

Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ, ΠΛΑΤΑΝΟΥ ΚΑΙ
ΓΕΦΥΡΑΣ ΛΑΔΟΠΟΤΑΜΟΥ ΣΤΟ ΤΜΗΜΑ ΚΙΑΤΟ – ΑΙΓΙΟ
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ
ΑΘΗΝΩΝ – ΠΑΤΡΩΝ**



ΤΟΥΛΙΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΛΑΓΙΟΥ ΑΡΧΟΝΤΟΥΛΑ

ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ: Δρ. ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ – Καθηγήτρια
ΧΡΗΣΤΟΥ ΖΑΧΑΡΙΑΣ – Εργαστηριακός Συνεργάτης

ΠΑΤΡΑ 2008

Ευχαριστίες:

Για την ανάπτυξη του θέματος της πτυχιακής μας θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την καθηγήτριά μας Δρ. Βγενοπούλου Ειρήνη για το θέμα που μας ανέθεσε.

Επίσης ευχαριστούμε θερμά για την πολύτιμη βοήθειά του και καθοδήγηση τον κ. Χρήστου Ζαχαρία τόσο για το θεωρητικό επίπεδο όσο και για την τεχνολογική υποστήριξή που μας παρείχε σε όλα τα μέρη της εργασίας μας.

Τέλος ευχαριστούμε τους γονείς μας για την αμέριστη υποστήριξη τους στα χρόνια της φοίτησής μας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Περίληψη	σελ.8
2. Εισαγωγή	σελ.9
2.1 Ορισμοί.....	σελ.9
2.2 Είδη σήραγγων.....	σελ.12
3. Ιστορική αναδρομή	σελ.14
4. Στοιχεία μελέτης σήραγγας	σελ.17
4.1 Γεωλογικό υπόβαθρο.....	σελ.17
4.1.1 Ορισμοί.....	σελ.17
4.2 Ασυνέχειες – Ρήγματα.....	σελ.22
4.3 Έδαφος.....	σελ.23
4.3.1 Διερεύνηση του υπεδάφους.....	σελ.24
4.3.2 Ιδιότητες εδάφους.....	σελ.25
4.3.3 Όρια Atterberg.....	σελ.26
4.3.4 Κοκκομετρία εδάφους.....	σελ.27
4.3.5 Ταξινόμηση εδαφών.....	σελ.28
4.3.6 Αντοχή εδάφους.....	σελ.30
4.4 Βραχώμαζα.....	σελ.31
4.4.1 Ταξινόμηση βραχώμαζας.....	σελ.32
4.4.2 Αντοχή βραχώμαζας.....	σελ.34
5. Σήραγγες	σελ.36
5.1 Διάνοιξη σήραγγας.....	σελ.36
5.1.1 Διατομή σήραγγας.....	σελ.37
5.1.2 Μέτωπο εκσκαφής.....	σελ.38
5.2 Υποστήριξη σήραγγας.....	σελ.39
5.2.1 Μέτρα υποστήριξης.....	σελ.39
5.2.2 Τελική επένδυση.....	σελ.41
5.3 Σχεδιασμός σήραγγων.....	σελ.42

6. Μέθοδοι διάνοιξης σηράγγων.....	σελ.44
6.1 Διάνοιξη σηράγγων με τη μέθοδο NATM.....	σελ.44
6.1.2 Χαρακτηριστικά μεθόδου NATM.....	σελ.46
6.1.3 Πλεονεκτήματα μεθόδου NATM.....	σελ.52
6.1.4 Φάσεις εκσκαφής.....	σελ.53
6.1.5 Μέτρα άμεσης υποστήριξης.....	σελ.55
6.1.5.1 Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.....	σελ.55
6.1.5.2 Αγκύρια βράχου.....	σελ.58
6.1.5.3 Χαλύβδινα τόξα.....	σελ.60
6.1.6 Σχεδιασμός μέτρων άμεσης υποστήριξης.....	σελ.60
6.1.7 Παρακολούθηση συμπεριφοράς σηράγγων.....	σελ.61
6.1.7.1 Μετρήσεις μετακινήσεων.....	σελ.62
6.1.7.1.1 Μετακινήσεις τοιχώματος σήραγγας.....	σελ.62
6.1.7.1.2 Μετακινήσεις βραχώμαζας.....	σελ.64
6.1.7.1.3 Μετακινήσεις (βυθίσεις) επιφάνειας εδάφους.....	σελ.65
6.1.7.2 Μετρήσεις πιέσεων.....	σελ.66
6.1.7.3 Μετρήσεις δυνάμεων.....	σελ.67
6.1.7.4 Μετρήσεις παροχών.....	σελ.67
6.2 Μέθοδος ανοικτού ορύγματος (Cut and Cover).....	σελ.68
6.2.1 Μειονεκτήματα μεθόδου Cut and Cover.....	σελ.68
6.2.2 Μεθοδολογία κατασκευής.....	σελ.69
6.2.2.1 Στάδια κατασκευής.....	σελ.70
6.2.3 Σειρά εργασιών.....	σελ.78
6.2.4 Μέθοδος Cover and Cut.....	σελ.80
6.2.4.1 Πλεονεκτήματα μεθόδου Cover and Cut.....	σελ.81
6.3 Μέθοδος διάνοιξης με TBM (Tunnel Boring Machine).....	σελ.82
6.3.1 Είδη μηχανών TBM.....	σελ.84
6.3.1.1 Μηχανές χωρίς ασπίδα.....	σελ.84

6.3.1.2 Μηχανές με ασπίδα.....σελ.84	σελ.84
6.3.1.3 Μηχανές για ειδικές συνθήκες.....σελ.84	σελ.84
6.3.2 Γενικά για τις μηχανές TBM.....σελ.85	σελ.85
6.4 Εκσκαφή με χρήση εκρηκτικών υλών – Διάτρησης και ανατίναξης	σελ.96
6.4.1 Μηχανισμός θραύσης.....σελ.96	σελ.96
6.4.2 Η επίδραση του τύπου πετρώματος.....σελ.98	σελ.98
6.4.3 Χρησιμοποιούμενη εκρηκτική ύλη.....σελ.99	σελ.99
6.4.4 Διάνοιξη σηράγγων με εκρηκτικές ύλες κοντά σε κατοικημένες περιοχές.....σελ.100	σελ.100
7. Παράδειγμα για την «Κατασκευή σηράγγων Πλατάνου – Τράπεζας και γέφυρας Λαδοποτάμου στο τμήμα Κιάτο – Αίγιο της σιδηροδρομικής γραμμής υψηλών ταχυτήτων κανονικού εύρους Αθηνών – Πατρών από τη Χ.Θ. 67+870,00 έως τη Χ.Θ 73+135,00».....σελ.102	σελ.102
7.1 Εργασίες.....σελ.104	σελ.104
7.2 Προδιαγραφές σιδηροδρομικού δικτύου.....σελ.107	σελ.107
7.3 Περιγραφή της χαράξης.....σελ.107	σελ.107
7.3.1 Οριζοντιογραφία και κατά μήκος τομή.....σελ.107	σελ.107
7.4 Σήραγγα Πλατάνου.....σελ.108	σελ.108
7.4.1 Στοιχεία χάραξης σιδηροδρομικής σήραγγας και σηράγγων διαφυγής	σελ.109
7.4.2 Τυπική διατομή σιδηροδρομικής σήραγγας.....σελ.109	σελ.109
7.4.3 Τυπική διατομή σηράγγων διαφυγής.....σελ.111	σελ.111
7.4.4 Γεωλογικές συνθήκες στη περιοχή της σιδηροδρομικής σήραγγας.....σελ.112	σελ.112
7.4.5 Τεχνικά χαρακτηριστικά για την αντιστήριξη – διαμόρφωση των πρανών των στομιών της σήραγγας.....σελ.115	σελ.115
7.4.6 Σύστημα αποστράγγισης της σιδηροδρομικής σήραγγας.....σελ.115	σελ.115
7.4.7 Εκσκαφή και προσωρινή υποστήριξη σιδηροδρομικής σήραγγας.....σελ.117	σελ.117
7.4.8 Εκσκαφή και προσωρινή υποστήριξη σιδηροδρομικής σήραγγας σε περιοχή νεογενών.....σελ.118	σελ.118

7.4.9 Εκσκαφή και προσωρινή υποστήριξη σιδηροδρομικής σήραγγας σε περιοχή ασβεστολιθικών σχηματισμών.....σελ.119	σελ.119
7.4.10 Εκσκαφή και προσωρινή υποστήριξη σηράγγων διαφυγής.....σελ.120	σελ.120
7.4.11 Μόνιμη επένδυση σιδηροδρομικής σήραγγας (υπόγεια διάνοιξη).....σελ.125	σελ.125
7.4.12 Μόνιμη επένδυση τμημάτων Cut and Cover της σιδηροδρομικής σήραγγας.....σελ.125	σελ.125
7.4.13 Μόνιμη επένδυση σηράγγων διαφυγής.....σελ.126	σελ.126
7.4.14 Μόνιμη επένδυσης τμημάτων Cut and Cover σηράγγων διαφυγής.....σελ.126	σελ.126
7.4.15 Είσοδος σιδηροδρομικής σήραγγας.....σελ.126	σελ.126
7.4.16 Έξοδος σιδηροδρομικής σήραγγας.....σελ.128	σελ.128
7.4.17 Είσοδος σήραγγας διαφυγής OX1.....σελ.129	σελ.129
7.4.18 Είσοδος σήραγγας διαφυγής OX2 – διασταύρωση με Παλαιά Ε.Ο.....σελ.130	σελ.130
7.4.19 Παρακολούθηση συμπεριφοράς σήραγγας – έκτακτα μέτρα.....σελ.131	σελ.131
7.4.20 Προσωρινή αντιστήριξη.....σελ.131	σελ.131
7.4.21 Περιοχή στομίων.....σελ.132	σελ.132
7.4.22 Ακολουθία εργασιών.....σελ.133	σελ.133
7.5 Σήραγγα Τράπεζας.....σελ.133	σελ.133
7.5.1 Στοιχεία χάραξης σιδηροδρομικής σήραγγας και σηράγγων διαφυγής.....σελ.134	σελ.134
7.5.2 Τυπική διατομή σιδηροδρομικής σήραγγας.....σελ.135	σελ.135
7.5.3 Γεωλογικές συνθήκες στη περιοχή της σιδηροδρομικής σήραγγας.....σελ.137	σελ.137
7.5.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά για την αντιστήριξη – διαμόρφωση των πρανών των στομίων της σήραγγας.....σελ.139	σελ.139
7.5.5 Σύστημα αποστράγγισης της σιδηροδρομικής σήραγγας.....σελ.139	σελ.139
7.5.6 Διάνοιξη και προσωρινή αντιστήριξη της σιδηροδρομικής σήραγγας.....σελ.140	σελ.140
7.5.7 Διάνοιξη και προσωρινή αντιστήριξη σηράγγων διαφυγής.....σελ.141	σελ.141

7.5.8 Μόνιμη επένδυση σιδηροδρομικής σήραγγας (υπόγεια διάνοιξη).....σελ.145	σελ.145
7.5.9 Μόνιμη επένδυση σηράγγων διαφυγής.....σελ.145	σελ.145
7.5.10 Είσοδος σήραγγας διαφυγής ΣΔ1.....σελ.146	σελ.146
7.5.11 Είσοδος σήραγγας διαφυγής ΣΔ2 – διασταύρωση με Παλαιά Ε.Ο ...σελ.146	σελ.146
7.5.12 Προσωρινή αντιστήριξη.....σελ.147	σελ.147
7.5.13 Περιοχή στομίων.....σελ.147	σελ.147
7.5.14 Ακολουθία εργασιών.....σελ.148	σελ.148
7.6 Σιδηροδρομική γέφυρα Λαδοποτάμου.....σελ.148	σελ.148
7.6.1 Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά της γέφυρας.....σελ.149	σελ.149
7.6.1.1 Φορέας.....σελ.149	σελ.149
7.6.1.2 Βάθρα.....σελ.149	σελ.149
7.6.1.3 Θεμελίωση.....σελ.150	σελ.150
7.6.1.4 Υλικά.....σελ.151	σελ.151
7.6.1.5 Εδαφοτεχνικές συνθήκες.....σελ.151	σελ.151
7.6.1.6 Αποχέτευση – αποστράγγιση.....σελ.152	σελ.152
7.6.1.7 Μεθοδολογία κατασκευής – σειρά εργασιών.....σελ.152	σελ.152
7.7 Υδραυλικά έργα.....σελ.154	σελ.154
7.8 Χωματοουργικά έργα.....σελ.154	σελ.154
7.9 Έργα οδοποιίας.....σελ.155	σελ.155
7.9.1 Έργα οδοποιίας στη σήραγγα Πλατάνου.....σελ.155	σελ.155
7.9.2 Έργα οδοποιίας στη σήραγγα Τράπεζας.....σελ.156	σελ.156
7.10 Οδοστρωσία και ασφαλτικά.....σελ.156	σελ.156
7.11 Ηλεκτρομηχανολογικές εργασίες.....σελ.157	σελ.157
7.12 Εγκατάσταση αερισμού κατά την κατασκευή των σηράγγων.....σελ.157	σελ.157
7.12.1 Ενσωματωμένα υλικά.....σελ.158	σελ.158
7.12.2 Αποδεκτά υλικά.....σελ.158	σελ.158
7.12.3 Απαιτήσεις επιτελεστικότητας του συστήματος αερισμού.....σελ.159	σελ.159
7.12.4 Γενικές απαιτήσεις κατασκευής – εγκατάσταση συστήματος αερισμού.....σελ.160	σελ.160

