση στηρίξεως της κορυφαίας κεφαλής όχι μόνο βελτιώνει τις συνθήκες θεμελίωσης του κύριου κελύφους στήριξης αλλά και βελτιώνει τις συνθήκες σταθερότητας του μετώπου. Ωστόσο, για πρακτικούς λόγους η κατασκευή ενός τέτοιου αναστροφέα δεν μπορεί να είναι πιο κοντά στο πρόσωπο παρά σε τρία στάδια εκσκαφής (X-2, X-3, X-Ως εκ τούτου, η βελτίωση των συνθηκών σταθερότητας μπροστά από το μέτωπο αποδεικνύεται πιο αποδοτική και οικονομικότερη. Είναι προφανές ότι η εγκατάσταση

μέτρων ενίσχυσης οροφής που κυμαίνονται από τη διάχυση στην πρόσοψη ανάλογα με την κατηγορία στήριξης μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως μέτρα που αποσκοπούν στην προστασία γενικών και σοβαρών αστάθμητων οροφών / προσώπων. Η επικάλυψη των βιδών γυαλιού πρέπει να είναι 4 μέτρα. Τονίζεται ότι πρέπει να εγκατασταθούν σε διαφορετική αλυσίδα από εκείνη που εγκαθίσταται η ομπρέλα σωλήνα οροφής. Η ικανότητα ολόκληρου του συστήματος και επομένως ο απαιτούμενος αριθμός των βιδών από ίνες υαλοβάμβακα καθώς και των ενισχυτικών στοιχείων στέγης (πρόδρομοι, στύλοι) μπορεί να προσδιοριστεί με κατάλληλους κατά προσέγγιση δομικούς υπολογισμούς που βασίζονται σε απλά μοντέλα αναλυτικής οριακής ισορροπίας. Σε περίπτωση που προβλέπονται μακρύτερες παύσεις της ανασκαφής από τα συνηθισμένα (Σαββατοκύριακα, διακοπές κ.λπ.) το πάχος του εκτοξευόμενου προσώπου καθώς και το υπόλοιπο πρόσωπο πρέπει να αυξηθούν τα μέτρα υποστήριξης, η ένταση των οποίων πρέπει να αποφασιστεί οριστικά σε συνεργασία με του σχεδιαστή.

## 7.7 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΟΡΟΦΗΣ (SPILES)

Η τοποθέτηση πτερυγίων ή προεντεταμένων σε συνδυασμό με τις βίδες τύπου fiberglass συμβάλλουν στη σταθερότητα της όψης της σήραγγας. Η εμπειρία έχει δείξει ότι η εγκατάσταση των προαναφερθέντων στοιχείων όχι μόνο συμβάλλει στον έλεγχο της χαλάρωσης και της μείωσης των ζωνών απόδοσης που βρίσκονται μπροστά στην επιφάνεια της ανασκαφής, αλλά και στη μείωση των οικισμών του πρωτογενούς κελύφους (με την αύξηση της απομόνωσης και την αντιμετώπιση της «καμινάδας» τύπου αποτυχίες) σε περίπτωση σήραγγας σε ρηχές υπερφορτώσεις. Οι αναπτυσσόμενες τάσεις κάτω από μια ομπρέλα μπροστά εξαρτώνται κυρίως από της αντοχής διάτμησης του προσώπου της σήραγγας και των χαρακτηριστικών παραμόρφωσης. Επιπλέον, αυτές οι τάσεις συνδέονται με το μήκος γύρου καθώς και τις συνθήκες θεμελίωσης. Αυτά μπορεί να μειωθούν αυξάνοντας είτε τον αριθμό των σωλήνων είτε και τα στοιχεία ενίσχυσης του προσώπου. Με την τοποθέτηση επαρκούς ενίσχυσης του προσώπου, λόγω των βιδών από γυαλί, η αντοχή του προσώπου βελτιώνεται, οδηγώντας έτσι σε οικονομικές απαιτήσεις σχεδίασης για τα ενισχυτικά στοιχεία οροφής (λόγω των μειωμένων φορτίων που μεταφέρονται από την ομπρέλα της πρόσοψης). Επί του χρόνου η προσωρινή αντίστροφη κατασκευή συμβάλλει στον περιορισμό των αναμενόμενων μετατοπίσεων για το κύριο περίβλημα υποστήριξης. Η εγκατάσταση των σωληνώσεων πρέπει να εφαρμοστεί πίσω και σε επαφή με τις ήδη εγκατεστημένες ασίδες του χάλυβα. Μία περιοχή αυξημένης χωρητικότητας που μπορεί να μεταφέρει κατά μήκος τα φορτία πάνω από το θάλαμο παράγεται λόγω επαρκούς αλληλεπικάλυψης των σωληνώσεων. Είναι απαραίτητο οι ράβδοι (ράβδοι ή σωλήνες) να είναι γεμάτοι. Για την επιτάχυνση της διαδικασίας ρύθμισης για το ενέματα σε τουλάχιστον δύο ώρες μετά την ολοκλήρωση, το ενέματα πρέπει να περιέχουν ένα επιταχυντή. Για τους σκοπούς του σχεδιασμού, ομπρέλα πρόσοψης (Φ114 / St37,  $t = 6,3\text{mm}$ , πάχος) μήκους 12m (επικάλυψη 4m) σχεδιάζονται για τις απαιτήσεις ενίσχυσης στέγης των κατηγοριών υποστήριξης S1 & V2. Επιπλέον, η ομπρέλα της πρόσοψης (Φ159 / St37,  $t = 6,3\text{mm}$ , πάχος) μήκους 12m (επικάλυψη 4m) σχεδιάζεται για τις απαιτήσεις ενίσχυσης στέγης της κλάσης υποστήριξης S2. Επιπλέον, έχουν κατασκευαστεί ως προαιρετικά ή υποχρεωτικά μέτρα στήριξης για τις κλάσεις στήριξης A, B, C ή χαλύβδινους σωλήνες

(Φ51 / 41, St37) μήκους 6,00m ή αλλιώς από χαλύβδινες ράβδους (Φ25 ~ Φ32 / B500c) μήκους 6,00m , D, V1, XP2, X01 και X02.

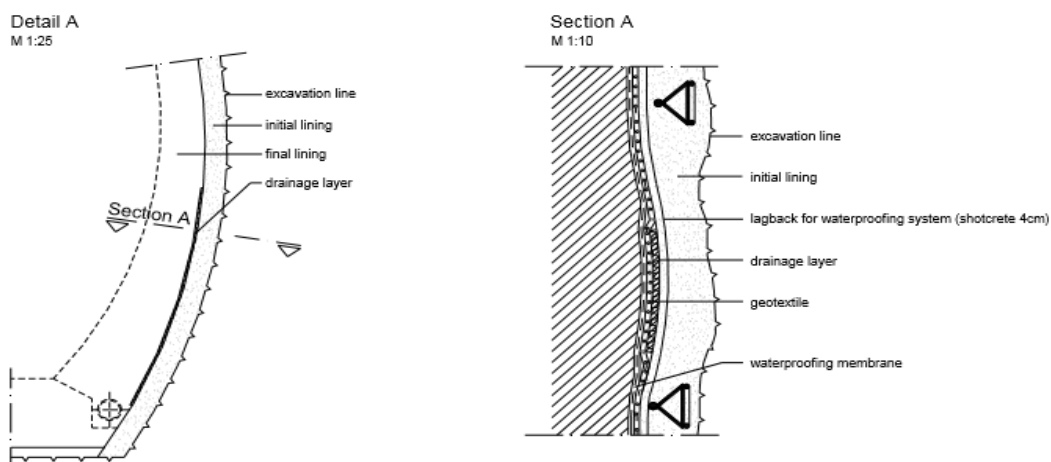
## 7.8 ΜΕΤΡΑ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ

Παρά το γεγονός ότι δεν αναμένεται κρίσιμη εισροή νερού στη σήραγγα κατά τη διάρκεια των υπόγειων ανασκαφών, λαμβάνονται υπόψη τα κανονικά μέτρα αποστράγγισης στο σχεδιασμό. Για να αποφύγετε οποιαδήποτε αύξηση της πίεσης του νερού στην κύρια επένδυση, οι οπές αποστράγγισης πρέπει να εκτελούνται σύμφωνα με τα σχέδια κατασκευής. Το βάθος και η διάταξη των οπών αποστράγγισης πρέπει να επιλέγονται ανάλογα με την τοπική κατάσταση και τις παρατηρούμενες εισροές ύδατος ή το επίπεδο κορεσμού του εδάφους που περιβάλλει τη σήραγγα. Οι προδιαγραφές Υλικών και Εργασιών σχετικά με τις εργασίες αφυδάτωσης και αποστράγγισης για τα υπόγεια τμήματα του έργου παρέχονται στο TCC. Γενικά, για την αφυδάτωση πρέπει να διαφέρουν δύο τύποι μέτρων:

- Αφυδάτωση της περιβαλλόμενης μάζας εδάφους εκ των προτέρων στην εκσκαφή της σήραγγας προκειμένου να αυξηθεί η σταθερότητα της μάζας εδάφους.
- Αφυδάτωση στο εσωτερικό της σήραγγας του νερού που διέρχεται από την αρχική επένδυση ή από το πρόσωπο