7.13 Ηλεκτροφωτισμός σήραγγας κατά τη διάρκεια της κατασκευής.....σελ.163	
7.13.1 Απαιτήσεις επιτελεσματικότητας του συστήματος φωτισμού.....σελ.163	
7.13.2 Σχεδιασμός του συστήματος φωτισμού.....σελ.164	
7.13.3 Γενικές απαιτήσεις – εγκατάσταση συστήματος φωτισμού.....σελ.164	
7.14 Πιθανοί κίνδυνοι κατά την εκτέλεση των εργασιών.....σελ.165	
7.15 Μέτρα υγιεινής και ασφάλειας.....σελ.166	
7.16 Περιβαλλοντικά θέματα – Αρχαιολογία.....σελ.166	
8. Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις.....σελ.169	
9. Παράρτημα.....σελ.171	

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η αναφορά στις μεθόδους σχεδιασμού, ανάλυσης και κατασκευής των σιδηράγγων. Ειδικότερα αναπτύξαμε τη μέθοδο διάνοιξης σήραγγας Cut and Cover και ως παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου αυτής φέραμε την κατασκευή των σιδηράγγων Πλατάνου και Τράπεζας στο τμήμα Κιάτο – Αίγιο της σιδηροδρομικής γραμμής υψηλών ταχυτήτων κανονικού εύρους Αθηνών – Πατρών από τη Χ.Θ. 67 + 870,00 έως Χ.Θ. 73 + 135,00.

Σχετικά με το παραπάνω έργο ασχοληθήκαμε με τις εργασίες για την κατασκευή:

- της Σιδηροδρομικής Σήραγγας Πλατάνου για διπλή γραμμή μήκους 2292,2m με 2 στοές διαφυγής συνολικού μήκους 645m και Cut and Cover εισόδου και εξόδου συνολικού μήκους 33m

- της Σιδηροδρομικής Σήραγγας Τράπεζας για διπλή γραμμή μήκους 2748,12m με 2 στοές διαφυγής συνολικού μήκους 398m και Cut and Cover εισόδου και εξόδου συνολικού μήκους 34,51m

Στην εργασία θα υπάρξει αναφορά και για την κατασκευή της Σιδηροδρομικής Γέφυρας Λαδοποτάμου, συνολικού μήκους 109,50m που αποτελείται από δύο ανεξάρτητους φορείς, ένα για κάθε κατεύθυνση, της Νέας Διπλής Σιδηροδρομικής Γραμμής.

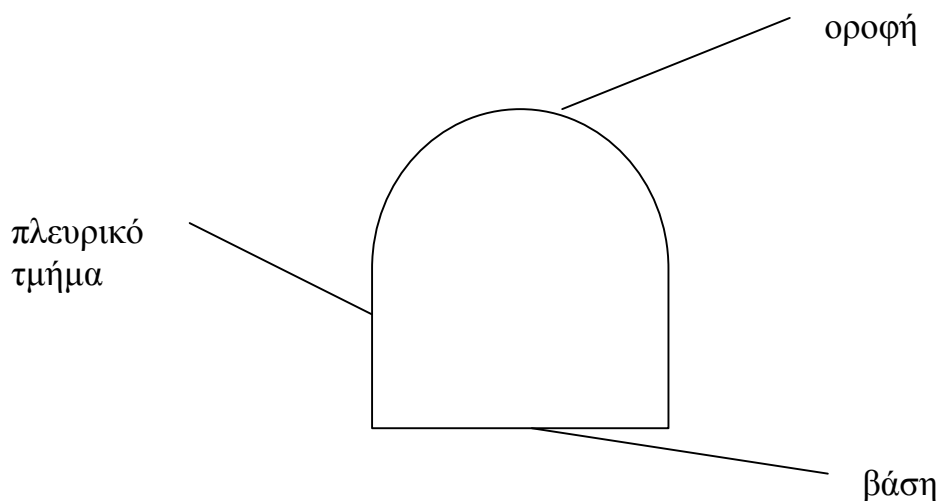
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

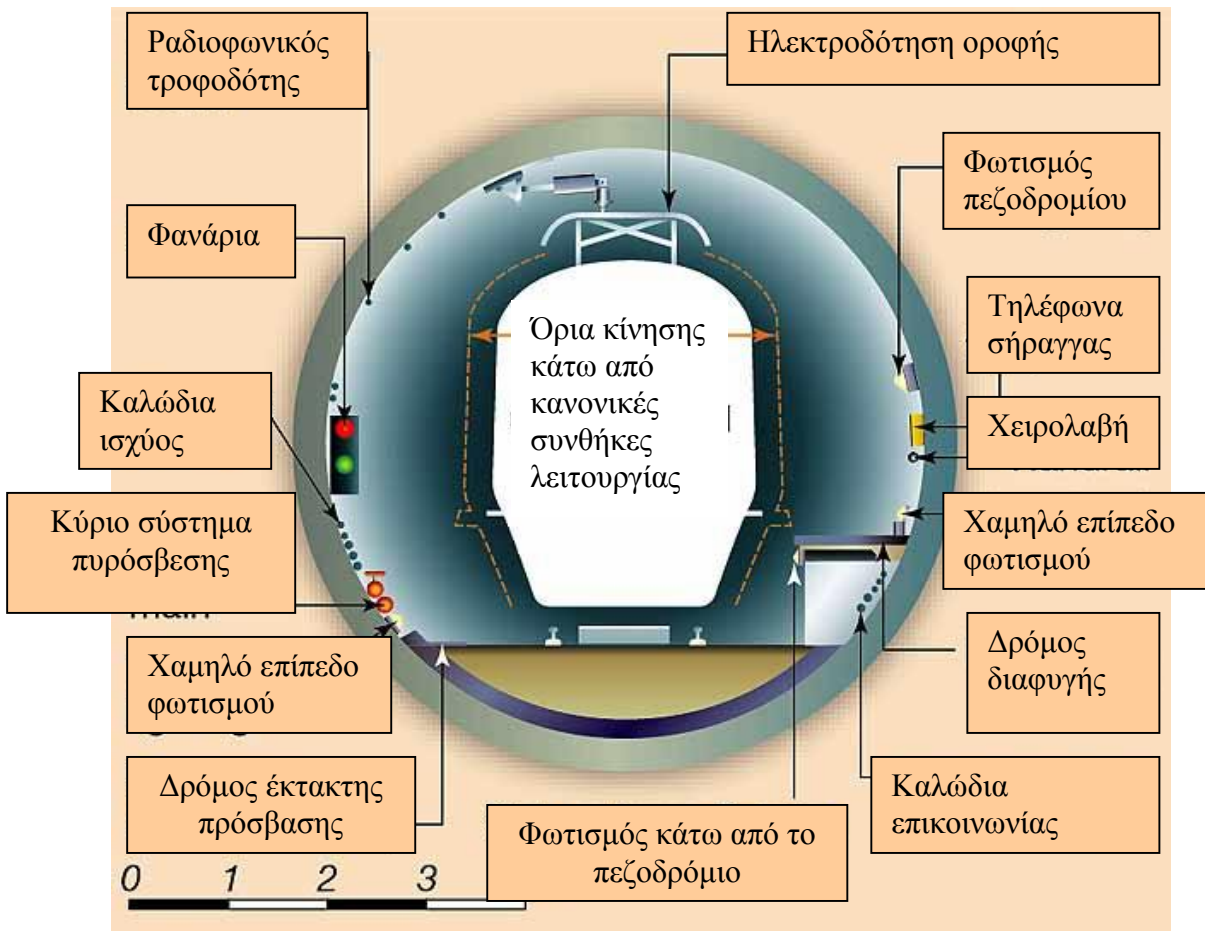
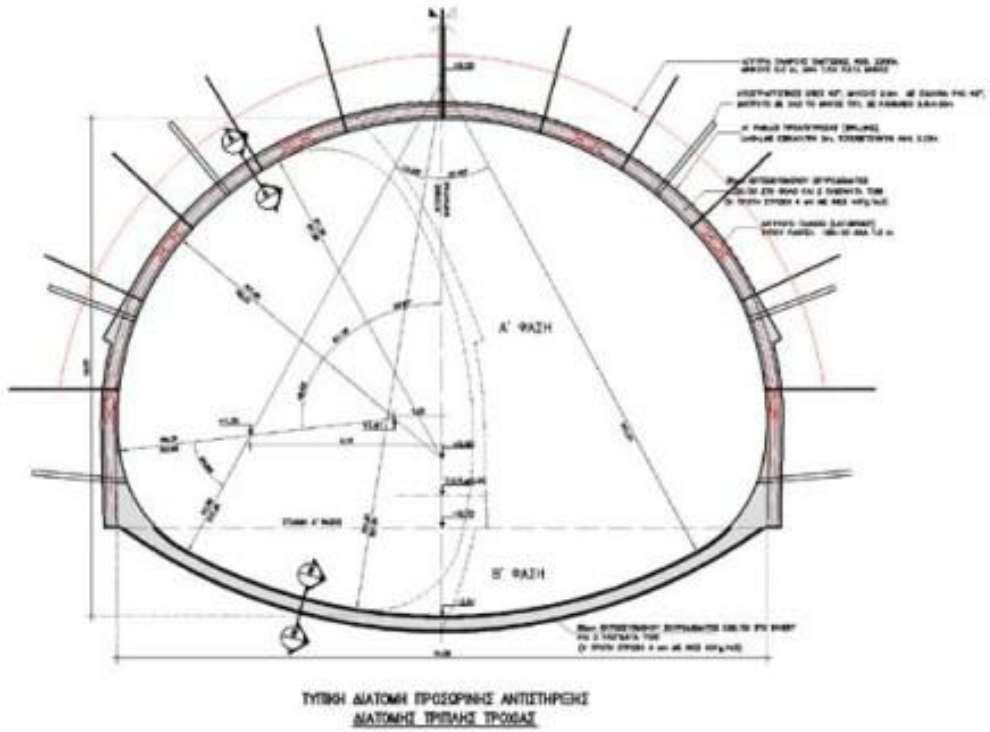
Οι σήραγγες ως έργα είναι ιδιαίτερα απαιτητικά τόσο στην φάση του σχεδιασμού τους και της κατασκευής τους όσο και της λειτουργίας και συντήρησής τους. Επιπλέον έχουν το μεγαλύτερο κόστος ανά μήκος συγκρινόμενα με άλλα συγκοινωνιακά ή υδραυλικά έργα. Ωστόσο δίνουν λύση όταν ο χώρος είναι περιορισμένος ή όταν οι γεωμορφολογικές συνθήκες είναι δύσκολες.

2.1 ΟΡΙΣΜΟΙ

Σήραγγες (Tunnels): οι σήραγγες είναι υπόγεια έργα με μεγάλη διαμήκης διάσταση συγκριτικά με την διατομή τους. Οι σήραγγες εφαρμόζονται κυρίως σε συγκοινωνιακά έργα, ως οδικές ή σιδηροδρομικές σήραγγες καθώς και ως τμήματα υδραγωγείου σε υδραυλικά έργα.

Η διατομή μιας σήραγγας αποτελείται συνήθως από τα ακόλουθα μέρη:





Διατομή Σιδηροδρομικής Σήραγγας

Μέθοδος NATM: διάνοιξη σπηραγγων με εκτεθειμένο το μέτωπο εκσκαφής, δηλαδή χωρίς την εφαρμογή πίεσης με μηχανικά μέσα και υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, απλό ή οπλισμένο και αγκύρια βράχου.

Μέθοδος Cut and Cover: κατασκευή σήραγγας σε ενισχυμένο, επίμηκες όρυγμα (cut) και έπειτα, σταδιακά, γίνεται η επίχωση (cover). Γενικά η κατασκευή cut & cover βρίσκεται κλεισμένη σε μια ενισχυμένη τσιμεντένια κατασκευή, σχήματος διπλού κουτιού, με ένα κεντρικό τοίχο ή με μια σειρά από πασσάλους για υποστήριξη .

Μηχανές TBM: οι Μηχανές Ολομέτωπης Διάνοιξης χρησιμοποιούνται για την κατασκευή σπηραγγων κυκλικής διατομής. Με τις μηχανές αυτές εκτελούνται ταυτόχρονα η διάνοιξη, η υποστήριξη του μετώπου και των τοιχωμάτων της σήραγγας και η τοποθέτηση της οριστικής υποστήριξης.