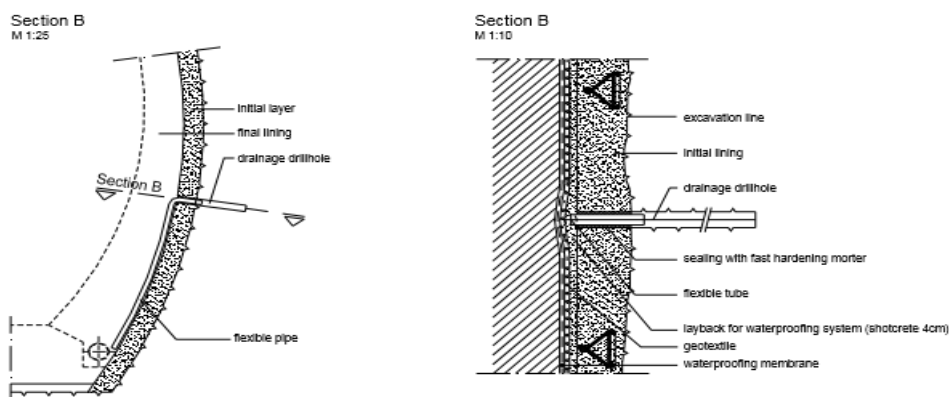
Τα σχέδια αποστράγγισης, που παρουσιάζονται στα σχέδια, θα πρέπει να προσαρμόζονται αναλόγως στις επικρατούσες υπόγειες συνθήκες με διάτρηση είτε μακρύτερων μικρότερων οπών σε πιο κοντινά ή μακρύτερα μοτίβα. Επιπλέον, οι οπές αποστράγγισης πρέπει να εκτελούνται συνεχώς μέσω του προσώπου σύμφωνα με την πραγματική κατάσταση. Στο αντίστοιχο σχέδιο κατασκευής, έχει ετοιμαστεί μια ελάχιστη ποσότητα οπών αποστράγγισης που αντιστοιχεί σε ένα τυπικό βασικό σχέδιο αποστράγγισης που αντανάκλαται από έναν καθορισμένο αριθμό οπών (μήκους 4,00 m), που απέχουν κάθε 3 γύρους στην κορυφή της κεφαλίδας, συμπεριλαμβανομένων όλων των απαιτούμενων λεπτομερειών για κατασκευή. Σε περίπτωση που απαιτείται στις οπές αποστράγγισης που τοποθετούνται στην περίμετρο της διατομής της σήραγγας, στην εξωτερική πλευρά του διάτρητου σωλήνα, ενδείκνυται ένα γεωυφάνιο αποστράγγισης, προκειμένου να παρουσιαστεί πιθανή παρεμπόδιση της λειτουργίας τους. Οι οπές αποστράγγισης πρέπει να προστατεύονται κατά την τοποθέτηση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος και να αποκαθίστανται μετά. Σε περίπτωση που οι οπές αποστράγγισης δεν μπορούν να εγκατασταθούν κάθετα στη μάζα του πετρώματος / εδάφους, μπορεί να εγκατασταθούν με την κλίση των στοιχείων σπειροειδούς. Σε αυτή την περίπτωση το μήκος τους αυξάνεται στα 15 μέτρα και πρέπει να εγκατασταθούν κάθε 6 μέτρα. Επιπλέον, οι οπές αποστράγγισης πρέπει να εκτελούνται συνεχώς μέσω του προσώπου σύμφωνα με την πραγματική κατάσταση. Επομένως, το μήκος αυτών των κεκλιμένων επιφανειών πρέπει να είναι 20 μέτρα με επικάλυψη 10 μέτρων. Σε

κάθε περίπτωση συνιστάται η διάτρηση των οπών αποστράγγισης να αποτελεί προϋπόθεση για την επίτευξη σταθερότητας. Μια ακριβής γεωμετρική εκτέλεση της προσωρινής αντιστροφής γεωμετρίας είναι απαραίτητη για τη συλλογή όλων των εισερχόμενων υδάτων στη μέση του αναστροφέα. Το υγρό υλικό στο αναστροφο που έχει χάσει τη συνοχή ή την ευρωστία του πρέπει πάντα να ανασκάπτεται και να αντικαθίσταται με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ή σε περίπτωση βαθύτερων ανασκαφών από αμμώδη χαλίκια ποταμών / ρευμάτων προέλευσης θρυμματισμένων αδρανών (απαραίτητη συμπίκνωση), η οποία πρέπει να παρέχει την ελεύθερη αποστράγγιση υλικού υπό συνθήκες αντίστροφης διαμήκους κλίσης. Πριν από την εκκίνηση του εκτοξευτήρα σε προσωρινή αναστροφή, πρέπει να αντληθεί όλο το νερό. Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, το πλέγμα οπών αποστράγγισης αναφέρεται σε μοντέλο προσομοίωσης και λόγω του γεγονότος αυτού είναι προφανές ότι το πλέγμα των οπών αποστράγγισης, το μήκος τους και η γενική διάταξη πρέπει να ρυθμίζονται σύμφωνα με τις in situ συνθήκες. Ένας σωλήνας από διάτρητο PVC πρέπει να τοποθετηθεί στις οπές αποστράγγισης. Αν το χώμα σαν υλικό ξεπλένεται μέσα από τις γεωτρήσεις, πρέπει να εγκατασταθούν φίλτρα γεωύφασμα για να αποφευχθούν οι απώλειες του εδάφους και η δημιουργία μικροτόπων στη γύρω. Ειδικά μέτρα για μεγάλη εισροή νερού. Για τομές σήραγγας με έντονη τοπική εισροή νερού, το προαναφερόμενο κανονικό σύστημα μπορεί να συμπληρωθεί με τις περιβάλλουσες συνθήκες, εγκαθιστώντας πρόσθετες ταινίες αποστράγγισης μεταξύ του γεωυφάσματος του συστήματος στεγανοποίησης και της επιφάνειας της αρχικής επένδυσης.



Εικόνα : Πρόσθετα μέτρα αφυδάτωσης για υψηλή εισροή νερού, ρίγες αποστράγγισης





Εικόνα : Επιπρόσθετα μέτρα αφυδάτωσης για μεγάλη εισροή ύδατος, γεώτρηση

Το πλάτος και η αμοιβαία απόσταση των λωρίδων αποστράγγισης εξαρτάται από τον απαιτούμενο όγκο αποστράγγισης και τον τύπο των χρησιμοποιούμενων υλικών. Εκτός από τα κανονικά μέτρα αφυδάτωσης στην κορυφή, η τοποθέτηση οπών διάτρησης στα πλευρικά τοιχώματα μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να συλλέγει τοπική εισροή νερού.

### 7.9 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ

Ο ορισμός της γραμμής ελάχιστης εκσκαφής αναφέρεται σε μια συνεχή καμπύλη γραμμική γεωμετρικά προσδιορισμένη ως αντιστάθμισμα των εξόδων της τελικής επένδυσης, η οποία στοχεύει να στεγάσει τους τρεις χαρακτηριστικούς χώρους του απαιτούμενου χώρου για τις υπόγειες ανασκαφές:

- απαιτούμενος χώρος για την εγκατάσταση (d1),
- χώρος που επιτρέπεται για τη σύγκλιση και τις κατασκευαστικές ανοχές (d2),
- δομικό πάχος της τελικής επένδυσης (d3).

Είναι προφανές ότι οι απαιτήσεις για τους προαναφερθέντες χώρους διαφέρουν μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών υποστήριξης, ανάλογα με τις βασικές και τελικές απαιτήσεις υποστήριξης και τις υποθέσεις, καθώς και την εκτιμώμενη υπογείωση και τις υποθέσεις σχεδιασμού των επιπέδων επιτρεπτών συγκλίσεων παραμόρφωσης. Ο παραπάνω ορισμός των χαρακτηριστικών γραμμών για την κατασκευή της σήραγγας παρέχεται σε κάθε εκσκαφή και σχέδιο στήριξης.

## 7.10 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΚΣΚΑΦΗ ΜΕΤΩΠΟΥ

Η αξιολόγηση για τον γεωτεχνικό σχεδιασμό και την εκπόνηση των τάξεων εκσκαφής και στήριξης για την αρχική επένδυση βασίστηκε στην υπόθεση ότι επικρατούν ομοιογενείς συνθήκες μάζας βράχου σε καθορισμένες εκτάσεις σήραγγας και στη γύρω μάζα της περιοχής της σήραγγας. Αυτή η ομοιογένεια αναφέρεται στα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά καθώς και στην αναμενόμενη συμπεριφορά βαρύτητας βράχου κάτω από το ίδιο περιβάλλον. Οι πιθανοί γεωλογικοί σχηματισμοί που αναμένονται στο πρόσωπο της σήραγγας είναι σχηματισμοί που γενικά η ιδιαίτερη παρουσία και το εύρος τους, δημιουργούν γεωμετρικούς και γεωμηχανικούς περιορισμούς που απαιτούν την ανάπτυξη σύνθετων ανασκαφών και προσωρινών τάξεων υποστήριξης. Από τις οπές διάτρησης των βράχων, των οπών αποστράγγισης, των βιδών από ίνες υάλου, των ράβδων και σε συνδυασμό με την τεχνική έκθεση πρέπει πάντα να σχηματίζεται αντιπροσωπευτική αξιολόγηση που αντιστοιχεί στους γεωλογικούς σχηματισμούς που περιβάλλουν τη διατομή των σηράγγων και μπροστά από το πρόσωπο της σήραγγας. Παρ' όλα αυτά, είναι συνηθισμένο να ασχοληθούμε με τις κινήσεις της σήραγγας μέσω υπόγειων συνθηκών που σχετίζονται με τεκτονικά διαταραγμένες ζώνες ή / και σχηματισμούς συχνής εγγενούς μεταβλητότητας, όπου πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι μικτές συνθήκες προσώπου. Παρόλο που τα κύρια τμήματα των τεντωμάτων της σήραγγας θα ανασκαφούν σε περισσότερο ή λιγότερο ομοιογενείς συνθήκες με μηχανικές μεθόδους, μπορεί να χρειαστεί να ανασκαφούν αρκετά τμήματα με τεχνικές ανασκαφής μικτής όψης. Σε τέτοιες περιπτώσεις, επίσης, η απόφαση για την κατάλληλη αίτηση τάξης υποστήριξης καθίσταται περίπλοκο καθήκον, δεδομένου ότι υπό ορισμένες περιστάσεις το γεωμηχανικά ασθενέστερο συστατικό της ανασκαφισμένης διατομής μπορεί να επηρεάσει τη συνολική σταθερότητα. Η πιθανή παρουσία των προαναφερθέντων αδύναμων σχηματισμών καθώς και οι γεωλογικοί σχηματισμοί που παρέχονται από την Γεωτεχνική Αξιολόγηση με χαμηλότερες τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων αντιμετωπίζει η εφαρμογή των ακόλουθων ειδικών κατευθυντήριων γραμμών:

- Πρέπει να γίνει μια αξιολόγηση προκειμένου να εξακριβωθεί εάν η γεωμηχανική συμπεριφορά του ασθενούς σχηματισμού είναι κρίσιμη από γεωτεχνική άποψη (όσον αφορά την ανθεκτικότητα, την ανταπόκριση και την αποτελεσματικότητα της εκσκαφής και της προσωρινής τάξης στήριξης που εφαρμόζονται σε κάθε περίπτωση).
- Η ακριβής θέση στην οποία εμφανίζεται ο ασθενής σχηματισμός είναι μεγάλης σημασίας. Υπάρχουν βασικά τέσσερα (4) κύρια τμήματα στην διατομή των σηράγγων στα οποία η πιθανή ύπαρξη ενός απρόβλεπτου αδύναμου σχηματισμού θα μπορούσε να δημιουργήσει μείζονα προβλήματα. Πρόκειται κυρίως για:
  - a. Την περιοχή της κορώνας της σήραγγας.
  - b. Η περιοχή του προσώπου της σήραγγας.
  - c. Το θεμέλιο της σήραγγας.
  - d. Η διατομή ολόκληρης της σήραγγας.