Μηχανή TBM

2.2 ΕΙΔΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Σήραγγες κατασκευάζονται σε:

1. Οδικά και σιδηροδρομικά συγκοινωνιακά δίκτυα
 - για διάβαση ορεινών όγκων
 - για παράκαμψη δυσμενών γεωλογικών συνθηκών όπως κατολισθήσεων ή ρηξιγενών ζωνών
 - για περιβαλλοντικούς λόγους
2. Αστικά συστήματα μαζικής μεταφοράς (Μετρό)
3. Υδραυλικά έργα
 - υδραγωγεία
 - έργα ταμίευσης (σήραγγες εκτροπής και υπερχείλισης φραγμάτων)
 - αποχετεύσεις και αποστραγγίσεις
4. Έργα αποστράγγισης για τη βελτίωση των συνθηκών ευστάθειας πρανών



Σιδηροδρομική Σήραγγα



Αττικό Μετρό



Σήραγγα Οδικού Δικτύου



Υδραυλική Σήραγγα



Σήραγγα Αποστράγγισης



Σιδηροδρομική Σήραγγα

3. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ



Ευπαλίγειο Όρυγμα

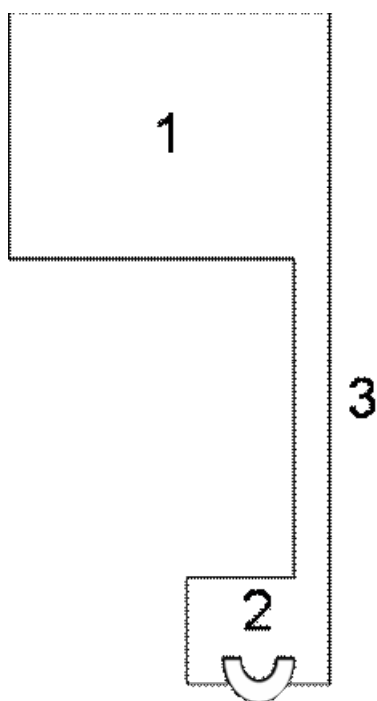
Από τα θαυμαστά και σπουδαία έργα του Πολυκράτη είναι και το **Ευπαλίγειο Όρυγμα**. Το σπουδαιότερο υδραγωγείο των παλιών χρόνων. Λεγόταν και αμφίστομο, γιατί είχε δύο στόμια. Βόρειο και νότιο. Μηχανικός που το κατασκεύασε, με διαταγή του Πολυκράτη, ήταν ο Ευπαλίνος, ο γιός του Μαστρόφου, από τα Μέγαρα. Απ' αυτόν πήρε και το όνομα. Έφερνε νερό στη πόλη, από τους Αγιάδες. Το Γερμανικό Ινστιτούτο Αθηνών το χαρακτηρίζει "θαυμαστό επίτευγμα μηχανικής, γιατί πέρασε μέσα από το βουνό της πόλης μια σήραγγα, που είχε μήκος 1045 μέτρα. Η σήραγγα αυτή αποτελείται από ένα βαθύ δρόμο και από ένα βαθύτερο σκάμμα, όπου έτρεχε το νερό μέσα σε πήλινους σωλήνες".



Ευπαλίγειο Όρυγμα

Χρειάστηκαν πολλά χρόνια και χρήματα και κόποι μεγάλοι για να γίνει ένα τέτοιο μεγάλο όρυγμα. Οι δουλειές άρχισαν την ίδια μέρα κι από τις δύο αντίθετες πλαγιές του βουνού. Το ένα συνεργείο άρχισε να ανοίγει οπή από την βορεινή πλαγιά, σε σημείο πολύ κοντά με την πηγή και το άλλο από την νότια, στη Σπηλιανή παρακάτω. Το ύψος του ορύγματος (τρύπας) ήταν 2,5 μέτρα περίπου. Τόσο ήταν επίσης και το πλάτος. Τα δύο τμήματα ενώθηκαν μέσα στο βουνό, με μικρή διαφορά στα οριζόντια και στο ύψος (5,8 μέτρα το ένα πλάι στο άλλο και 3 μέτρα πιο ψηλό το βόρειο). Για τη διόρθωση του μικρού αυτού λάθους βάθυναν το βορεινό άκρο όσο έπρεπε. Γι' αυτό το ύψος του ορύγματος στο μέρος εκείνο είναι μεγαλύτερο.

Σε σκάμμα, πλατύ ως μισό μέτρο και αρκετά βαθύ, ανάλογο με την προεπόμενη κλίση, τοποθέτησαν στη σειρά πήλινους σωλήνες, από τους οποίους περνούσε το νερό. Το σωληνωτό αυτό υδραγωγείο ήταν στην άκρη της μιας πλευράς του ορύγματος. Το υπόλοιπο μέρος, το πιο ξέβαθο, ήταν διάδρομος στενός για τους εργάτες, όσο συνεχιζόταν οι εργασίες και για τους συντηρητές αργότερα.

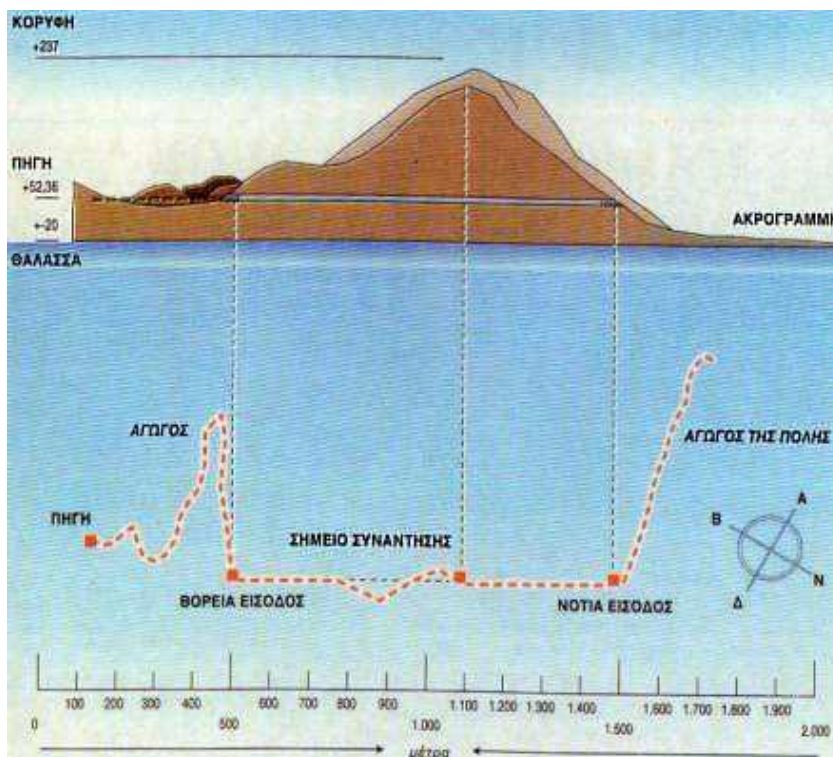


Τομή που δείχνει και τις δύο σήραγγες (1) – η κύρια σήραγγα (2) – η μικρότερη σήραγγα για τον αγωγό του νερού και (3) – κάθετο όρυγμα πρόσβασης

Σήμερα τέτοιες σήραγγες (γαλαρίες) βουνών, πολλά χιλιόμετρα μακριές, ανοίγονται εύκολα και γρήγορα, με τα μέσα που διαθέτουμε. Το Ευπαλίνειο όμως έγινε μόνο με τα χέρια. Δεν υπήρχαν τότε ούτε ηλεκτρικά ούτε μηχανήματα. Με τα καλέμια και τα σφυριά, χιλιάδες εργατικά χέρια, για πολλά χρόνια πελεκούσαν την πέτρα, μέσα στο στενό όρυγμα, χωρίς καθαρό αέρα, και χωρίς ηλεκτρικό φως.



Για αυτό και το έργο αυτό είναι αξιοθαύμαστο μέχρι σήμερα. Με το υδραγωγείο αυτό είχε εξασφαλίσει ο Πολυκράτης το νερό της πόλης, σε περίπτωση πολιορκίας. Πολλοί αρχαιολόγοι δεν βρίσκουν ικανοποιητικό το λόγο αυτό και ερευνούν να βρουν άλλο. Οι ίδιοι προσπαθούν να βρουν, για ποιο λόγο το αυλάκι του νερού έγινε τόσο βαθιά κάτω από το διάδρομο, πράγμα που θα στοίχισε πολλά σε χρήματα και σε κόπο και σε χρόνο.



Μηκοτομή της Σήραγγας

4. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Πριν από την κατασκευή μιας σήραγγας, ο μελετητής θα πρέπει να λάβει υπόψη του κάποια βασικά στοιχεία, όπως το γεωλογικό υπόβαθρο και την κατάσταση του εδάφους στη περιοχή εκτέλεσης του έργου.

4.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Κατά τον σχεδιασμό ενός υπόγειου έργου γίνεται μία εκτεταμένη γεωλογική έρευνα για τον εντοπισμό των ομοιογενών περιοχών παρόμοιων ιδιοτήτων καθώς και των περιοχών που πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή (π.χ. ρηξιγενείς ζώνες με μυλωνίτες κλπ). Εντοπίζονται τα γεωλογικά στρώματα που διασχίζει η σήραγγα, οι ιζηματογενείς ασυμφωνίες, οι τεκτονικές μορφές, ρήγματα κλπ. Κατά την κατασκευή γίνεται συνεχής καταγραφή των σχηματισμών που αποκαλύπτονται στο μέτωπο καθώς και η οριστική ταξινόμηση της βραχομάζας.

4.1.1 Ορισμοί

Πετρώματα (Rocks): οι γεωλογικοί σχηματισμοί κοντά στην επιφάνεια της Γης που κυριαρχούν είναι τα γνωστά πετρώματα. Τα πετρώματα σχηματίζονται με γεωλογικές διεργασίες μικρής έως μέσης χρονικής κλίμακας και αποτελούνται από διάφορα ορυκτά. Οι κατασκευές εδράζονται και αλληλεπιδρούν εν γένει με τα πετρώματα ή με τα προϊόντα της αποσάθρωσης των πετρωμάτων.

Κάρστ (Karst): το καρστ ή καρστικοποίηση αφορά τους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς. Με την επίδραση κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας και τον σχηματισμό ανθρακικού οξέως σε συνδυασμό με το νερό, ο ασβεστόλιθος αποσθρώνεται χημικά διεδρύνοντας τις ασυνέχειες και σχηματίζοντας κενά. Άλλοι γνωστοί καρστικοί σχηματισμοί είναι τα σπήλαια με σταλακτίτες και σταλαγμίτες. Τα καρστικά πετρώματα είναι έντονα υδατοπερατά, τα δε καρστικά τοπία είναι αδρά.

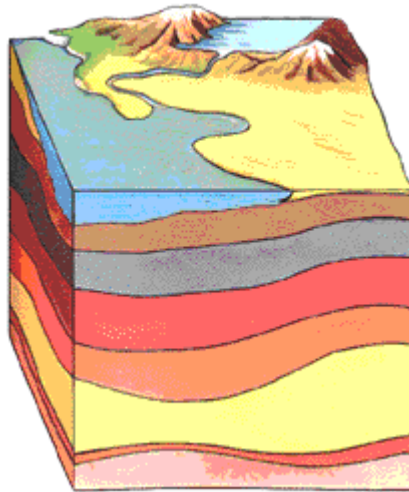
Ιζηματογενή πετρώματα (*Sedimentary rocks*): τα προϊόντα της αποσάθρωσης των πετρωμάτων εναποθέτονται σε λεκάνες λιμνών ή θαλασσών. Με την διεργασία της διαγένεσης σχηματίζονται όταν έχουμε χαμηλής πίεση ή / και χημική επίδραση τα ιζηματογενή πετρώματα. Τέτοια είναι τα Κροκαλοπαγή τα οποία προέρχονται από την συγκόλληση αδρών τεμαχίων πετρωμάτων. Οι Ψαμμίτες, Ιλυόλιθοι, Αργιλόλιθοι προέρχονται από την συγκόλληση εδαφικών ιζημάτων άμμου, ιλύος και αργίλου αντίστοιχα. Οι ασβεστόλιθοι και οι Δολομίτες είναι χημικά ιζηματογενή πετρώματα πλούσια σε ασβεστιτικά ορυκτά.



Ιζηματογενή Πετρώματα

Πυριγενή πετρώματα (*Igneous rocks*): σχηματίζονται από την πήξη του μάγματος του μανδύα της Γης. Όταν η πήξη γίνεται αργά και βαθμιαία σε κάποιος βάθος του φλοιού σχηματίζονται **Πλουτώνια πετρώματα** (*Plutonic rocks*) ή Πλουτώνιες διεισδύσεις, χαρακτηριστικό παράδειγμα ο Γρανίτης ο οποίος κυριαρχεί στον ηπειρωτικό φλοιό. Όταν η πήξη γίνεται βίαια στην ατμόσφαιρα της Γης ή στην θάλασσα σχηματίζονται **Εκρηξιγενή πετρώματα** (*Volcanic rocks*), χαρακτηριστικό παράδειγμα ο Βασάλτης ο οποίος κυριαρχεί στον θαλάσσιο φλοιό. Τα Πλουτώνια πετρώματα χαρακτηρίζονται από κρυσταλλικότητα ενώ τα Εκρηξιγενή από άμορφη μάζα.