Εάν τελικά καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η γεωμηχανική συμπεριφορά του ασθενούς σχηματισμού είναι κρίσιμη για τη δομική απόκριση του κύριου κελύφους της σήραγγας, μπορούν να εφαρμοστούν δύο διαφορετικοί τύποι μέτρων στήριξης και αφορούν τα ακόλουθα:

- Σε περίπτωση που η γεωμηχανική συμπεριφορά του αδύναμου σχηματισμού είναι πολύ κρίσιμη: Πρέπει να εφαρμοστεί μια "πιο βαριά" (από την άποψη της υποστήριξης μέτρα) εκσκαφή και προσωρινή κατηγορία υποστήριξης. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να γίνει η τάξη αμέσως βαρύτερη από την εφαρμοζόμενη.
- Σε περίπτωση που η γεωμηχανική συμπεριφορά του ασθενούς σχηματισμού είναι κρίσιμη, συνιστάται η σταδιακή ή μερική εφαρμογή των ακόλουθων μέτρων:
  - a. Μείωση του στρογγυλού μήκους.
  - b. Αύξηση του στατικού
  - c. Το πλέγμα των πτερυγίων από ίνες γυαλιού σε τοπικό επίπεδο.
  - d. Εφαρμογή μικροπλάκων.
  - e. Εφαρμογή βαρύτερων διαρρών ή παρεμβολών.
  - f. Πλέγμα αποστράγγισης αποχετεύσεων και οπών ανακούφισης.
  - g. Αύξηση του συνολικού μήκους των οπών αποστράγγισης.
  - h. Η απόσταση των πυροκροτητών από τα χαλύβδινα σύνολα.
  - i. Πρόσθετη βράχυνση βράχου στη στεφάνη της σήραγγας για την υποστήριξη των σετ χάλυβα.
  - j. Εφαρμογή τεχνικών βελτίωσης εδάφους (γεμίσματος κλπ.). Στην περίπτωση αυτή πρέπει να ληφθεί υπόψη η κατανομή μεγέθους σωματιδίων του γεωλογικού σχηματισμού, προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι η κονίαμα θα είναι σε θέση να παράσχει την απαραίτητη υποστήριξη σε κάθε περίπτωση.

Σε τέτοιες περιπτώσεις, τα μέτρα υποστήριξης που πρόκειται να εφαρμοστούν καθορίζονται ανάλογα με τον τύπο των συγκεκριμένων σχηματισμών και την αξιολόγηση που γίνεται υπεύθυνα επί τόπου. Η επί τόπου επίσημη αναγνώριση της γεωμηχανικής συμπεριφοράς του ασθενούς σχηματισμού έχει μεγάλη σημασία και είναι επίσης κρίσιμη για την κανονική διαδικασία κατασκευής και τον περιορισμό των επιφανειακών οικισμών. Απαιτεί την ικανότητα να παρέχει μια κατάλληλη επιστημονική και τεχνική αξιολόγηση των γεωτεχνικών συνθηκών που επικρατούν σε κάθε περίπτωση, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι η εφαρμογή των κύριων / σύνθετων / μεταβατικών ανασκαφικών και προσωρινών κατηγοριών υποστήριξης που αναφέρονται στην παρούσα τεχνική έκθεση, είναι η κατάλληλη και απαραίτητη απόφαση για την εκπλήρωση των απαιτήσεων δομής και ασφάλειας του έργου.

## 7.11 ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΡΑΒΔΩΝ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Η συμπεριφορά του υπόγειου ανοίγματος, οι προβλεπόμενες συνθήκες σταθερότητας και η αντίδραση της μη υποστηριζόμενης σήραγγας καθορίζονται όχι μόνο από τις γεωλογικές, υδρογεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες βροχοπτώσεων σε κάθε επιφάνεια εκσκαφής, αλλά και από τις συνθήκες μάζας βράχου μπροστά και πίσω από την τρέχουσα αλυσίδα (κατά τη διαμήκη κατεύθυνση). Στο πλαίσιο αυτό, είναι σαφές ότι η λήψη αποφάσεων για την κατάλληλη ανασκαφή - πρωτοβάθμια κατηγορία στήριξης πρέπει να λαμβάνει σοβαρά υπόψη τις γεωμηχανικές συνθήκες και την αντίδραση των ήδη εγκατεστημένων μέτρων στήριξης στα τμήματα σήραγγας που είχαν προηγουμένως ανασκαφεί (για μήκος τουλάχιστον μία σήραγγα διαμέτρου πίσω).

Σε περιπτώσεις που από την πραγματοποιημένη γεωλογική χαρτογράφηση προκύπτει ότι οι υπόγειες συνθήκες εκσκαφής θα βελτιωθούν σε σύγκριση με εκείνες που παρατηρήθηκαν στην προηγούμενη έκταση της σήραγγας, τα μέτρα υποστήριξης και η μεθοδολογία ανασκαφής που θα υιοθετηθεί θα είναι το πλάτους του εκτοξευόμενου σκυροδέματος έως και 15 εκατοστών στο πρόσωπο της σήραγγας. Το ίδιο με εκείνα στο ήδη οδηγούμενο τμήμα της σήραγγας, δηλαδή μέσω των γεωυλικών κατώτερης ποιότητας. Αυτή η κρίσιμη απαίτηση έχει ως στόχο:

- Την ομαλή μετάβαση και την ασφαλή προσαρμογή των υπόγειων ανασκαφών και πρωτογενών υποστηρικτικών εργασιών στη νέα γεωλογία, στους επόμενους γύρους ανασκαφής.
- Αποφυγή του κινδύνου προσωρινής και σύντομης βελτίωσης των υπόγειων συνθηκών λόγω διαδοχικών ζωνών τεκτονικής διαταραχής, βλαβών κλπ.
- Απόκτηση ομαλής μετάβασης στις πιέσεις στήριξης που παρέχονται από το χρησιμοποιούμενο σύστημα στήριξης στις μεταβατικές ζώνες - όρια μεταξύ δύο διαδοχικές τάξεις υποστήριξης.
- Αντιμετώπιση τυχόν υπερβολικής πίεσης του υιοθετημένου συστήματος στήριξης, από την τρισδιάστατη επίδραση της προηγούμενης, ασθενέστερης ζώνης.

Με βάση τα προαναφερθέντα, στις μεταβατικές ζώνες μεταξύ διαδοχικών τμημάτων σήραγγας, που σχετίζονται με σημαντικά διαφορετικές μάζες των βράχων (και φυσικά αντιστοιχούν σε διαφορετικές τάξεις στήριξης), όταν αναμένεται βελτίωση των συνθηκών μάζας του βράχου, τα υιοθετηθέντα μέτρα στήριξης θα συμπίπτουν με το (που σχετίζονται με τις κατώτερες γεωμηχανικές συνθήκες). Αυτές οι μεταβατικές ζώνες πρέπει να εφαρμόζονται για μήκος τούνελ που προσεγγίζει όχι μικρότερη από μία διάμετρο σήραγγας. Ακολουθώντας, υπό την προϋπόθεση ότι οι συνθήκες μάζας βράχου που ήδη συναντώνται στη λεγόμενη μεταβατική ζώνη είναι επίσης ευνοϊκές, τότε πρέπει να αποφασιστεί μια ελαφρύτερη κλάση υποστήριξης, που θα ταιριάζει με τις συνθήκες μάζας βράχου που έχουν χαρτογραφηθεί στην επιφάνεια εκσκαφής. Δηλώνεται ότι η έννοια των μεταβατικών ζωνών δεν αναφέρεται με κανένα τρόπο στην απότομη ή σταδιακή επιδείνωση των υπόγειων συνθηκών που έχουν χαρτογραφηθεί, σε αντίθεση με εκείνες στο προηγουμένως ανασκαμμένο μήκος της

σήραγγας. Στις περιπτώσεις αυτές, τα μέτρα στήριξης πρέπει να αποφασίζονται σύμφωνα με τα ήδη καθορισμένα κριτήρια εφαρμογής για τις κατηγορίες υποστήριξης.

## 7.12 ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΜΕΤΡΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

Μία από τις αρχές του NATM είναι ότι τα εξεταζόμενα μέτρα στήριξης πρέπει να παρέχουν επαρκή ευελιξία κατά τη διάρκεια της κατασκευής ώστε να επιτρέπουν την προσαρμογή λόγω των πραγματικών συνθηκών κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκσκαφής. Αυτή η αρχή πρέπει να ακολουθείται από συνεχή παρακολούθηση της περιβάλλουσας βράχου και από την εκτίμηση των παραμορφώσεων και των τάσεων της δομής της σήραγγας που στηρίζεται. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να είναι πρακτικό να προσαρμόζονται ελαφρώς τα σχεδιασμένα μέτρα εκσκαφής και στήριξης λόγω των συνθηκών υπόγειων συνθηκών.

Η ευελιξία αυτής της κατασκευαστικής αρχής αντικατοπτρίζεται σε ορισμένα από τα παρεχόμενα μέτρα στήριξης. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η εφαρμογή μέτρων στήριξης όπως οι σπίντοι, οι βράχοι βράχου, η απαιτείται". Η τελική απόφαση σχετικά με την επιλογή του μέτρου υποστήριξης πρέπει να ληφθεί επί τόπου κατά τη διάρκεια της κατασκευής από τα εμπλεκόμενα μέρη, τους εργολάβους, την ομάδα σχεδιαστών και τον ανεξάρτητο μηχανικό. Εκτός από τις σχεδιασμένες κατηγορίες στήριξης, μπορεί να ληφθεί υπόψη η εφαρμογή περαιτέρω μέτρων υποστήριξης (π.χ. βλήτρες προσώπου, πόδι ελέφαντα κλπ.), ώστε να καταστεί δυνατή η αποτελεσματική και ασφαλής απόδοση των σηράγγων.

## 7.13 ΘΕΣΕΙΣ

Απαιτούνται πρόσθετα μέτρα στήριξης για την ανασκαφή των κόγχων που παρουσιάζονται στα σχετικά σχέδια που συνοδεύουν την παρούσα μελέτη. Σημειώνεται ότι τα προαναφερθέντα μέτρα στήριξης έχουν εφαρμοστεί επιτυχώς σε κόγχες παρόμοιων διαστάσεων για σήραγγες της ίδιας διατομής και των ίδιων φορτίων και γεωτεχνικών συνθηκών.

Η γεωμετρική διάταξη των θυρών έκτακτης ανάγκης και αποστράγγισης είναι αυτή που παρουσιάζεται στην εγκριθείσα Προμελέτη. Συγκεκριμένα,

- Κόγχες έκτακτης ανάγκης κάθε 50 μέτρα, μήκος διαστάσεων x ύψος x βάθος = περίπου 3.40m x 2.50m x 0.50m.
- Αποχέτευση κάθε 75 μέτρα, μήκος διαστάσεων x ύψος x βάθος = περίπου 1,30m x 2,50m x 0,70m. Οι κόγχες αποστράγγισης τοποθετούνται κάθε 75 μέτρα αφού ο

σωλήνας αποχέτευσης έχει διάμετρο Ø200 αντί για Ø160 που αναφέρεται στο άρθρο 80.9.4 του ΤCC. Η απόσταση 75m μεταξύ των αποχετευτικών θυρών θεωρείται επαρκής, αφού ο σωλήνας αποστράγγισης έχει μεγαλύτερη διάμετρο από τις προδιαγραφές του ΤCC.