Μεταμορφωμένα πετρώματα (*Metamorphic rocks*): τα πετρώματα σε καθεστώς υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας μεταμορφώνονται σε νέα πετρώματα με εντελώς διαφορετικά χαρακτηριστικά. Το χαρακτηριστικό των μεταμορφωμένων πετρωμάτων είναι η **σχιστότητα**, ο σχηματισμός δηλαδή επιπέδων αδυναμίας. Χαρακτηριστικά μεταμορφωμένα πετρώματα είναι οι Φυλίτες, οι Σχιστόλιθοι, οι Γνεύσιοι, οι Σερπεντινίτες ή Οφιόλιθοι και τα Μάρμαρα.



Μεταμορφωμένα πετρώματα

Φλύσχη (*Flysch*): είναι ένας γεωλογικός σχηματισμός που αποτελείται από ακολουθίες ιζηματογενών πετρωμάτων. Τα κύρια πετρώματα της ακολουθίας του Φλύσχη είναι ο Ψαμμίτης, ο αργιλικός Σχιστόλιθος, η Μάργα καθώς και ο Ιλυόλιθος, ωστόσο μπορούν να παρουσιαστούν άργιλοι, ασβεστόλιθοι κ.α. Ο Φλύσχη σχηματίστηκε όταν σχηματίστηκαν οι μεγάλοι ορεινοί όγκοι. Έτσι είναι έντονα τεκτονισμένος σχηματισμός που έχει υποστεί μεγάλες παραμορφώσεις, συνήθως με την μορφή πτυχώσεων ή κατακερματισμού. Η μηχανική συμπεριφορά του Φλύσχη χαρακτηρίζεται από ετερογένεια και είναι σχετικά καλή συνήθως όταν κυριαρχεί η ψαμμιτική φάση και κακή όταν κυριαρχεί η ιλυολιθική.

Ορυκτό (Mineral): τα βασικά συστατικά των πετρωμάτων είναι τα ορυκτά. Το πλέον τυπικό ορυκτό που παρουσιάζεται στα πετρώματα είναι ο Χαλαζίας (κρυσταλλικό οξείδιο του πυριτίου) καθώς το Πυρίτιο είναι από τα πιο διαδεδομένα συστατικά της Γης. Συχνά τα ορυκτά παρουσιάζονται σε κοιτάσματα στο φλοιό της Γης και χρήζουν εκμετάλλευσης.

Τεκτονικές μορφές. Αρχικά πρέπει να κατανοήσουμε ορισμένες από τις «Ατεκτονικές δομές»:

- **Η στρωμάτωση:** η εναλλαγή σχεδόν οριζοντίων στρώσεων ιζηματογενών πετρωμάτων.

- **Οι ιζηματογενείς φάσεις:** η εναλλαγή ιζηματογενών στρώσεων λόγω αλλαγών συνθηκών στις πηγές αποσάθρωσης και τροφοδοσίας της λεκάνης απόθεσης.

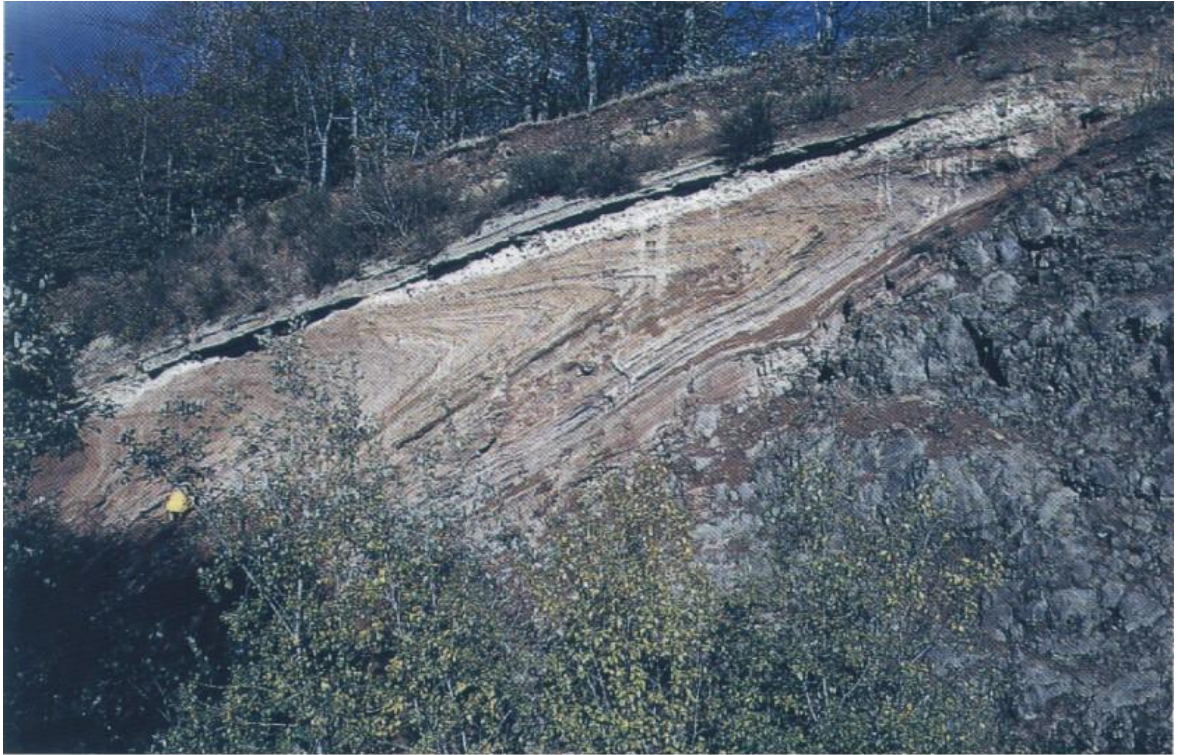
- **Οι ασυμφωνίες:** επιφάνειες διάβρωσης που ξεχωρίζουν ιζηματογενείς ζώνες διαφορετικής ηλικίας.

Οι τεκτονικές δυνάμεις (λόγω της δυναμικής των πλακών) προκαλούν την παραμόρφωση των ατεκτονικών δομών με πτυχώσεις, αναστροφές ιζηματογενούς σειράς, κ.α.

Ορισμένες από τις τεκτονικές μορφές είναι οι:

- **Ζώνες διάτμησης (Shear zones):** ζώνες όπου τα πετρώματα παραμορφώνονται σε μεγαλύτερο βαθμό παρουσιάζοντας χαρακτηριστικές διατμητικές μορφές (στροφές, ψαλιδισμό).

- **Πτυχές (Foldings):** εκτεταμένες παραμορφώσεις των πετρωμάτων σχηματίζοντας κυματοειδής επιφάνειες.



**Ατεκτονική δομή λόγω ολίσθησης του εδάφους
(Bahlbourg & Breitzkreuz 1998)**

• **Διεισδύσεις / Επωθήσεις (*Thrusts*):** οι μεν διεισδύσεις αφορούν πυριγενή πετρώματα που εισχωρούν στον φλοιό της Γης, οι δε επωθήσεις αφορούν πετρώματα που ωθούνται πάνω από άλλα πετρώματα λόγω του θλιπτικού πεδίου που επικρατεί στην περιοχή των ανάστροφων ρηγμάτων. Όταν η επώθηση έχει μικρή κλίση ($<30^\circ$) ονομάζεται **επίπευση**.

• **Διακλάσεις (*Joints*):** ρωγμές των πετρωμάτων όπου δεν παρατηρείται κίνηση (όπως συμβαίνει στα ρήγματα). Οι διακλάσεις αναπτύσσονται σε τεκτονισμένες περιοχές κοντά σε ρήγματα, όπου η κίνηση προκαλεί επέκταση, διεύρυνση των διακλάσεων και δημιουργία ομάδων διακλάσεων. Οι διακλάσεις είναι η πλέον σημαντική μορφή για την ερμηνεία της συμπεριφοράς της βραχομάζας.

• **Σχισμοί (*Schistosity*):** η χαρακτηριστική μορφή των μεταμορφωμένων πετρωμάτων. Δημιουργείται λόγω των συνθηκών πίεσης κατά την δημιουργία των μεταμορφωμένων πετρωμάτων.

4.2 ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ - ΡΗΓΜΑΤΑ

Επίπεδο διάκλασης (*Joint plane*): ένα επίπεδο στον χώρο το οποίο προσεγγίζει την γεωμετρία μίας διάκλασης (ασυνέχειας εν γένει). Μπορεί να αναφέρεται σε **Μεμονωμένη Ασυνέχεια** (*Single Discontinuity*) ή σε **Ομάδα Ασυνεχειών** (*Discontinuities Group*) που είναι παράλληλες.

Διεύθυνση ασυνέχειας (*Direction*): η διεύθυνση του επιπέδου ασυνέχειας στον χώρο.

Η διεύθυνση κάθε επιπέδου στον χώρο μπορεί να καθοριστεί από το κάθετο διάνυσμα και περιγράφεται από δύο γωνίες:

- **Αζιμούθιο** (*Azimuth*), η διεύθυνση (δεξιόστροφη γωνία) ως προς τον Βορρά της μέγιστης κλίσης. Οι Γεωλόγοι συχνά αναφέρονται στην διεύθυνση της παράταξης η οποία διαφέρει κατά 90° από την διεύθυνση της μέγιστης κλίσης.

- **Κλίση** ή **Βύθιση** (*Dip*), η γωνία του επιπέδου της ασυνέχειας ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

Στερεογραφική προβολή (*Stereographic projection*): η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται κατά κόρον για την απεικόνιση της διεύθυνσης των επιπέδων των διακλάσεων σε ένα διδιάστατο διάγραμμα. Η στερεογραφική προβολή που χρησιμοποιείται περισσότερο είναι η Ισεμβαδική, η οποία διατηρεί τα εμβαδά.

Αποστάσεις Διακλάσεων (*Joint Spacing*): η απόσταση μεταξύ των παράλληλων επιπέδων των διακλάσεων.

Αντοχή των παρειών της διάκλασης (*Joint Compressive Strength - JCS*): η αντοχή σε θλίψη του πετρώματος που βρίσκεται στην παρειά της διάκλασης. Λαμβάνεται συνήθως ίση με την αντοχή του άρρηκτου πετρώματος.



Έδαφος που παρουσιάζει ομάδα ασυνεχειών

Τραχύτητα της διάκλασης (*Joint Roughness Coefficient - JRC*): ένας σχετικός δείκτης για την τραχύτητα των παρειών της διάκλασης. Εξαρτάται έντονα από την εξεταζόμενη κλίμακα αναφοράς. Έχει άμεση σχέση με την αντίσταση (αντοχή) σε ολίσθηση.

4.3 ΕΛΑΦΟΣ

Έδαφος (*Soil*): Το λεπτό γεωλογικό στρώμα της επιφάνειας της γης τάξης μεγέθους βάθους: 0-50 μέτρα. Προϊόν της αποσάθρωσης και της εναπόθεσης των ιζημάτων σε λεκάνες απόθεσης (πριν υποστεί την διαδικασία της διαγένεσης σε ιζηματογενή πετρώματα). Επιπλέον μπορεί να βρίσκεται στην περιοχή του μητρικού πετρώματος και να παρουσιάζεται ως μανδύας αποσάθρωσης. Το έδαφος έχει μεγάλο ενδιαφέρον για τον μηχανικό διότι το μεγαλύτερο ποσοστό των αστικών κατασκευών είναι σε περιοχές απόθεσης όπως όχθες και δέλτα ποταμών.

4.3.1 Διερεύνηση του υπεδάφους (*Ground investigation*).

Το σύνολο των μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται για την εύρεση των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων του υπεδάφους είτε αυτό αφορά το εδαφικό κάλυμμα είτε τα πετρώματα. Μπορεί να περιοριστεί στην έρευνα πεδίων ή και στην εκτέλεση εργαστηριακών δοκιμών για τον προσδιορισμό των φυσικών παραμέτρων καθώς και των παραμέτρων αντοχής. Μερικές από τις μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται είναι:

- **Γεωλογική χαρτογράφηση (*Geological mapping*):** γίνεται από γεωλόγους στο πεδίο. Μας δίνει την αλληλουχία των γεωλογικών στρωμάτων και πληροφορίες για το πάχος τους και την διεύθυνσή τους. Είναι η πλέον βασική μορφή διερεύνησης κατά την μελέτη έργων όπως σήραγγες όπου το υπεδάφος μπορεί να βρίσκεται εκατοντάδες μέτρα από την επιφάνεια.

- **Επιτόπου εξέταση:** η οποία μπορεί να γίνει από έμπειρο μηχανικό ή γεωλόγο μετά από αφαίρεση του επιφανειακού φυτικού καλύμματος από το έδαφος ή σε πρηνή ορυγμάτων ή στα τοιχώματα της υπό εκσκαφή σήραγγας κλπ. Μπορεί να συνδυαστεί με διατάξεις επιτόπου δοκιμών όπως δοκιμή σημειακής φόρτισης ή λήψη δειγμάτων για το εργαστήριο.