Σημειώνεται ότι οι αλυσίδες των θυρών έκτακτης ανάγκης και αποστράγγισης θα ολοκληρωθούν σωστά σύμφωνα με τον εγκεκριμένο σχεδιασμό Ε / Μ και τις αντίστοιχες υδραυλικές διευθετήσεις της σήραγγας.

Είναι κοινή πρακτική η εκσκαφή των κόγχων να πραγματοποιηθεί σε μεταγενέστερο στάδιο, όταν έχει ολοκληρωθεί η εκσκαφή της κύριας σήραγγας. Η ανακατανομή του στρες λόγω της ανασκαφής των κόγχων, λόγω των σχετικά μικρών διαστάσεων τους, λαμβάνει χώρα τοπικά. Αυτή η ανακατανομή πραγματοποιείται από το τοπικό πάχος του κελύφους στη συγκεκριμένη περιοχή και τις διαμήκεις ενισχυτικές ράβδους, καθώς και από τις πρόσθετες ράβδους στήριξης που εφαρμόζονται. Εφαρμόζοντας ένα παχύτερο από χάλυβα ενισχυμένο κέλυφος από σκυρόδεμα δημιουργείται ουσιαστικά μια δοκός.

Τα ακόλουθα πρέπει να σημειωθούν κατά την ανασκαφή των κόγχων: στήριξη προσώπου από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κ.λπ. περιγράφονται ως "εάν

1. Η κατασκευή των κόγχων πραγματοποιείται πάντοτε με κατεύθυνση προς τα κάτω, με σημείο εκκίνησης από την απεικονιζόμενη στάθμη.
2. Η πλήρης αποκατάσταση των προβλεπόμενων πρωτογενών μέτρων στήριξης σύμφωνα με την κατηγορία υποστήριξης θα πραγματοποιείται σε ολόκληρη την πλευρική περιοχή της θέσης, με προσεκτική παρακολούθηση κατά την εκσκαφή της εξειδικευμένης θέσης κατά την κατασκευή κάθε ξεχωριστής θέσης.
3. Όλοι οι κατεδαφισμένοι βράχοι θα αντικατασταθούν από νέους, σύμφωνα με τα σχετικά σχέδια, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται τουλάχιστον η αρχική πυκνότητα των βράχων ανά κατηγορία στήριξης σε ολόκληρη την πλευρική περιοχή της θέσης, κατά την κατασκευή κάθε ατόμου κόγχη.
4. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί κατά την κατεδάφιση των χαλύβδινων συνόλων στις υπάρχουσες περιοχές σύνδεσης.
5. Σύμφωνα με τις επιτόπιες συνθήκες μπορεί να απαιτηθεί η εκ νέου διάνοιξη των αποστραγγιστικών και ανακουφιστικών οπών στην περιοχή των κόγχων.
6. Η κατεδάφιση του κελύφους εκτοξευόμενου σκυροδέματος θα πρέπει να εκτελείται αυστηρά και με την μέγιστη τεχνική προσοχή και πληρότητα, ώστε να ελαχιστοποιείται η τυχόν διαταραχή και αποσύνθεση της γύρω βράχου στην περιοχή των κόγχων.

#### 7.14 ΔΙΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

Λόγω της περίπλοκης κατασκευής κατά μήκος της σήραγγας και των αναμενόμενων μεταβολών της συμπεριφοράς της βράχου, σύμφωνα με τις γεωτεχνικές ιδιότητες των σχηματισμών, προτείνονται γεωτρήσεις για να επαληθευτούν οι συνθήκες μάζας βράχου μπροστά από την επιφάνεια εκσκαφής. Η διάτρηση των ανιχνευτών πρέπει να εκτελείται για τον προσδιορισμό ζωνών σχηματισμών χαμηλών γεωτεχνικών παραμέτρων, μη συστηματικά αλλά σύμφωνα με τις in situ συνθήκες. Με την εκτέλεση της γεώτρησης με καθετήρα κατά τη διάρκεια της εκσκαφής της σήραγγας, είναι εφικτή η έγκαιρη αναγνώριση πιθανών προβληματικών ζωνών και ο προσδιορισμός της κατάλληλης κατηγορίας υποστήριξης. Σε γενικές γραμμές, σε περίπτωση που απαιτηθεί διάτρηση ανιχνευτή, συνιστάται να εκτελούνται δύο τρυπάνια στο μέσο ύψος του πάγκου, χωρίς δειγματοληψία πυρήνα, μήκους 20-30m το καθένα. Η επικάλυψη στην περιοχή του 30% θα πρέπει να διατηρηθεί, ενώ η διάμετρος θα πρέπει να είναι  $\varnothing 76\varnothing 115\text{mm}$ . Η διάτρηση πρέπει να εκτελείται μεταξύ των μετατοπίσεων των ανασκαφών, έτσι ώστε να μην υπάρχει καθυστέρηση στις εκσκαφές. Σε περίπτωση που διαπιστωθούν δυσμενείς συνθήκες, θα πρέπει να γίνει διάτρηση πρόσθετων ανιχνευτών με δειγματοληψία πυρήνα για επιβεβαίωση.

Πρέπει να καταγράφονται τα ακόλουθα δεδομένα:

1. Διάμετρος και τύπος εξοπλισμού
2. Θέση ανίχνευσης
3. Κλάση υποστήριξης
4. Διάρκεια διάτρησης
5. Μέση διάτρηση (νερό ή αέρα)
6. Ταχύτητα διάτρησης ανά μέτρο
7. Ταχύτητα περιστροφής
8. Εφαρμοσμένη πίεση
9. Προμήθεια νερού ή αέρα
10. Πίεση αέρα ή νερού
11. Χρώμα επιστρεφόμενου νερού
12. Απώλειες νερού
13. Περιγραφή υλικού
14. Γεωλογική ενότητα

Η ταχύτητα διάτρησης, η παροχή ύδατος / αέρα καθώς και το επιστρεφόμενο υλικό εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του διατρηθέντος σχηματισμού. Σε βραχώδεις σχηματισμούς η ταχύτητα γεώτρησης είναι συνήθως υψηλή και το επιστρεφόμενο υλικό έχει τη μορφή σκόνης. Μία μείωση στην ταχύτητα διάτρησης και μία πιθανή τοπική απόφραξη του εξοπλισμού αναμένεται με μαλακά πετρώματα ή όπως τα υλικά του εδάφους .

#### 7.15 ΚΡΙΣΙΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Τα συστατικά της υπόγειας κατασκευής κάτω από της κρίσιμες κατασκευαστικές λεπτομέρειες που επισήμανε για να δώσουν προσοχή στις ειδικές πτυχές οι οποίες εξαρτώνται άμεσα από τις αποφάσεις κατασκευής και από την ποιότητα κατασκευής που είναι ή μπορεί να αποδειχθούν κρίσιμα για ολόκληρο το έργο:

- Το ελάχιστο αποδεκτό μήκος εκσκαφής του τούνελ μιας σήραγγας σε σύγκριση με το άλλο είναι 50m.
- Στις οπές αποστράγγισης που είναι τοποθετημένες στην περίμετρο της διατομής της σήραγγας, στην εξωτερική πλευρά του διάτρητου σωλήνα εμφανίζεται ένα γεωύφασμα αποστράγγισης, προκειμένου να αποφευχθεί πιθανή παρεμπόδιση της λειτουργίας τους.
- Οι οπές αποστράγγισης πρέπει να προστατεύονται κατά την εγκατάσταση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος και να αποκαθίστανται στη συνέχεια.
- Σε περίπτωση αυξημένης ροής νερού μέσω ορισμένων στρωμάτων εδάφους, θα πρέπει να εγκατασταθούν βαθιές οπές αποστράγγισης με ορισμένο σωλήνα και φίλτρο για να επιτευχθεί πλήρης αποστράγγιση.
- Ελάχιστη επικάλυψη για το πλέγμα από χάλυβα 15cm έως 20cm ενώ για την ενίσχυση 30cm ορίζεται.
- Το σετ χάλυβα πρέπει να τοποθετηθεί όσο το δυνατόν πλησιέστερα προς το τέλος κάθε μήκους στρογγυλού (όσο το δυνατόν πιο κοντά στο πρόσωπο της σήραγγας). Σε κάθε περίπτωση, τα στρογγυλά μήκη πρέπει να ακολουθούνται αυστηρά.
- Πρέπει να ληφθεί μέριμνα για την επίτευξη ξηρής γεώτρησης (για βράχια, προπέλες, οπές αποστράγγισης κλπ.) Προκειμένου να αποφευχθεί η μείωση των γεωτεχνικών ιδιοτήτων του γεωλογικού σχηματισμού.
- Οι γραμμές εκσκαφής πρέπει να ακολουθούνται αυστηρά.
- Η εγκατάσταση ενός τελικού στρώματος λείανσης προτείνεται , ανάλογα με τις συνθήκες του εδάφους .
- Δεν επιτρέπεται η επαφή μεταξύ οποιουδήποτε χαλύβδινου στοιχείου και της μεμβράνης της τελικής επένδυσης, έτσι προτείνεται η εγκατάσταση ενός τελικού στρώματος λείανσης, μη συστηματικό αλλά μόνο σε περίπτωση που είναι απαραίτητο.