- **Διερευνητικές γεωτρήσεις:** μεθοδολογία η οποία μπορεί να μας δώσει πληροφορίες και για τις απρόσιτες περιοχές του υπεδάφους. Τα δείγματα λαμβάνονται από ειδικούς δειγματολήπτες οι οποίοι εξάγουν αδιατάραχα δείγματα εδάφους. Υπάρχει μεγάλη γκάμα γεωτρύπανων και δειγματοληπτών τόσο για εδαφικά υλικά όσο και για πετρώματα. Στον χώρο της γεώτρησης υπάρχει γεωλόγος ο οποίος «χαρτογραφεί» επιτόπου την γεώτρηση και καθοδηγώντας τον γεωτρυπανιστή για την λήψη δειγμάτων και αλλαγή του εξοπλισμού. Τα δείγματα σφραγίζονται και πάνε στο εργαστήριο για δοκιμές. Είναι δυνατή ακόμα η εκτέλεση επιτόπου δοκιμών αντοχής, ειδικά σε χονδρόκοκκα (αμμώδη) εδάφη.

- **Γεωφυσικές διασκοπίσεις** (*Geophysical methods*): μία δέσμη μεθόδων για την εκτίμηση των ιδιοτήτων του υπεδάφους χωρίς τη φυσική επαφή με αυτό. Τέτοιες είναι οι ηλεκτρικές, μαγνητικές, βαρυτικές και μικροσεισμικές μέθοδοι.

4.3.2 Ιδιότητες εδάφους (*Soil properties*)

Το έδαφος είναι κοκκώδες υλικό - τριφασικό υλικό (στερεή φάση - νερό & αέρας) και οι κύριες φυσικές του ιδιότητες σχετίζονται με το μέγεθος των κόκκων, τα κενά μεταξύ των κόκκων καθώς και τον βαθμό κορεσμού σε νερό. Οι βασικότερες ιδιότητες είναι:

- **Ο Λόγος κενών** (*Void ratio*): δηλαδή ο λόγος του όγκου των κενών προς τον όγκο των στερεών.

- **Το Πορώδες** (*Porosity*): είναι ο λόγος του όγκου των κενών προς τον συνολικό όγκο.

- **Βαθμός κορεσμού** (*Degree of saturation*): ο λόγος του όγκου του περιεχόμενου νερού προς τον όγκο των κενών.

- **Περιεχόμενη υγρασία** (*Water content*): ο λόγος του βάρους του περιεχόμενου νερού προς το βάρος των στερεών.

4.3.3 Όρια Atterberg

Οι φυσικοί δείκτες για τα λεπτόκοκκα εδάφη (ιλυώδη - αργιλώδη) που αναφέρονται στην συμπεριφορά του εδάφους ανάλογα με την περιεχόμενη υγρασία (μετάβαση από την ισχνή -> πλαστική -> υδαρή κατάσταση). Τα όρια Atterberg είναι οι βασικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση των λεπτόκοκκων εδαφών.

Όριο Υδαρότητας (LL, %)

Όριο Πλαστικότητας (PL, %)

Όριο Συρρίκνωσης (SL, %)

Δείκτης Πλαστικότητας ($PI=LL-PL$)

Δείκτης Υδαρότητας [$LI=(m-PL)/PI$]

Δείκτης Συνεκτικότητας [$Ic=(LL-m)/PI$]

Ενεργότητα [$Act=PI/(\% \text{ clay})$]

$Cur(Kpa) = 1/(LI-0.21)^2$

<i>IC</i>	<i>CU (KPA)</i>	<i>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ</i>
0,05	20	Πολύ Μαλακό
0,05-0,25	20-40	Μαλακό
0,25-0,75	40-75	Στερεό
0,75-1,00	75-150	Σκληρό
1	150	Πολύ Σκληρό

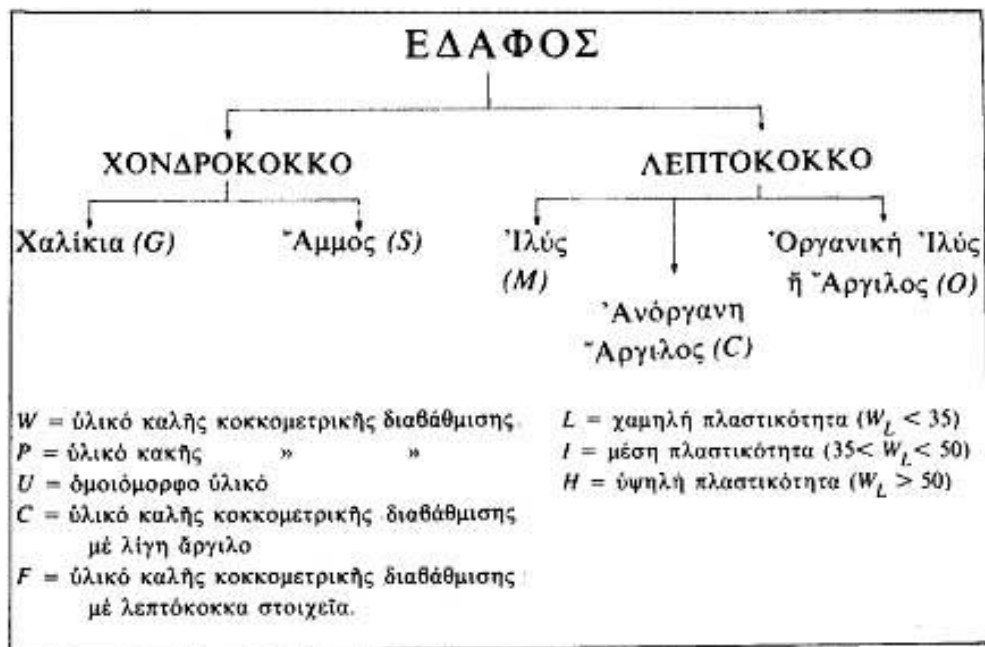
Όρια Atterberg

4.3.4 Κοκκομετρία εδάφους

Η κοκκομετρία του εδάφους αναφέρεται στην κατανομή του μεγέθους των κόκκων σε κάποιο εδαφικό δείγμα. Η πλήρη κοκκομετρική ανάλυση γίνεται με την χάραξη της **Κοκκομετρικής καμπύλης** .

Είναι η σημαντικότερη φυσική ιδιότητα και είναι αυτή που ταξινομεί τα εδάφη σύμφωνα με το χαρακτηριστικό μέγεθος των κόκκων του δείγματος:

- **Χαλίκια (Gravels)**, εάν το μέγεθος D είναι μεταξύ $2\text{mm} < D < 76.2\text{mm}$
- **Άμμοι (Sand)**, εάν $76\mu\text{m} < D < 2\text{mm}$
- **Ίλύς (Silt)**, εάν $2\mu\text{m} < D < 76\mu\text{m}$
- **Άργιλοι (Clay)**, εάν $D < 2\mu\text{m}$

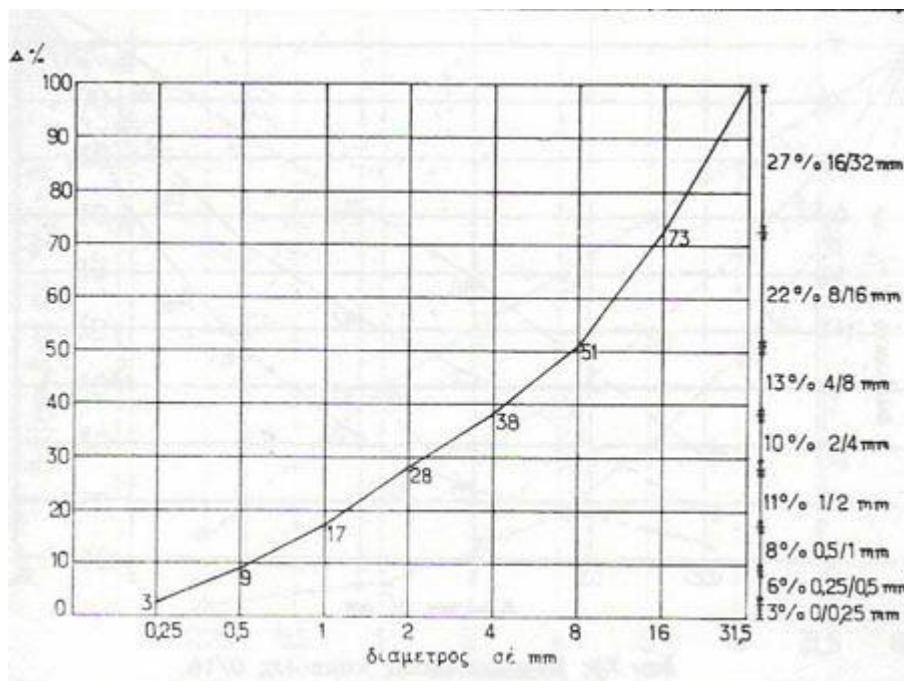


Ταξινόμηση εδαφών

4.3.5 Ταξινόμηση εδαφών

Η διαδικασία που ακολουθείται για την ταξινόμηση του εδάφους σύμφωνα με τα φυσικά του χαρακτηριστικά. Η πλέον συνηθισμένη ταξινόμηση είναι σε μία κατηγορία από Χαλίκια, Άμμος, Ιλύς και Άργιλος. Χρησιμοποιώντας επιπλέον στοιχεία εργαστηριακών δοκιμών, συγκεκριμένα, τα χαρακτηριστικά της κοκκομετρικής καμπύλης και των ορίων Atterberg είναι δυνατή η ταξινόμηση σε ειδικές κατηγορίες.

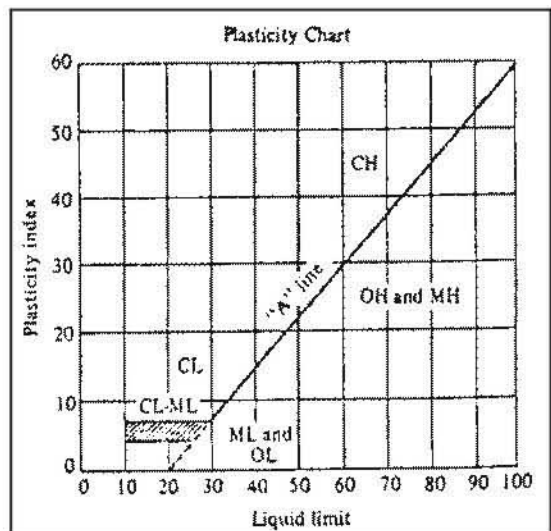
Η ταξινόμηση του εδάφους είναι απαραίτητη για την ταυτοποίηση του εδάφους η οποία μπορεί να δώσει μία εικόνα για την μηχανική συμπεριφορά του.



Παράδειγμα Κοκκομετρικής Καμπύλης

ΕΝΙΑΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΛΑΦΩΝ (ASTM D-2487)