- Πρέπει να πληρωθούν τυχόν υπερβολικές ανασκαφές. Σε κάθε περίπτωση, πρέπει να εξασφαλίζεται το ελάχιστο απαιτούμενο πλάτος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, όπως φαίνεται στα σχέδια (από την γραμμή εκσκαφής έως το εσωτερικό τμήμα της σήραγγας).
- Κάθε πιθανή σοβαρή υπέρβαση της γραμμής εκσκαφής λόγω γεωλογικού τύπου πρέπει να αντιμετωπίσει ο σχεδιαστής. Πρέπει να αποφεύγεται αυστηρά η τεχνητή υπερκάλυψη.
- Πρέπει να εγκατασταθεί ο οπλισμός που εφαρμόζεται στα πόδια του ελέφαντα.
- Η περιοχή κάτω από το επίπεδο θεμελίωσης ποδιών ελέφαντα πρέπει να καθαρίζεται σωστά από τυχόν χαλάσματα και τυχόν χαλαρό υλικό.
- Στην περιοχή όπου πρόκειται να τοποθετηθούν οι κοχλίες στήριξης των σετ χάλυβα, το σετ χάλυβα πρέπει να καθαριστεί σωστά από το σκυρόδεμα, για καλύτερη εφαρμογή της πλάκας σύνδεσης.
- Το ελάχιστο πλάτος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος που επιβάλλεται από τις κατασκευαστικές απαιτήσεις πρέπει να ικανοποιείται σε κάθε πλευρικό τοίχωμα της σήραγγας.
- Δεν επιτρέπεται ροή νερού στην περιοχή των ποδιών των ελεφάντων και η προσοχή πρέπει να εστιάζεται για να απομακρύνεται κάθε νερό από την κατασκευή της βράχου μακριά από τα θεμέλια της κύριας επένδυσης (με μια χαντάκι συλλογής, σωστά επενδυμένη).
- Η ελάχιστη ποσότητα χαλύβδινων ινών είναι  $20\text{kg} / \text{m}^3$  εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Η ποσότητα ινών του εκτοξευόμενου σκυροδέματος θα καθοριστεί σύμφωνα με την εγκεκριμένη σύνθεση σκυροδέματος που παρέχεται από τον Ανάδοχο. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στο πρόσωπο της σήραγγας θα πρέπει να έχει διατηρητική αντοχή τουλάχιστον  $10\text{t} / \text{m}^2$  σε 4 ώρες και  $30\text{t} / \text{m}^2$  σε 8 ώρες, έτσι ώστε να αποφεύγεται η μικρή αστοχία.
- Επανατοποθετήστε το ανάστροφο με τα κατάλληλα υλικά μέχρι να εμφανιστούν ορισμένα όρια που φαίνονται στο σχετικό σχέδιο. Πρέπει να δοθεί προσοχή στην κίνηση του εξοπλισμού στο φρέσκο κέλυφος του τελικού αναστροφέα.
- Η αναστροφή της ανασκαφής στην διαμήκη κατεύθυνση πρέπει να ολοκληρώνεται σε δύο έως τρία στρογγυλά μήκη, ανάλογα με τις in situ συνθήκες εδάφους. Πρέπει να αποφευχθεί οποιαδήποτε υπερβολική εκτόξευση στο αναστρέψιμο και ειδικά στην περιοχή των ποδιών των ελεφάντα. Εάν είναι απαραίτητο, πρέπει να γίνει εκμετάλλευση της ξαναγεμίματος με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.
- Ο έλεγχος της ανάστροφης γεωμετρίας πρέπει να γίνεται τόσο στο στάδιο της εκσκαφής, όσο και στην κατασκευή της επένδυσης από σκυρόδεμα.
- Για την κατασκευή των λεπτομερειών των ποδιών του ελέφαντα, πρέπει να εστιάσετε την προσοχή σας ώστε να αποφύγετε οποιαδήποτε εκσκαφή κάτω από τα πόδια των ελεφάντων και να προετοιμάσετε προσεκτικά την επιφάνεια του βράχου κάτω από τα πόδια των ελεφάντων, για να ασφαλίσετε το θεμέλιο της χαλύβδινης βάσης πρέπει να υιοθετηθεί υπερβολική εκσκαφή με ικανά θραυστά αδρανή ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα - Εάν χρησιμοποιηθεί σκυρόδεμα απαιτείται επαρκής χρόνος σκλήρυνσης πριν από την ανέγερση του χαλύβδινου σετ προκειμένου να

αποφευχθούν οι διακανονισμοί με το αυτό-βάρους του χάλυβα Σε περίπτωση που οι οπές διάτρησης των βράχων δεν μπορούν να διατηρηθούν καθαρά και ανοιχτά, τότε θα πρέπει να εφαρμοστούν τοπικά αγκίστρες με ίση αντοχή και μήκος.

- Σε περίπτωση που παρατηρήσετε εισροή υγρασίας ή νερού, τότε πρέπει να τοποθετηθούν οπές ανακούφισης.
- Σε περιπτώσεις που εντοπίζονται τοπικές σφήνες ή επίπεδες αστάθειες στην ανασκαμμένη επιφάνεια, πρέπει να εφαρμοστούν βίδες από ίνες γυαλιού χωρητικότητας 250kN.
- Για την ασφάλεια των εκσκαφών, σε περιπτώσεις που οι γεωτεχνικές συνθήκες δεν είναι οι προβλεπόμενες, θα πρέπει να ελεγχθούν τα επίπεδα προειδοποίησης και συναγερμού και να καθοριστούν πρόσθετα μέτρα.
- Προτείνεται η γεώτρηση ανίχνευσης για να επαληθευτούν οι συνθήκες μάζας βράχου μπροστά από την επιφάνεια εκσκαφής σε κρίσιμες περιοχές.
- Τα μέτρα υποστήριξης των εγκάρσιων διαβάσεων και των επιφανειών έχουν διαστασιοποιηθεί για τις γεωτεχνικές συνθήκες και τις συνθήκες φόρτωσης που προβλέπονται στη σχετική Έκθεση Γεωτεχνικής Ερμηνείας. Σε περιπτώσεις που πληρούνται διαφορετικές γεωτεχνικές συνθήκες ή συνθήκες φόρτωσης, τότε ο Αντισυμβαλλόμενος και ο Σχεδιαστής πρέπει να προτείνουν την κατάλληλη προσαρμογή της θέσης.
- Οι διασταυρώσεις μπορούν να ανασκαφούν και προς τις δύο κατευθύνσεις και η διάσπαση μπορεί να διαμορφωθεί περίπου στο μέσο του μήκους της εγκάρσιας διόδου, για την επιτάχυνση των εκσκαφών.
- Σε περιπτώσεις όπου οι εκσκαφές σταματούν περισσότερο από δύο ημέρες, τότε η σφράγιση του προσώπου πρέπει να πραγματοποιείται με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους δύο φορές μεγαλύτερο από αυτό που προβλέπεται στο τυπικό τμήμα. Επιπλέον, θα πρέπει να ολοκληρωθούν όλες οι απαραίτητες εργασίες στα στάδια κατασκευής καθώς και η διάνοιξη οπών αποστράγγισης και ανακούφισης στο πρόσωπο της σήραγγας.
- Ο σχεδιαστής πρέπει να ενημερώνεται αναλόγως και εγκαίρως εάν τυχόν αναντιστοιχίες ή αποκλίσεις από τις προβλέψεις σχετικά με τις επικρατούσες συνθήκες εδάφους, που περιγράφονται στην παρούσα μελέτη (ακολουθία και χαρακτηριστικά των σχηματισμών, προσανατολισμός των δομικών χαρακτηριστικών, εμφάνιση ύδατος κλπ) θα παρατηρηθούν ή θα ταυτοποιηθούν κατά τη διάρκεια της κατασκευής,
- Πρέπει να δοθεί προσοχή στην τοποθέτηση κεφαλών αγκυρών και σεντ χάλυβα με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup> - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΟΡΓΑΝΩΣΗ – ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ

### 8.1 ΓΕΝΙΚΑ

Κατά την οδήγηση υπόγειων ανασκαφών και πρωτογενών εργασιών υποστήριξης, είναι απαραίτητη η δημιουργία κατάλληλου οργάνου για την παρακολούθηση και καταγραφή της επιτυχίας της εγκεκριμένης μεθοδολογίας σχεδιασμού και της εφαρμοσμένης μεθοδολογίας κατασκευής. Με αυτά τα μέσα είναι εφικτό να συγκριθούν οι προβλέψεις του σχεδιασμού με τη συμπεριφορά της σήραγγας έτσι ώστε να γίνουν οι απαραίτητες προσαρμογές.

Γενικά, η παρακολούθηση των συγκεκριμένων παραμέτρων σε συνδυασμό με τις παρατηρήσεις, η γεωλογική χαρτογράφηση στοχεύει στην άντληση πληροφοριών σχετικά με τη σταθερότητα του υπόγειου υποστηριζόμενου διαστήματος, τα επίπεδα τάσεων και παραμορφώσεων για τα μέτρα υποστήριξης και την περιβάλλουσα βραχώμαζα, έτσι ώστε η σταθερότητα καθώς και θα εξασφαλιστεί η επιτυχής λειτουργία του έργου.

Τα επίπεδα σύγκλισης που παρατηρήθηκαν και καταγράφηκαν στα εγκατεστημένα γεωτεχνικά όργανα αντικατοπτρίζουν το αποτέλεσμα του επαναδιανεμημένου περιβάλλοντος τάσης γύρω από τη σήραγγα και την αλληλεπίδραση της βράχου με τα μέτρα στήριξης της σήραγγας. Η συστηματική συλλογή και αξιολόγηση των εγγραφών που σχετίζονται με τις αναπτυσσόμενες τάσεις στην επένδυση, την έκταση των πλαστικών ζωνών και τις υδρογεωλογικές συνθήκες θα αποδειχθεί πολύτιμη σε περίπτωση που ανακύψει η ανάγκη αριθμητικών αναλύσεων για την ερμηνεία της συμπεριφοράς της σήραγγας.

### 8.2 ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ

Στον παρόντα Σχεδιασμό περιγράφεται ένα προσεκτικά προετοιμασμένο πρόγραμμα γεωτεχνικής συσκευής για τη γεωτεχνική παρακολούθηση της σήραγγας κατά την οδήγηση της ανασκαφής και της πρωτογενούς στήριξης. Αυτό το πρόγραμμα οργάνων συνδέεται άμεσα μεταξύ άλλων με: τις επικρατούσες υπόγειες συνθήκες, τα ύψη των υπερφορτών, την ένταση των πρωτογενών μέτρων υποστήριξης, τη μεθοδολογία ανασκαφής.

Σύμφωνα με αυτό το πρόγραμμα η εγκατάσταση μιας ποικιλίας σταθμών παρακολούθησης περιγράφεται ότι είναι κατά μήκος του ανασκαφικού τμήματος. Οι σταθμοί αυτοί είναι εξοπλισμένοι με κατάλληλα όργανα έτσι ώστε να λαμβάνεται αντιπροσωπευτική παρακολούθηση της κατασκευής. Με αυτά θα καταγραφεί η

παρακολούθηση των κρίσιμων παραμέτρων στη συμπεριφορά της σήραγγας:  
Συγκεκριμένα, τα γεωτεχνικά

όργανα θα σχεδιαστούν για:

- συγκλίσεις σήραγγας (με στόχους 3-D και επιδαπέδια)
- επιπεδοποίηση και τοπογραφικά έργα φορτία στις άγκυρες (με την τοποθέτηση των κελυφών φορτίου)
- τάσεις στα χαλύβδινα σύνολα για να εξαχθούν τα ισοδύναμα φορτία (με την εγκατάσταση των μετρητών πίεσης)
- φορτίο / τάσεις της κύριας επένδυσης από σκυρόδεμα (με την τοποθέτηση ενσωματωμένων κελυφών φορτίου σε εκτοξευόμενο μπετόν).
- πίεση νερού (με την εγκατάσταση πιεζομέτρων)

Με συστηματική παρακολούθηση, η προσοχή πρέπει να επικεντρώνεται στα απόλυτα επίπεδα, το είδος και τους τρόπους μεταβολής (στο χρόνο) και τις τάσεις που αναγνωρίζονται. Η παρακολούθηση και οι ιδιαίτερες δοκιμές φορτίου πρέπει να ρυθμίζονται σωστά στις *in situ* συνθήκες, ενώ πρέπει να εκτελούνται με τη δέουσα συχνότητα, ώστε να επιτυγχάνεται μια σαφής εικόνα των συνθηκών που επικρατούν στις εκσκαφέντες τομές. Τονίζεται ότι οι πληροφορίες αυτές μπορούν να αξιοποιηθούν με επιτυχία μόνον όταν συνδυάζονται με συστηματική γεωλογική χαρτογράφηση στις εκσκαφές που αποσκοπούν στην επαλήθευση των γεωλογικών-υδρογεωλογικών-γεωτεχνικών προσδοκιών, ώστε να ληφθεί η σωστή απόφαση.