Κύριος διαχωρισμός	Σύμβολα ομάδας	Όνομα	Εργαστηριακά κριτήρια ταξινόμησης	
<i>Χονδρόκοκκα εδάφη (Περισσότερο από το 50% των κόκκων έχουν διάμετρο μεγαλύτερη του κόσκινου No. 200)</i>			<i>Προσδιορισμός του ποσοστού της άμμου και των χαλικιών από την κοκκομετρική καμπύλη. Ανάλογα με το ποσοστό των λεπτόκοκκων ($d < 0,075 \text{ mm}$) τα χονδρόκοκκα εδάφη ταξινομούνται ως εξής:</i> <5% GW, GP, SW, SP >12% GM, GC, SM, SC 5-12% Οριακές περιπτώσεις (διπλή ονομασία)	
Καθαροί χάλικες (καθόλου λεπτόκοκκα)	GW	Καλά διαβαθμισμένα χαλίκια, μείγμα άμμου-χαλικιών, λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα υλικά	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4, \quad 1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$	
	GP	Μη διαβαθμισμένα χαλίκια, μείγμα άμμου-χαλικιών, λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα υλικά	Δεν ικανοποιούν όλες τις απαιτήσεις τις σχετικές με τη διαβάθμιση για να χαρακτηριστούν GW	
Χάλικες με λεπτόκοκκα (σημαντικό ποσοστό λεπτόκοκκων)	GM ^a	d u	Ευώδη χαλίκια, μείγμα άμμου-χαλίκια-ιλύς	Όρια Atterberg κάτω από τη γραμμή "A" ή P.I. μικρότερος του 4 Όρια Atterberg πάνω από τη γραμμή "A" και P.I. μεγαλύτερος του 7 Πάνω από τη γραμμή "A" με P.I. μεταξύ 4 και 7 είναι οριακές περιπτώσεις και απαιτείται η χρήση διπλού συμβολισμού.
	GC	Αργιλώδη χαλίκια, μείγμα άμμου-χαλίκια-άργιλος	Όρια Atterberg κάτω από τη γραμμή "A" ή P.I. μικρότερος του 4	
<i>Άμμοι (περισσότερο από το 50% του χονδρόκοκκων τμημάτων έχουν διάμετρο μικρότερη από αυτή του κόσκινου No. 4)</i>				
Καθαρές άμμοι (λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα)	SW	Καλά διαβαθμισμένες άμμοι, χαλικώδεις άμμοι, λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα υλικά	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6, \quad 1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$	
	SP	Μη διαβαθμισμένες άμμοι, χαλικώδεις άμμοι, λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα υλικά	Δεν ικανοποιούν όλες τις απαιτήσεις τις σχετικές με τη διαβάθμιση για να χαρακτηριστούν SW	
Άμμοι με λεπτόκοκκα (σημαντικό ποσοστό λεπτόκοκκων)	SM ^a	d u	Ευώδεις άμμοι, μείγμα άμμου-άργιλος	Οι περιπτώσεις που προβάλλονται στην γραμμοσκιασμένη ζώνη (P.I. = 4-7) είναι οριακές και απαιτείται η χρήση διπλού συμβολισμού
	SC	Αργιλώδεις άμμοι, μείγμα άμμου-άργιλος	Όρια Atterberg πάνω από τη γραμμή "A" και P.I. μεγαλύτερος του 7	
<i>Λεπτόκοκκα εδάφη (Περισσότερο από το 50% των κόκκων έχουν διάμετρο μεγαλύτερη του κόσκινου No. 200)</i>				
Ιλύς και άργιλοι (LL < 50)	ML	Ανόργανες ιλύεις και λεπτόκοκκες άμμοι, ιλυώδεις ή αργιλώδεις άμμοι, ή αργιλώδεις ιλύεις με μικρή πλαστικότητα		
	CL	Ανόργανες άργιλοι με μικρή έως μέτρια πλαστικότητα, χαλικώδεις άργιλοι, αμμώδεις άργιλοι, ιλυώδεις άργιλοι, άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας		
	OL	Οργανικές ιλύεις και οργανικές ιλυώδεις άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας		
Ιλύς και άργιλοι (LL < 50)	MH	Ανόργανες ιλύεις, μαρμαρυγιακές ή διατομικές λεπτόκοκκες άμμοι ή ιλυώδη εδάφη, ελαστικές ιλύεις		
	CH	Ανόργανες άμμοι μεγάλης πλαστικότητας, λιπώδεις άργιλοι		
	OH	Οργανικές άργιλοι μέτριας ή μεγάλης πλαστικότητας, οργανικές ιλύεις		
Πολύ οργανικά εδάφη	PT	Τύρφη και άλλα οργανικά εδάφη		



Σύστημα ταξινόμησης εδαφών

4.3.6 Αντοχή εδάφους

Η **διατμητική αντοχή** του εδάφους αναφέρεται στην ικανότητα του εδάφους να φέρει φορτία χωρίς να αστοχεί. Η αστοχία του εδάφους είναι συνήθως διατμητική, παρουσιάζοντας επίπεδο ολίσθησης. Το μοντέλο διατμητικής αντοχής που χρησιμοποιείται ευρέως είναι των **Mohr - Coulomb** με την χρήση δύο παραμέτρων: ϕ (γωνία τριβής) και c (συνοχή) και εκφράζεται ως:

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan(\phi)$$

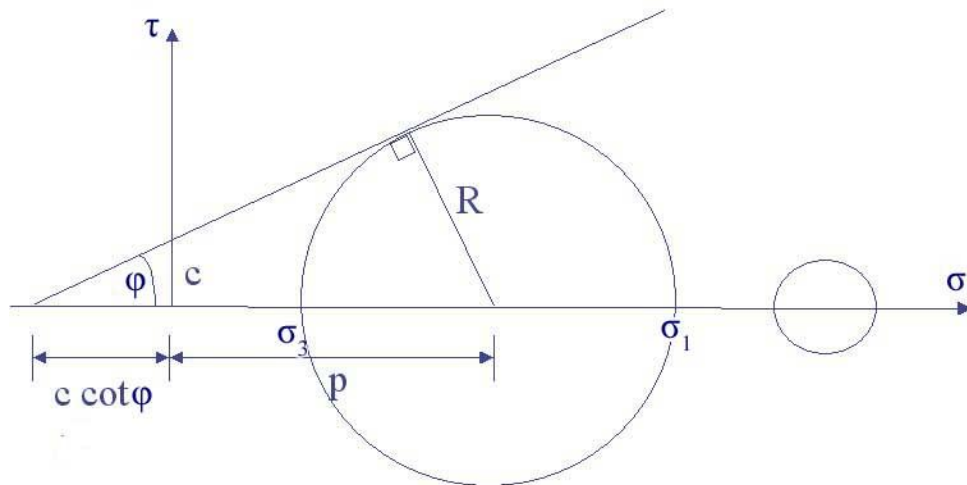
Όπου τ είναι η **διατμητική τάση** που προκαλεί αστοχία για συγκεκριμένη **ορθή τάση** σ . Τα τ , σ και c έχουν μονάδες τάσεις (συνήθως kPa για το έδαφος ή MPa για ανθεκτικά εδάφη ή βράχια (c) - υψηλές επιτόπου τάσεις (τ , σ)).

Ο προσδιορισμός της αντοχής γίνεται εργαστηριακά, ωστόσο για χονδρόκοκα εδάφη όπως οι άμμοι καλύτερα αποτελέσματα δίνει η επιτόπου δοκιμή (SPT). Εφόσον το έδαφος είναι πολυφασικό υλικό, σημαντικό ρόλο στην συμπεριφορά του παίζει η πίεση του νερού των εδαφικών πόρων καθώς ασκεί πίεση προς όλες τις διευθύνσεις και μειώνει την αντίσταση του εδάφους μέσω του μηχανισμού της εσωτερικής τριβής.

Αν u είναι η **υδατική πίεση των πόρων**, τότε η **ενεργός ορθή τάση** είναι $\sigma' = \sigma - u$ η δε **διατμητική** είναι $\tau' = \tau$ (τα ρευστά δεν μεταφέρουν διάτμηση).

Στην συνέχεια ο νόμος των Mohr - Coulomb μπορεί να διατυπωθεί με χρήση των ενεργών τάσεων:

$$\tau' = c' + \sigma' \cdot \tan(\phi')$$



Διάγραμμα Κύκλου Mohr

4.4 ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ

Με τον όρο **βραχομάζα** αναφερόμαστε στο σύνθετο υλικό που αποτελείται από τα πετρώματα με την δομή - ατέλειές τους. Το κύριο πέτρωμα λέγεται **άρρηκτο πέτρωμα** (*Intact rock*), ορισμένες φορές αναφέρεται και ως **μητρικό πέτρωμα**. Οι ατέλειες (ή ασυνέχειες όπως θα αναφερόμαστε) διακρίνονται κυρίως σε διακλάσεις οι οποίες παρουσιάζονται συνήθως σε ομάδες και σε εναλλαγές της ιζηματογένεσης (χαρακτηριστικό παράδειγμα ο Φλύσχις).

Η βραχομάζα ως υλικό έχει τις εξής ιδιαιτερότητες:

- Η συνολική συμπεριφορά της βραχομάζας εξαρτάται τόσο από τις ιδιότητες του άρρηκτου πετρώματος αλλά περισσότερο από την δομή, δηλαδή το πλήθος των ομάδων των ασυνεχειών και των ιδιοτήτων τους (όπως η τραχύτητά τους).

- Η συμπεριφορά εξαρτάται έντονα από την κλίμακα αναφοράς καθώς μεταβάλλεται το πλήθος των ασυνεχειών που περιέχονται στη βραχομάζα που ενεργοποιείται κατά την κατασκευή και την λειτουργία ενός έργου ανάλογα με το μέγεθος του.

Κανονικά Διακλασμένη Βραχομάζα: όταν ο αριθμός των συστημάτων (ομάδων) διακλάσεων είναι μέχρι τέσσερα, δημιουργούνται γεωμετρικές - πρισματικές δομές του πετρώματος. Το υλικό αυτό παρουσιάζει ανισοτροπική (*Anisotropic*) συμπεριφορά εξαρτώμενη από την διεύθυνση φόρτισης.

Έντονα Διακλασμένη Βραχομάζα: όταν ο αριθμός των συστημάτων διακλάσεων είναι άνω του τέσσερα είναι δύσκολο να διακριθούν γεωμετρικές δομές και προτιμήσεις διευθύνσεων και η βραχομάζα ουσιαστικά συμπεριφέρεται ισοτροπικά (*Isotropic*).

RQD (Rock Quality Designation), ο δείκτης RQD καθιερώθηκε το 1964 από τον Deere και βασίζεται στην μέτρηση του μήκους των τεμαχίων διερευνητικής γεώτρησης που είναι άνω των 10 cm. Ο δείκτης τελικά υπολογίζεται ως το πηλίκο του αθροίσματος των μηκών αυτών των τεμαχίων προς το συνολικό μήκος της πυρηνοληψίας της γεώτρησης (του συγκεκριμένου πετρώματος) σαν ποσοστό %. Ο δείκτης RQD από μόνος του μπορεί να ταξινομήσει την βραχομάζα σε 5 κατηγορίες από «Εξαιρετική» έως «Πολύ φτωχή».

4.4.1 Ταξινόμηση βραχομάζας (*Rockmass classification*).

Η ταξινόμηση της βραχομάζας αναφέρεται στην μεθοδολογία για τον χαρακτηρισμό της βραχομάζας σύμφωνα με τις ιδιότητες των περιεχόμενων πετρωμάτων και τα δομικά της χαρακτηριστικά. Η ταξινόμηση της βραχομάζας τυποποιεί το υλικό σε κάποια κατηγορία, δίνει μία εκτίμηση για την μηχανική συμπεριφορά ποσοτικοποιώντας τις παραμέτρους αντοχής και παραμορφωσιμότητας.

Συγκεκριμένα ως προς το θέμα των παραμέτρων μηχανικής συμπεριφοράς, πολλές φορές η ταξινόμηση είναι η μόνη μεθοδολογία που μπορεί να τις παράσχει. Η ταξινόμηση βασίζεται στις φυσικές παρατηρήσεις στα πετρώματα και στις ασυνέχειές τους (αντοχή άρρηκτου πετρώματος, αποστάσεις μεταξύ ασυνεχειών, κατακερματισμός, τραχύτητα, συνθήκες υπογείων νερών, κ.α.).

Τα συστήματα ταξινόμησης που έχουν τύχει ευρείας αποδοχής είναι τα:

- **Σύστημα RMR του Biewniawski (Rock Mass Rating)**. Ιδρύθηκε από τον Biewniawski το 1973 και έχει δεχθεί διάφορες τροποποιήσεις (1979). Το σύστημα RMR βασίζεται στην εκτίμηση πέντε παραγόντων: της αντοχής του άρρηκτου πετρώματος, του βαθμού κατακερματισμού RQD, τις αποστάσεις μεταξύ των ασυνεχειών, την κατάσταση των διακλάσεων και την κατάσταση των υπογείων νερών. Ο δείκτης παίρνει αριθμητικές τιμές μεταξύ 0 και 100 και χαρακτηρίζει την βραχομάζα σε μία από πέντε κατηγορίες I - V (Πολύ καλή - Πολύ πτωχή). Το σύστημα RMR μπορεί να μας παράσχει τα απαραίτητα μέτρα υποστήριξης για σήραγγα, εκτίμηση του μέτρου ελαστικότητας, των παραμέτρων αντοχής κ.α. Αν και η χρήση του είναι ευρέως αποδεκτή, έχει λάβει σοβαρή κριτική από τους υποστηρικτές της μεθόδου GSI.

- **Σύστημα Q του Barton - NGI**. Το σύστημα αυτό ταξινόμησης προτάθηκε από τον Barton το 1974 και έχει δεχθεί διάφορες τροποποιήσεις (πλέον πρόσφατη: Barton, Grimstad 1993). Η μεθοδολογία αυτής της ταξινόμησης συνδέεται άμεσα με την λεγόμενη «Νορβηγική Μέθοδο» για την κατασκευή σηράγγων. Όπως και η RMR βασίζεται στην συνεκτίμηση διάφορων δεικτών και η βαθμολογία Q λαμβάνει τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 0 και 400 ή και μεγαλύτερες για βραχομάζα εξαιρετικά καλής ποιότητας. Το σύστημα Q δίνει καλά αποτελέσματα για κρυσταλλικά πετρώματα.