Αναφέρεται ότι οι προδιαγραφές Υλικών και Εργασιών όσον αφορά την οργάνωση και την παρακολούθηση των υπόγειων τμημάτων του έργου παρέχονται στο ΤCC.

### 8.3 ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ – ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ

Δύο (2) διαφορετικοί σταθμοί παρακολούθησης έχουν σχεδιαστεί για τις σήραγγες . Διακρίνονται ανάλογα με τα διαφορετικά επίπεδα εγκατεστημένων οργάνων και είναι τα ακόλουθα:

- Σταθμοί Παρακολούθησης A1. Είναι εξοπλισμένα με στόχους 3-D. Με αυτή την καταγραφή συντεταγμένων σε πέντε (5) χαρακτηριστικά σημεία στις διατομές (στεφάνη, πλευρικά τοιχώματα της άνω κεφαλής, πλευρικά τοιχώματα του πάγκου) κατά τη διάρκεια της προώθησης της σήραγγας μπορούν να ληφθούν και αρκετές τοπογραφικές μετρήσεις, συμπεριλαμβανομένης της ισοπέδωσης.
- Σταθμοί Παρακολούθησης A2. Είναι εξοπλισμένα με πέντε (3) στόχους 3-D, 3 τεμάχια 3-bar sextensometers (3m / 6m / 9m σε μήκος) στην κορυφή κεφαλής (στέμμα και πλευρικά τοιχώματα), φορτία κελύφους σε συγκεκριμένες άγκυρες, σύνολα, φορτία κελύφους ενσωματωμένα στο κύριο κέλυφος σκυροδέματος, πιεζόμετρα.

Ένα συστηματικό πρόγραμμα παρακολούθησης δημιουργήθηκε προσεκτικά όταν ο χρόνος για την έναρξη των εγγραφών μαζί με τη συχνότητα των εγγραφών ανά όργανο και σταθμό παρέχονται λεπτομερώς στο αντίστοιχο σχέδιο κατασκευής. Στο ίδιο σχέδιο παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τα κατάλληλα σχεδιασμένα επίπεδα προειδοποίησης και συναγερμού για κάθε κατηγορία υποστήριξης. Αυτά τα όρια μπορούν να αντιμετωπιστούν ως όρια μεταξύ μιας σταθερής και μιας ασταθούς συμπεριφοράς της σήραγγας. Σε περίπτωση υπέρβασης των καθορισμένων επιπέδων που υποδηλώνουν σταθερή συμπεριφορά για τη σήραγγα, πρέπει να αναληφθεί από τα εμπλεκόμενα μέρη (Ανάδοχος, Σχεδιαστής) σαφής σειρά κατάλληλων ενεργειών μαζί με μέτρα έκτακτης ανάγκης ανάλογα με τη σοβαρότητα του προβλήματος. Αυτά τα μέτρα έκτακτης ανάγκης περιγράφονται γενικά στο ίδιο σχέδιο.

#### 8.4 ΥΠΕΡΒΑΣΗ ΟΡΙΩΝ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ

Οι γενικές διαδικασίες μετά την υπέρβαση των προειδοποιητικών επιπέδων των πρωτογενών παραμορφώσεων της επένδυσης θα περιγράφουν στα ακόλουθα:

- Αύξηση της συχνότητας παρακολούθησης μαζί με την ακριβή καταγραφή των έργων σήραγγας.
- Προετοιμασία υλικού και εξοπλισμού για πιθανή εγκατάσταση μέτρου έκτακτης ανάγκης
- Εμπιστοσύνη του εργοταξίου και του προσωπικού εποπτείας λόγω πιθανών μέτρων έκτακτης ανάγκης.
- Αφαίρεση υλικών και εξοπλισμού από το τμήμα της σήραγγας που έχει πληγεί.
- Εγκατάσταση πρόσθετων γεωτεχνικών εργαλείων στο τμήμα της σήραγγας που έχει πληγεί.
- Ανάλυση πλάτης και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μάζας βράχου / μέτρησης από τον σχεδιαστή.

#### 8.5 ΥΠΕΡΒΑΣΗ ΟΡΙΩΝ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ

Εάν η τάση των κινήσεων παραμόρφωσης της πρωτεύουσας επένδυσης δεν παρουσιάζει αποτέλεσμα σταθεροποίησης μετά την επίτευξη των εν λόγω επιπέδων συναγερμού, ακολουθούνται οι παρακάτω γενικές διαδικασίες μετά την υπέρβαση των παραμορφώσεων των επιπέδων συναγερμού. Μετά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων από αναδρομική ανάλυση από όλα τα εμπλεκόμενα μέρη (Contractor, Designer, I.E.) τα ενδεικτικά μέτρα έκτακτης ανάγκης μπορούν να εφαρμοστούν για την απόδοση των σηράγγων.

- Μείωση της εκσκαφής γύρω από το μήκος.
- Πρόσθετα βράχια βράχου στην περιφέρεια της σήραγγας και στο μέτωπο των σήραγγων.
- Εγκατάσταση σωληνώσεων ή προεντεταμένων στοιχείων στο μέτωπο της εκσκαφής.
- Αυξημένη πυκνότητα spiles ή στοιχεία forepoling.
- Αυξημένο πάχος του κύριου κελύφους

Εγκατάσταση μεταλλικών φύλλων.

- Τεχνικές βελτίωσης υπόγειου εδάφους (π.χ. τσιμεντοκονίαμα).
- Αυξημένη πυκνότητα τρύπημα αποστράγγισης και τρύπες αποστράγγισης
- Διερευνητικές έρευνες για το υπόγειο με τη βοήθεια διάτρησης μπροστά στο μέτωπο της ανασκαφής.
- Έγκριση βαρύτερων τάξεων εκσκαφής και υποστήριξης, υπό την προϋπόθεση ότι το κρίσιμο τμήμα της σήραγγας βρίσκεται πλησίον της επιφάνειας εκσκαφής
- Απόσυρση των έργων σήραγγας.

## 8.6 ΟΡΓΑΝΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ

Τόσο κατά την διάρκεια της κατασκευής όσο και στην συνέχεια της λειτουργίας της σήραγγας απαιτείται να παρακολουθούνται διάφορα δεδομένα που κατά βάση αφορούν τις τυχόν συγκλίσεις της βραχόμαζας αλλά και τυχόν μετακινήσεις του υπερκειμένου της σήραγγας πρηνούς. Εντός και εκτός της σήραγγας υπάρχουν μια σειρά από όργανα που τοποθετήθηκαν για να χρησιμοποιούνται για την παρακολούθησή τους. Εκτός από τα όργανα τοποθετούνται και μια σειρά από μετρήσεις. Τα όργανα και η μέτρησης του χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:

Εντός της σήραγγας έχουμε:

- Μέτρησης μετακινήσεων στην περιβάλλουσα βραχόμαζας
- Όργανα μέτρησης παραμορφώσεων
- Μέτρησης σύγκλισης στα τοιχώματα της σήραγγας
- Χωροσταθμικός έλεγχος τοπογραφικές αποτυπώσεις
- Κυψέλες φορτίου ιλώσεων
- Κυψέλη φορτίου εκτοξευόμενου σκυροδέματος
- Όργανα μέτρησης πίεσης

Εκτός της σήραγγας έχουμε:

- Μέτρησης μετακινήσεων στην επιφάνεια του εδάφους
- Αποκλισιόμετρα εντός γεωτρήσεων
- Αποκλισιόμετρο επιφανειακού τύπου
- Χωροσταθμικός έλεγχος – τοπογραφικές αποτυπώσεις

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup> - ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΕ ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Σκοπός της περιγραφής της βράχομαζας είναι η εκτίμηση των ποιοτικών και μηχανικών χαρακτηριστικών της και της ταξινόμησης της με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά ώστε να είναι εφικτή η ορθή εκτίμηση των μέτρων υποστήριξης που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για να ενισχύσουν τη βράχομαζα και να υποστηρίξουν την κατασκευή. Χρησιμοποιούνται πολλές και ποικίλες μέθοδοι ταξινόμησης των βραχομαζών εκ των οποίων οι πιο ευρέως διαδεδομένες είναι τρεις:

- 1) η ταξινόμηση κατά Bieniawski
- 2) η ταξινόμηση κατά Barton ,
- 3) η ταξινόμηση κατά GSI (Tall 1982)

### 9.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ BIENIAWSKI.

Γεωτεχνική ταξινόμηση βραχομαζας με την μέθοδο RMR (Bieniawski,(988))

Σύμφωνα με τη μέθοδο RMR οι ιδιότητες που χρησιμοποιούνται για την 2ταξινόμηση βραχομαζας είναι οι παρακάτω (Bieniawski, 1989)

- Αντοχή αέραιου βράχου: υπολογίζεται με μονοαξονική συμπιεστική δύναμη δειγμάτων πυρηνοληψίας η με τον δείκτη σημειακής αντοχής κατά τη σημειακή φόρτιση βράχων δειγμάτων χαμηλής αντοχής.
- Δείκτης κερματισμού RQD : είναι το ποσοστό του μήκους των κομματιών των πυρήνα μιας γεωτρήσης μήκους τουλάχιστον 10cm ένα ανά μέτρο γεώτρησης . Ο προσδιορισμός των τιμών του RQD για υπαίθρια μέτρηση χωρίς τη βοήθεια γεώτρησης σε βραχομαζα που δεν έχει άργιλο κατά μήκος της σήραγγας δίνεται από τη σχέση ( Palmstrom 1982) :
- $RQD \% = 115 - 3,3 J_v$  .
- Όπου  $J_v$  =συνολικός αριθμός διακλασεων σε κυβικό μέτρο βραχομαζας.
- Αποστάσεις ασυνεχειών
- Ανάπτυξη ασυνεχειών. Το αδιαίρετο μήκος των ασυνεχειών μέσα στη διατομή της σήραγγας ( Deere& Deere)
- Διαχωρισμός ασυνεχειών: απόσταση των επιφανειών των ασυνεχειών
- Τραχύτητα επιφανειών ασυνεχειών
- Υλικό πλήρωσης: σκληρότητα και πάχος του υλικού πλήρωσης των ασυνεχειών
- Αποσάθρωση πετρώματος στις παρειές των ασυνεχειών
- Συνθήκες υπογείου νερού
- Προσανατολισμός διεύθυνσης και κλίση ασυνεχειών και ιδιαίτερα τεκτονικών στοιχείων για την ευστάθεια της σήραγγας.