• **Σύστημα GSI των Hoek-Brown, 1997 - Hoek-Marinos, 2000** (*Geological Strength Index*). Το σύστημα GSI βασίζεται στην συνεκτίμηση δύο παραγόντων: του βαθμού κατακερματισμού - τεκτονισμού της βραχομάζας και της κατάστασης των ασυνεχειών. Η διαδικασία της ταξινόμησης με το GSI είναι απλή, βασίζεται σε έναν απλό εικονογραφημένο πίνακα και έχει επιπλέον το πλεονέκτημα πως είναι «φιλική μέθοδος» για τον γεωλόγο που θα ασχοληθεί με την γεωλογική χαρτογράφηση και την ταξινόμηση. Ο δείκτης GSI λαμβάνει τιμές μεταξύ 0 και 100, μάλιστα μπορεί να χρησιμοποιείται στην θέση του RMR για $RMR > 25$. Ο δείκτης GSI μπορεί να μας δώσει τις παραμέτρους αντοχής m , s , a για το κριτήριο αστοχίας Hoek-Brown συνεκτιμά επιπλέον τους παράγοντες της αντοχής του άρρηκτου πετρώματος (μέσω της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη και της παραμέτρου m_i του πετρώματος) καθώς και του καθεστώτος των επιτόπου τάσεων για την εξαγωγή παραμέτρων αντοχής τύπου Mohr-Coulomb, των παραμέτρων υποστήριξης, του μέτρου ελαστικότητας κ.α. Ο δείκτης GSI φαίνεται να ταιριάζει πολύ καλά στα πετρώματα που συναντάμε στην Ελλάδα. Οι Hoek και Μαρίνος μάλιστα έχουν προτείνει μεθοδολογία για την εκτίμηση του GSI σε σχηματισμού Φλύσχη ο οποίος είναι πολύ συνηθισμένος σχηματισμός στην Ελλάδα.

4.4.2 Αντοχή βραχομάζας (*Rockmass strength*).

Τα μοντέλα συμπεριφοράς για την αστοχία της βραχομάζας είναι αρκετά σύνθετα λόγω της φύσης του υλικού. Επιγραμματικά μπορούμε να διαχωρίσουμε τις παρακάτω δύο περιπτώσεις:

• Για κανονικά διακλασμένη βραχομάζα όπου η συμπεριφορά είναι ανισοτροπική, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μοντέλα που λαμβάνουν υπόψη τις μεμονωμένες ομάδες ασυνεχειών και των διευθύνσεων του στον χώρο. Τέτοια μοντέλα είναι των Jaeger - Cook (1960) και Amadei (1986, 1988) και βασίζονται στις συνθήκες ολίσθησης στις διακλάσεις.

Επιπλέον είναι δυνατή η ανάλυση λαμβάνοντας υπόψη τους δυνατούς μηχανισμούς αστοχίας που δημιουργούνται. Τέτοιες είναι για παράδειγμα οι σφήνες που δημιουργούνται από την συμβολή 2-3 ομάδων ασυνεχειών και των τοιχωμάτων σήραγγας ή των πρανών ορύγματος. Για την εκτίμηση αυτού του κινδύνου χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο η απεικόνιση των διακλάσεων και των επιφανειών των έργων σε στερεογραφική προβολή. Κατόπιν χαράσσεται ο κύκλος τριβής και εξετάζεται αν οι δημιουργούμενες σφήνες μπορούν να αστοχήσουν με την συμβολή της βαρύτητας.

- Για την έντονα διακλασμένη βραχομάζα όπου η συμπεριφορά είναι ουσιαστικά ιστροπική χρησιμοποιείται κάποιο κριτήριο αστοχίας και συνηθισμένες μεθοδολογίες της μηχανικής για την ανάλυση. Τα πλέον ευρέως διαδεδομένα κριτήρια αστοχίας που χρησιμοποιούνται για την αντοχή της ιστροπικής βραχομάζας είναι των Mohr-Coulomb και των Hoek-Brown (1980, 1997). Το κριτήριο Mohr-Coulomb χρησιμοποιείται και για την εκτίμηση της αντοχής του εδάφους, για την περίπτωση της βραχομάζας πρέπει να χρησιμοποιείται για συγκεκριμένο επίπεδο επιτόπου τάσεων (λόγω παραβολικής καμπύλης αντοχής της βραχομάζας σε αντίθεση με την γραμμική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το έδαφος).

Το κριτήριο των Hoek-Brown χρησιμοποιεί τρεις παραμέτρους αντοχής: m , s , a οι οποίες μπορούν να εκτιμηθούν από τον δείκτη GSI. Στην συνέχεια με χρήση του κριτηρίου Hoek-Brown και των παραμέτρων του, τις επιτόπου τάσεις και την αντοχή του άρρηκτου πετρώματος, είναι δυνατή η εκτίμηση παραμέτρων φ και c του κριτηρίου Mohr-Coulomb. Αυτό είναι χρήσιμο όταν θέλουμε να εφαρμόσουμε μεθόδους ανάλυσης που βασίζονται σε αυτές τις παραμέτρους.

5. ΣΗΡΑΓΓΕΣ

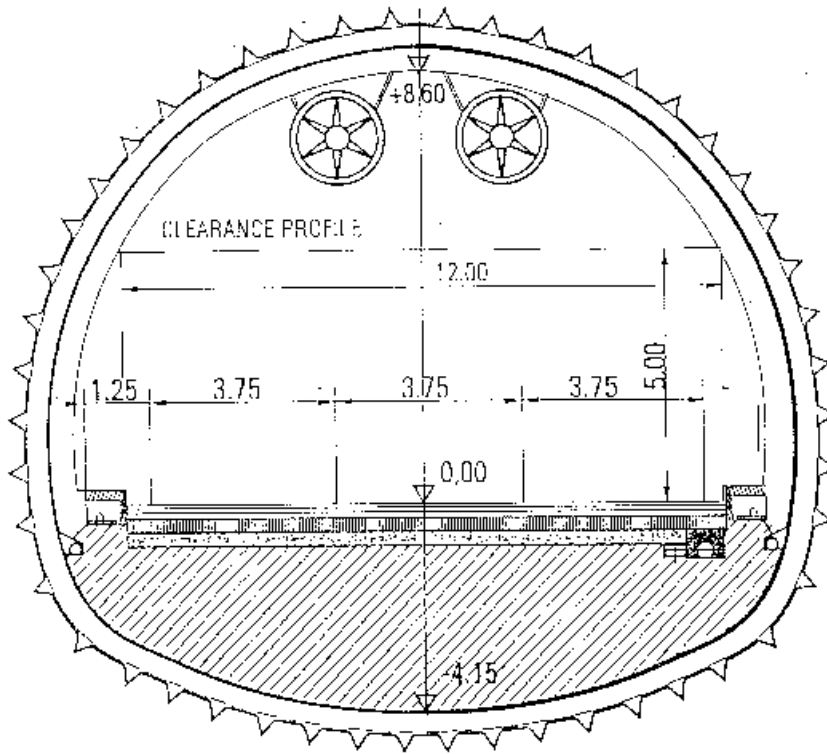
Τα τεχνικά έργα που κατασκευάζονται μέσα στο έδαφος θέτουν από τη φύση τους σύνθετα προβλήματα στον κατασκευαστή. Στο γενικότερο πλαίσιο υπόγειων κατασκευών η πιο βασική εργασία είναι ο στατικός έλεγχος της κατασκευής. Ο σχεδιασμός της προσωρινής υποστήριξης και η διαστασιολόγηση της οριστικής επένδυσης προϋποθέτουν τον προσδιορισμό των φορτίων που θα ασκηθούν πάνω τους. Ο προσδιορισμός τους συναντά δυσκολίες, προϋποθέτει καλό θεωρητικό υπόβαθρο και εμπειρία.

5.1 ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

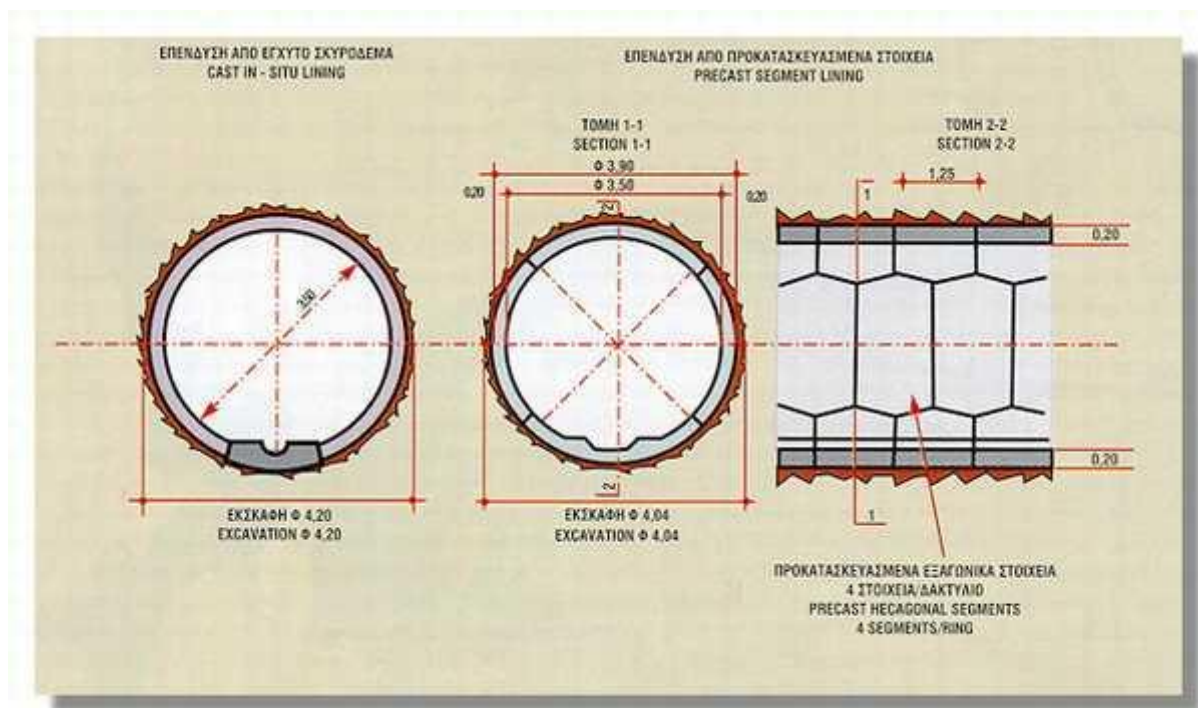
Η διάνοιξη της σήραγγας είναι το κρισιμότερο στάδιο στην κατασκευή της. Ανάλογα με την μεθοδολογία κατασκευής μπορεί να γίνεται ανεξάρτητα ή ταυτόχρονα με την τελική επένδυση της σήραγγας. Κατά την διάνοιξη προκαλείται αποτόνωση των τάσεων στον περιβάλλοντα βράχο με αποτέλεσμα την εκδήλωση παραμορφώσεων. Σε κάθε περίπτωση οι παραμορφώσεις πρέπει να είναι ελεγχόμενες ώστε να διατηρείται η επιθυμητή διατομή και να αποτρέπεται η αστοχία μέχρι και την πλήρη κατάρρευση (μέσω σύνθλιψης των τοιχωμάτων ή αστοχίας του μετώπου). Οι τεχνικές διάνοιξης μπορούν να χωριστούν καταρχήν σε Συμβατικές και σε πλήρως Μηχανοποιημένες μεθόδους. Κατά την διάνοιξη και ανάλογα με την μεθοδολογία εκσκαφής είτε τοποθετείται άμεσα η τελική επένδυση είτε κάποια προσωρινά μέτρα υποστήριξης τα οποία διατηρούν την διατομή μέχρι την τελική επένδυση.

5.1.1 Διατομή σήραγγας

Οι συνήθεις σήραγγες έχουν κάποια σταθερή γεωμετρία διατομής κατά μήκος. Η διατομή χαρακτηρίζεται από την γεωμετρία καθώς και από το μέγεθος (π.χ. διάμετρος ή επιφάνεια διατομής). Οι συνηθισμένες γεωμετρίες που χρησιμοποιούνται είναι οι κυκλικές, οι ελλειπτικές, σκουφοειδείς, πεταλοειδείς



Διατομή σήραγγας



Διατομή Σήραγγας

5.1.2 Μέτωπο εκσκαφής

Ως **μέτωπο εκσκαφής** χαρακτηρίζουμε την επιφάνεια πάνω στην οποία γίνεται η εκσκαφή της σήραγγας. Με την εκάστοτε μεθοδολογία γίνεται θραύση των πετρωμάτων του μετώπου και κατόπιν απομάκρυνση των προϊόντων εκσκαφής. Ένα τμήμα του βράχου μεταξύ μετώπου και μέτρων υποστήριξης που έχουν τοποθετηθεί μένει ανεπένδυτο. Το μήκος αυτό πρέπει να περιορίζεται ανάλογα και με τις γεωμηχανικές συνθήκες. Επιπλέον, το μέτωπο πρέπει να είναι ευσταθές καθώς η αστοχία του είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο φαινόμενο. Σε περίπτωση ασθενών υλικών σε συνθήκες σύνθλιψης πρέπει να περιορίζεται το μέτωπο εκσκαφής εφαρμόζοντας διαδοχική εκσκαφή ή μέθοδοι υποστήριξης του μετώπου όπως οι **δοκοί προπορίας** (*fore-polling*).