Α. Παράμετροι ταξινόμησης και βαθμολόγηση των παραμέτρων								
Αντοχή 1 συμπαγούς πετρώματος	Δείκτης αντοχής αιχμής (Mpa)	>10	4-10	2-4	1-2	εφαρμόζεται η δοκιμή ατλής θλίψης		
	Αντοχή σε απλή θλίψη (Mpa)	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
<b>Βαθμός</b>		<b>15</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
2 RQD(%)		90-100	75-90	50-75	25-50			<25
<b>Βαθμός</b>		<b>20</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>8</b>			<b>3</b>
3 Απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών [m]		>2	0,6-2	0,2-0,6	0,06-0,2			<0,06
<b>Βαθμός</b>		<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>8</b>			<b>5</b>
4 Κατάσταση των διακλάσεων	Πολύ τραχείες επιφάνειες, ασυνεχείς, κλειστές. Μη διαβρωμένα τοιχώματα	Ελαφρά τραχείες επιφάνειες, ανοίγματα <1 mm. Ελαφρά διαβρωμένα τοιχώματα	Ελαφρά τραχείες επιφάνειες, ανοίγματα <1 mm. Πολύ διαβρωμένα τοιχώματα	Ολισθηρές επιφάνειες (slickensided) ή διακλάσεις με υλικό πλήρωσης <5 mm ή διακλάσεις ανοικτές 1-5 mm. Συνεχείς διακλάσεις	Μαλακό υλικό πλήρωσης πάχους >5 mm ή διακλάσεις ανοικτές >5 mm. Συνεχείς διακλάσεις.			
<b>Βαθμός</b>		<b>30</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>10</b>			<b>0</b>
Εισροή για 10 m μήκος σήραγγας		Καμία	<10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min			>125 l/min
5 Υπόγειο νερό	Λόγος πίεσης νερού των διακλάσεων προς τη μέγιστη κύρια ορθή τάση	0	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,5			>0,5
<b>Βαθμός</b>	Γενικές συνθήκες	Εντελώς στεγνό	Ελαφρά υγρό	Υγρό	Στάγδην			Ροή νερού
		<b>15</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>4</b>			<b>0</b>

Β. Προσαρμογή με βάση τον προσανατολισμό των διακλάσεων					
Διεύθυνση και κλίση των διακλάσεων	Πολύ ευνοϊκή	Ευνοϊκή	Μέτρια	Δυσμενής	Πολύ δυσμενής
Σήραγγες	0	-2	-5	-10	-12
Θεμελιώσεις	0	-2	-7	-15	-25
Πηραντή	0	-5	-25		
Γ. Ταξινόμηση του βράχου και βαθμολογία του					
Κατηγορία	I	II	III	IV	V
Χαρακτηρισμός	Πολύ καλός	Καλός	Μέτριος	Φτωχός	Πολύ Φτωχός
Βαθμολογία, τιμή RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	<21
Δ. Τεχνική σημασία της ταξινόμησης					
Κατηγορία	I	II	III	IV	V
Μέσος χρόνος διατήρησης της εκοκαφής	20 χρόνια για ανοίγμα 15 m	12 μήνες για ανοίγμα 10 m	1 εβδομάδα για ανοίγμα 5 m	10 ώρες για ανοίγμα 2,5 m	30 min για ανοίγμα 1 m
Συνοχή του βράχου [kPa]	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Γωνία τριβής του βράχου	>45°	35-45°	25-35°	15-25°	<15°

Επιρροή της τραχύτητας, της αποσάθρωσης των υλικών πλήρωσης και του μήκους των ασυνεχειών (Bieniawski, 1989).

Μήκος των ασυνεχειών	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m
<b>Βαθμός</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
Ανοίγμα ασυνεχειών	κανένα	<0,1 mm	0,1-1 mm	1-5 mm	>5 mm
<b>Βαθμός</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
Τραχύτητα τοιχωμάτων	πολύ τραχεία	τραχεία	ελαφρώς τραχεία	λεία	επίπεδα, ολισθηρά
<b>Βαθμός</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
Υλικά πλήρωσης	δεν υπάρχουν	σκληρά, <5 mm	σκληρά, >5 mm	μαλακά, <5 mm	μαλακά, >5 mm
<b>Βαθμός</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
Αποσάθρωση	μη αποσαθρ.	ελαφρώς αποσαθρ.	μέτρια αποσαθρ.	πολύ αποσαθρ.	αποσυντεθμένες
<b>Βαθμός</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>

**Παρατήρηση:** Ορισμένες παράμετροι αποκλείονται σιωπηρά. Για παράδειγμα, όταν στις διακλάσεις περιέχονται υλικά πλήρωσης, η τραχύτητα επισκοπάζεται από τα υλικά πλήρωσης. Σε τέτοιες περιπτώσεις για τη βαθμολόγηση της κατάστασης των διακλάσεων εφαρμόζεται απευθείας ο Πίνακας 4-IIIα.



## 9.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΤΗΝ ΣΗΡΑΓΓΑ T15

### 9.2.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Γεωτεχνική ενότητα 1 : σχηματισμός κροκαλοπαγών

Ημισυνεκτικό έως συνεκτικό κροκαλοπαγές , συμπαγές κυριώς και κατά θέσεις μόνο χαλαρό ή ασύνδετο με κατά θέσεις παρουσία σκληρών έως πολύ στιφρών αργιλωδών ή αμμούχων- ψαμμιτικών συμπαγών μαργών ή ψαμμιτών , υπό μορφή ενστρώσεων ή φακών. Οι αδρομερείς σχηματισμοί δύνονται να παρουσιάζονται και ασύνδετοι ή με πολύ μικρή συνεκτικότητα σε μικρό ποσοστό εμφάνισης του σχηματισμού , χωρίς όμως μεγάλες εμφανίσεις στην περιοχή του θόλου. Ενδέχεται επίσης η παρουσία φακών ή ενστρώσεων περιορισμένης εμφάνισης άμμου ή ιλυώδους άμμου περιορισμένου όμως πάχους έως το πολύ 0,5 m. Επίσης παρεμβάλλονται εμφανίσεις μαλακής μάργας, αργιλωδους ή αμμώδους, με περιορισμένο επίσης πάχος. Στο σχηματισμό των συνεκτικών – ημισυνεκτικών κροκαλοπαγών αναμένεται εν γένει αυξημένη υγρασία και στάγδην ροή, ή ελαφρά ροή , χωρίς όμως φαινόμενα παρουσίας υπό πίεση υδροφόρων οριζόντων και χωρίς φαινόμενα αποδόμησης της βραχώμαζας λόγω πίεσης πόρων. Ο δείκτης RQD κυμαίνεται μεταξύ 25% και 50% με επικρατούσα τιμή ίση με 35% περιπου.

Στην γεωτεχνική ενότητα αυτή γίνεται εκσκαφή με τη χρήση μηχανικών μέσων και τοπικά με την χρήση βαρέων μηχανικών μέσων.

Γεωτεχνική ενότητα 2: κροκαλοπαγή

Ελαφρά συγκολλημένο έως χαλαρό κροκαλοπαγές συμπαγές μόνο σε περιορισμένες θέσεις με κατά θέσεις παρουσία στιφρών έως μαλακών αργιλωδών ή αμμούχων – ψαμμιτικών μαργών ή ψαμμιτών υπό μορφή ενστρώσεων ή φακών. Επίσης αναμένεται η παρουσία στρωμάτων άμμου, ιλυώδους κατά θέσεις, πυκνής απόθεσης με χάλικες και κροκαάλες κατά θέσεις πολύ μικρής πλαστικότητας η χωρίς πλαστικότητα με παχός το πολύ έως 1,5 m αλλά σε στεγνές συνθήκες. Επίσης δύνονται να παρεμβάλλονται εμφανίσεις πολύ στριφρής ή σκληρής μάργας, αργιλωδους ή αμμώδους με περιορισμένο πάχος. Αναμένονται μεγαλύτερες εμφανίσεις ασύνδων και χαλαρών υλικών και στάγδην ροή, ή ελαφρά ροή χωρίς όμως φαινόμενα παρουσίας υπό πίεση υδροφόρων οριζόντων και χωρίς φαινόμενα αποδόμησης της βραχώμαζας λόγω πίεσης πόρων στην περιοχή του μετώπου. Ο δείκτης RQD κυμαίνεται μεταξύ 25% - 70% με επικρατούσα τιμή ίση με 35%.

- Γεωτεχνική παράμετροι:  
Σύμφωνα με τα υπάρχοντα στοιχεία αλλά και από την διεθνή βιβλιογραφία για την ταξινόμηση Bieniawski επιλέγονται:

Παράμετροι ταξινόμησης και βαθμονόμησής τους		
Παράμετρος	Διακύμανση Τιμών	Βαθμός
Αντοχή βραχώδους υλικού $\sigma_{ci}$ (MPa)	1-5	8
Δείκτης ποιότητας βράχου RQD (%)	60%	13
Απόσταση μεταξύ ασυνεχειών (m)	<0.06	5
Κατάσταση των διακλάσεων	Δεν αναφέρεται	0
Υπόγειο νερό	Είναι στάγδην	4
Προσανατολισμός	Δεν αναφέρεται	0
		RMR=30

Σύμφωνα με τον Bieniawski η ταξινόμηση του βράχου και η βαθμολογία του προκύπτει ότι είναι φτωχός με τιμή 40-21. Άρα κατηγορία IV .

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΠΙΝΑΚΑ 4-VI : ΕΜΠΕΙΡΙΚΩΝ ΠΡΟΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΣΗΡΑΓΓΑ T-15			
	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΙΝΑΚΑ 4-VI	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΗΡΑΓΓΑΣ T-15	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΡΑΧΟΥ RMR	IV RMR 21-40		Παρατηρείται ότι για τον τρόπο διάνοιξης και για τη μόνιμη υποστήριξη σήραγγας T15 τα μέτρα που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της σήραγγας έχουν απόκλιση από αυτά του πίνακα 4-VI .
ΤΡΟΠΟΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	Η εκσκαφή γίνεται τμηματικά σε δύο φάσης Α' φάση και Β' φάση .Με βήμα προχώρησης 1.5 – 3 m . Αμέση υποστήριξη αμέσως μετά την εκσκαφή	<b>Η εκσκαφή εγίνε τμηματικά σε τρεις φάσης με βήμα προχώρησης 1.5-3m. Αμέση υποστήριξη αμέσως μετά την εκσκαφή.</b>	
ΑΓΚΥΡΙΑ ΠΑΚΤΩΜΕΝΑ ΣΕ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΜΑ	Τοποθετούνται συστηματικές αγκυρώσεις βράχου (φ20mm) μήκους 4 - 5 m σε απόσταση 1- 1.5 m στο θόλο και τα τοιχώματα με συρματόσχοινα .	<b>Τοποθετούνται συστηματικές αγκυρώσεις ολόσωμης πάκτωσης φ25 ,μήκους 4.0 m σε πεσσοειδή κάνβο 1.5 ( περίμετρος) x βήμα εκσκαφής.</b>	
ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	Πάχους 10cm -15cm τοποθετείται στο θόλο και στα τοιχώματα εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 10cm	<b>Πάχους 35cm -15cm τοποθετείται στο θόλο και στα τοιχώματα εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 10cm</b>	
ΧΑΛΥΒΔΙΝΑ ΠΛΑΙΣΙΑ	Όπου χρειάζεται σε αποστάσεις 1,5m	<b>Τοποθετούνται χαλύβδινα πλαίσια άνα βήμα εκσκαφής</b>	

### 9.2.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕ ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

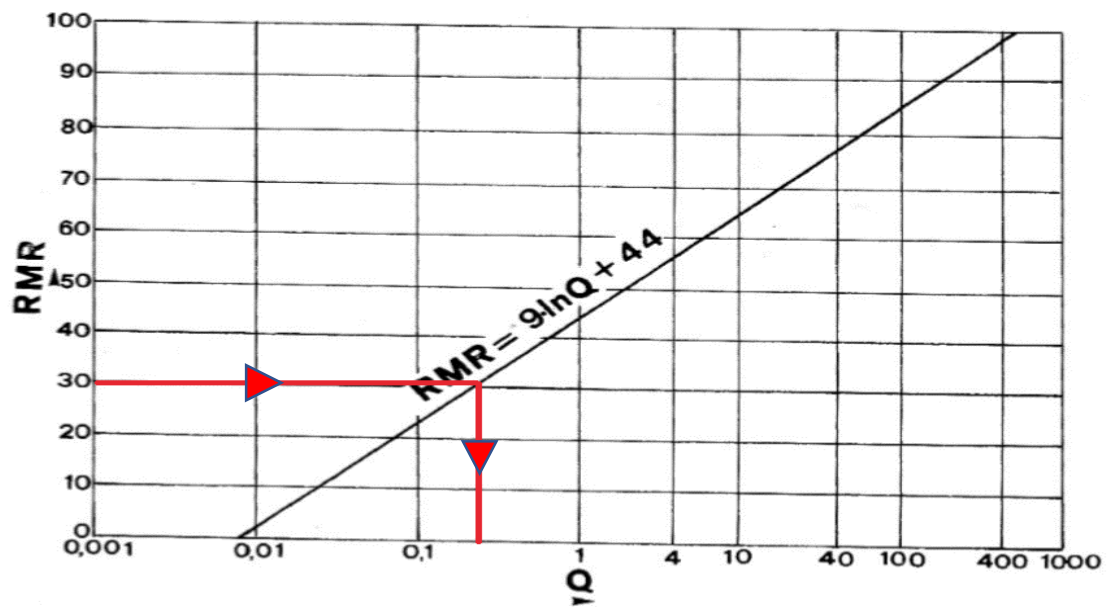
Σύμφωνα με της πληροφορίες που είχαμε στην διάθεση μας έχουμε τις εξής διαφοροποιήσεις ανάμεσα τις εμπειρικές μεθόδους και την εφαρμογή του πραγματοποιήθηκε στο έργο :

- Τα αποτελέσματα τόσο από τις εμπειρικές μεθόδους όσο και από την μελέτη που εφαρμόστηκε , παρατηρούμε ότι δεν είναι αρκετά κοντά όπως φαίνεται παραπάνω .
  1. Η εκσκαφή σύμφωνα με τις εμπειρικές μεθόδους γίνεται τμηματικά σε δύο φάσης Α΄ φάση και Β΄ φάση με βήμα προχώρησης 1.5 – 3 m ενώ στην πραγματικότητα έγινε σε τρεις φασείς .
  2. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα που μας προτείνουν οι εμπειρικές μέθοδοι είναι σχεδόν το μισό απο αυτό που έχει τοποθετηθεί στην πραγματικότητα
  3. Ως προς τα αγκύρια υπάρχει συμφωνία καθώς έχουν μήκος 4m.και ότι τοποθετούνται απο 1.5 – 2.0m
  4. Με βάση την εμπειρική μέθοδο Bieniawski προέκυψε ότι απαιτείται η τοποθέτηση χαλύβδινων πλαισίων σε απόσταση 1,5 m ενώ στην πραγματική μελέτη έχουν τοποθετηθεί και πιο πυκνά αλλα και πιο αραιά .

### 9.3 ΤΑΧΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ BARTON

Επειδή δεν διατίθενται αρκετά στοιχεία για τον προσδιορισμό του δείκτη Q χρησιμοποιήσαμε :

Εμπειρική σχέση RMR-Q (Beniawski, 1976)



Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα .Αρα η τιμή του Q προκύπτει ίση με 0,4

## 9.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ολοκληρώνοντας την πτυχιακή εργασία καταλήγω στα εξής συμπεράσματα :

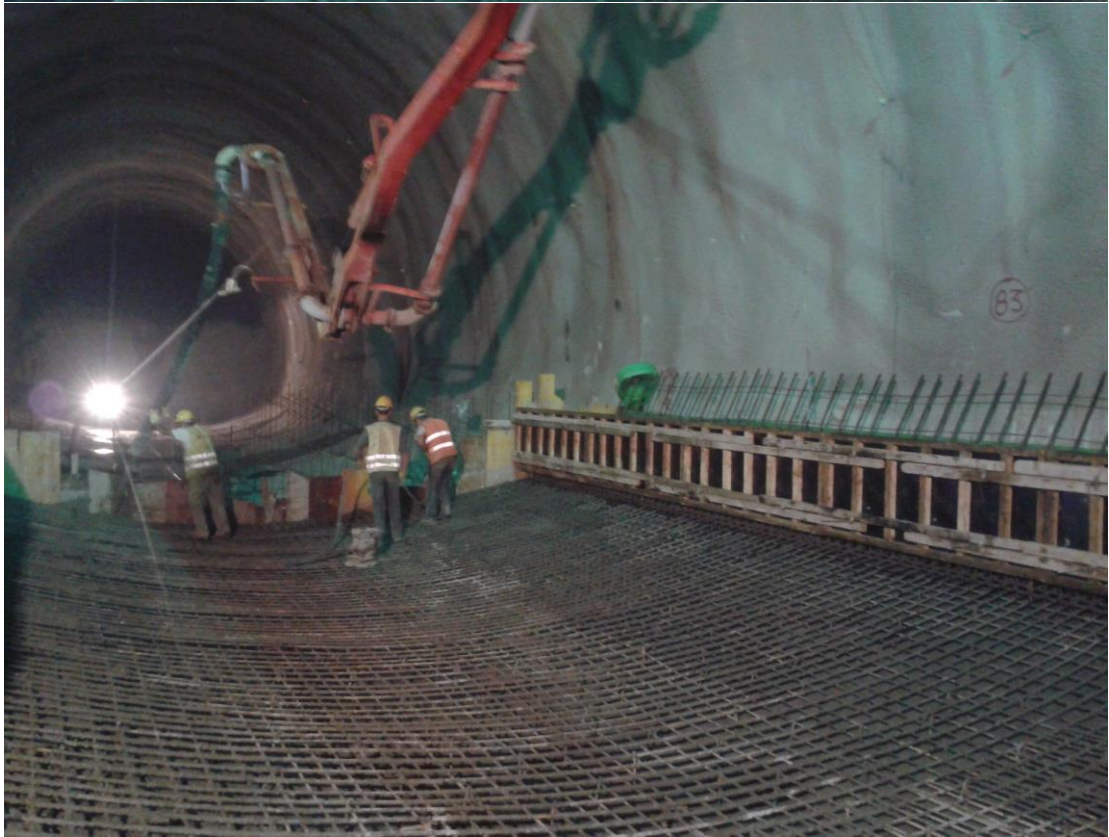
1. Οτι ένα τεχνικό έργο όπως η διάνοιξη μιας σήραγγας είναι έν αρκετά πολύπλοκο έργο .
2. Η μελέτη διάνοιξης μιας σήραγγας απαιτεί πολλούς ελέγχους και να ληφθούν υπόψη αρκετοί παράμετροι.
3. Τόσο για την μελέτη όσο και την κατασκευή ενός τέτοιου έργου απαιτείται και η συμβολή και άλλων ειδικοτήτων.
4. Οι εμπειρικές μέθοδοι ταξινόμησης των εδαφών είναι πολύ σημαντικές όμως πρέπει να γίνεται καλή ερμηνεία των πληροφοριών.
5. Η διαδικασία της ταξινόμησης βάσει των εμπειρικών μεθόδων των εδαφών και η διαδικασία διάνοιξης μιας σήραγγας είναι αλληλένδετα πράγματα.
6. Η μέθοδος Bieniawski με την την επιφύλαξη της μη ακριβους εκτίμησης των παραμέτρων του γεωυλικού δίνει πιο ελαφρά μέτρα προσωρινής υποστήριξης από αυτά που δόθηκαν από το μελετητή με βάση την αναλυτική λύση .

ΕΙΚΟΝΕΣ ΕΡΓΟΥ

























## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ NATM .Μ ΚΑΒΒΑΔΑΣ 2004
2. <http://www.ametro.gr/page/default.asp?la=1&ld=c2>
3. <https://el.wikipedia.org/wiki/%ce%9c%ce%b7%>
4. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ. Δρ. ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑΝΝΗΣ ΒΑΒΑΣΗΣ 2012 , ΑΘΗΝΑ
5. [http://www.ukgeohazards.info/pages/enggeol/landslide\\_geohazardleng\\_geol\\_landsides\\_classification.htm](http://www.ukgeohazards.info/pages/enggeol/landslide_geohazardleng_geol_landsides_classification.htm)
6. ΤΣΑΝΤΖΑΛΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΚΑΤΩΤΕΡΟΥΣ ΜΑΡΓΑΙΚΟΥΣ ΟΡΙΖΟΝΤΕΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΑΧΑΪΑΣ
7. ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΙΑ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ
8. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΒΡΑΧΟΥ ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΦΡΑΓΜΑΤΑ. ΧΡΗΣΤΟΣ Ν.ΜΑΡΑΓΚΟΣ
9. ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ , ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΒΡΑΧΟΥ,ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΦΡΑΓΜΑΤΑ 2001 ,ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΑΡΑΓΓΚΟΣ.
10. <http://www>. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ .
11. <http://www.ταξινομηση>καταBieniawski .
12. ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ . ΚΑΒΒΑΔΑ ΕΜΠ 2005
13. ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΙΙ.
14. ΟΛΥΜΠΙΑ ΟΔΟΣ