5.2 ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Η υποστήριξη της σήραγγας αναφέρεται στην λήψη κατάλληλων μέτρων ώστε να εκτελείται ασφαλής κατασκευή περιορίζοντας τις παραμορφώσεις των τοιχωμάτων. Το ποσοτικό μέτρο για τον σχεδιασμό της υποστήριξης είναι το φορτίο υποστήριξης το οποίο θεωρητικά ασκείται από τα μέτρα υποστήριξης προς τον περιβάλλοντα βράχο. Μία σήραγγα μπορεί να είναι ανεπένδυτη ή ανυποστήρικτη, όταν οι γεωμηχανικές συνθήκες το επιτρέπουν· σε αυτήν την περίπτωση το φορτίο υποστήριξης είναι 0 (μηδέν).

5.2.1 Μέτρα υποστήριξης

Τα μέτρα υποστήριξης αφορούν κατασκευές οι οποίες αναλαμβάνουν το φορτίο υποστήριξης. Ανάλογα με την μεθοδολογία κατασκευής τοποθετούνται ως τελική επένδυση ή ως προσωρινά μέτρα υποστήριξης.

Τα πλέον διαδεδομένα μέτρα υποστήριξης είναι τα παρακάτω:

- **Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Shotcrete)** ή *Ganite*.



- **Πλαίσια (Frames)** Χαλύβδινα ή ξύλινα.



- *Αγκύρια (Anchors) και καρφιά (nails).*



- *Δικτώματα (Lattice girders).*



- *Δομικά πλέγματα (Structural grids).*



- *Προκατασκευασμένα στοιχεία (π.χ. σε κατασκευή με TBM).*

5.2.2. Τελική Επένδυση

Η τελική επένδυση είναι το τελευταίο στάδιο κατασκευής της σήραγγας δημιουργώντας μία σταθερή, ανθεκτική και ασφαλής διατομή εξασφαλίζοντας μεταξύ άλλων μία μακροχρόνια περίοδο λειτουργικότητας. Η τελική επένδυση κατασκευάζεται συνήθως από οπλισμένο σκυρόδεμα και τοποθετείται πάνω στην προσωρινή επένδυση. Οι μέθοδοι κατασκευής με TBM μπορούν να προβλέπουν άμεση τοποθέτηση της τελικής επένδυσης μετά την εκσκαφή.

5.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Ο σχεδιασμός συνεκτιμά τα επιθυμητά γεωμετρικά χαρακτηριστικά της σήραγγας και τις γεωμηχανικές συνθήκες για να προτείνει μεθοδολογία κατασκευής και στην συνέχεια να εκτιμήσει τα απαιτούμενα μέτρα υποστήριξης.

Οι κύριες παράμετροι που υπεισέρχονται στον σχεδιασμό είναι:

- **Επιτόπου τάσεις:** οι επιτόπου τάσεις έχουν σημαντική επιρροή στην επιλογή των μέτρων υποστήριξης καθώς οι τάσεις είναι το βασικό αίτιο για την εκδήλωση των παραμορφώσεων. Διαχωρίζονται σε **γεωστατικές** (αίτιο: το ίδιο βάρος των πετρωμάτων) και σε **τεκτονικές** (αίτιο: η τεκτονική των πλακών). Επιπλέον, διαχωρίζονται σε **κατακόρυφες** και **οριζόντιες**. Το αίτιο των κατακόρυφων επιτόπου τάσεων είναι συνήθως αποκλειστικά η γεωστατική φόρτιση και μπορούν να λαμβάνονται ως $\sigma_v = \gamma \times z$ όπου z το βάθος την εξεταζόμενης διατομής της σήραγγας και γ το ειδικό βάρος των πετρωμάτων (μπορεί να λαμβάνεται 27 kN/m^3). Οι οριζόντιες επιτόπου τάσεις ορίζονται μέσω του λόγου οριζοντίων προς κατακόρυφων τάσεων k : $\sigma_h = k \times \sigma_v$. Ο λόγος k μπορεί να εξαχθεί από την σχέση ελαστικότητας $k = \nu / (1 - \nu)$ ν : ο λόγος Poisson όταν το τεκτονικό καθεστώς το επιτρέπει, $k=1$ για ελαστοπλαστική συμπεριφορά (κυρίως σε μεγάλα βάθη διάνοιξης), $k=1 - \sin\varphi'$ (φ' : γωνία τριβής) για διάνοιξη σήραγγας σε κοκκώδη εδάφη, $k=(1 - \sin\varphi')(\text{OCR})^{\sin\varphi'}$ για προφορτισμένες αργίλους (OCR: λόγος προφόρτισης). Σε θλιπτικό τεκτονικό καθεστώς ο λόγος k μπορεί να ξεπεράσει την τιμή $k=3$ φράζεται δε: $100/z + 0.3 < k < 1500/z + 0.5$ όπου z το βάθος σε μέτρα. Για μεγάλα βάθη εν γένει τείνει στην τιμή $k=1$.

- **Ταξινόμηση βραχομάζας (Rockmass classification):** η βαθμολογία της βραχομάζας είναι καθοριστική για την επιλογή των μέτρων υποστήριξης καθώς και για την ομαδοποίηση των μέτρων ανά τμήματα του έργου.

• **Αντοχή** (*Strength*): ο ακριβής υπολογισμός των μέτρων υποστήριξης στηρίζεται στην γνώση της μηχανικής συμπεριφοράς της βραχομάζας. Γίνεται εργαστηριακή εκτίμηση της αντοχής του άρρηκτου πετρώματος καθώς και εκτίμηση της αντοχής της βραχομάζας.

• **Ασυνέχειες**: καταγραφή μεμονωμένων και ομάδων ασυνεχειών. Κατάρτιση τεκτονικών διαγραμμάτων. Διερεύνηση για την δημιουργία πιθανών μηχανισμών με σφήνες και σχεδιασμού μέτρων «καρφώματος» (αγκύρωσης).

• **Γεωμετρία Διατομής**: η γεωμετρία της διατομής καθορίζεται από τον σκοπό του έργου (μία σχετικά αυθαίρετη ταξινόμηση ως προς το μέγεθος των σηράγγων είναι υδραυλικές σήραγγες, σιδηροδρομικές σήραγγες, οδικές σήραγγες). Οι μεγαλύτερες διατομές απαιτούν συνήθως διαδοχική εκσκαφή εφόσον δεν είναι δυνατή η χρήση TBM, υποστήριξη μετώπου. Η αύξηση του μεγέθους της διατομής έχει ως συνέπεια της ενεργοποίησης μεγαλύτερου μέρους της περιβάλλουσας βραχομάζας και επειδή τα σχετικά μεγέθη των ασυνεχειών μικραίνουν, έχουμε και επιδείνωση των μηχανικών χαρακτηριστικών.

• **Υπόγεια ύδατα**: τα υπόγεια ύδατα έχουν σαν συνέπεια την αλλαγή των χαρακτηριστικών αντοχής μέσω της ανάπτυξης υδατικών πιέσεων και μεταβολή των ενεργών τάσεων στους εδαφικούς πόρους ή των ασυνεχειών. Επιπλέον, λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό των συνθηκών στράγγισης (πλήρως στραγγιζόμενη διατομή ώστε να αποτονώνονται οι υδατικές πιέσεις ή στεγανή διατομή με πλήρη ανάπτυξη των υδατικών πιέσεων).

• **Κατασκευή**: μέθοδοι κατασκευής όπως η διάτρηση και ανατίναξη προκαλούν διατάραξη στην περιβάλλουσα βραχομάζα και μεταβολή των μηχανικών χαρακτηριστικών.

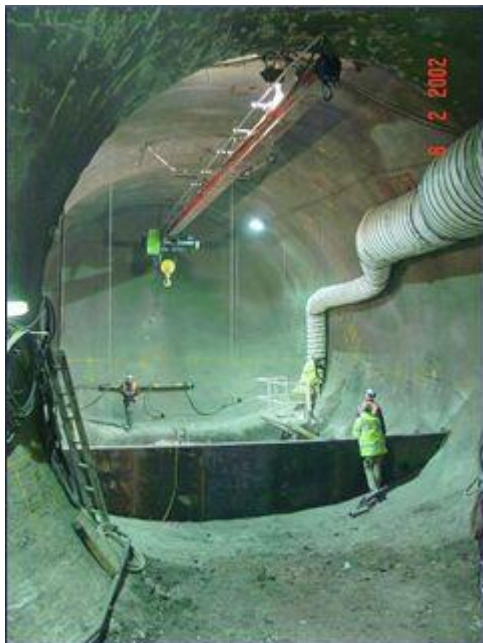
• **Άλλοι παράγοντες**: είναι τα επιφανειακά έργα στην περιοχή της σήραγγας. Η καταπόνηση του έργου από τις δονήσεις των οχημάτων - συρμών (οδικές - σιδηρ. σήραγγες) καθώς και από την εσωτερική πίεση του νερού (υδραυλικές σήραγγες).

6. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Για την κατασκευή υπόγειων έργων εφαρμόζονται οι τρόποι που αναλύουμε παρακάτω. Η διάνοιξη σηράγγων με τη μέθοδο NATM, η μέθοδος ανοικτού ορύγματος όπου η εκσκαφή γίνεται από την επιφάνεια του εδάφους, η μέθοδος κλειστής διάνοιξης όπου το έργο κατασκευάζεται με υπόγεια εκσκαφή χωρίς να διαταραχτεί η επιφάνεια και η εκσκαφή με χρήση εκρηκτικών υλών.

6.1 ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ NATM

Η λεγόμενη “**Νέα Αυστριακή Μέθοδος Διάνοιξης Σηράγγων**” ουσιαστικώς δεν αποτελεί μία μέθοδο αλλά περιλαμβάνει ένα σύνολο τεχνικών διάνοιξης και υποστήριξης σηράγγων οι οποίες εφαρμόστηκαν συστηματικά κατά την διάνοιξη σηράγγων στις Αυστριακές Άλπεις στις αρχές της δεκαετίας του 1960. Οι τεχνικές αυτές είχαν εφαρμοστεί και πριν το 1960 τόσο στην Αυστρία όσο και σε άλλα μέρη του κόσμου αλλά η συστηματοποίηση και η ονομασία τους έγινε από Αυστριακούς μηχανικούς (Rabcewicz, Mueller, Brunner, Pacher).



Οι εναλλακτικοί τρόποι διάνοιξης σηράγγων που δεν υπάγονται στην μέθοδο NATM είναι:

1. Διάνοιξη με μηχανήματα ολομέτωπης κοπής (TBM), επειδή κατά τη 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 πχ με έγχυτο σκυρόδεμα, προκατασκευασμένα στοιχεία από σκυρόδεμα, μέταλλο ή άλλο υλικό.



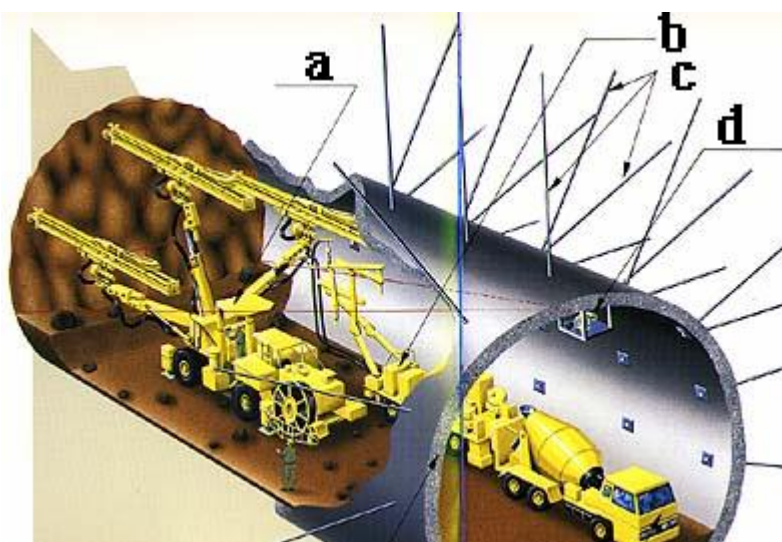
Μέθοδος NATM

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 σκυρόδεμα (απλό, ινοπλισμένο, οπλισμένο με χαλύβδινο πλέγμα ή ενισχυμένο με χαλύβδινες νευρώσεις από ράβδους ή διατομές, και αγκύρια). Σημειώνεται ότι η υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας μόνο με αγκύρια χωρίς εκτοξευόμενο σκυρόδεμα υπάγεται επίσης στην κατηγορία της μεθόδου NATM. Επίσης, κατά την μέθοδο NATM ως άνω άμεση υποστήριξη συνήθως ακολουθείτε σε μεταγενέστερο χρόνο από τη κατασκευή της τελικής επένδυσης της σήραγγας η οποία θεωρείτε ως φέρον στοιχείο (σε ορισμένες περιπτώσεις δεν κατασκευάζεται τελική επένδυση αλλά η άμεση υποστήριξη σχεδιάζεται ώστε να αναλάβει το σύνολο των φορτίων της περιβάλλουσας βραχώμαζας).

6.1.2 Χαρακτηριστικά 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 βραχώμαζας (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 βραχώμαζας με συνέπεια την αύξηση των πιέσεων στην άμεση υποστήριξη και τελικώς την κατάρρευση της διατομής της σήραγγας.

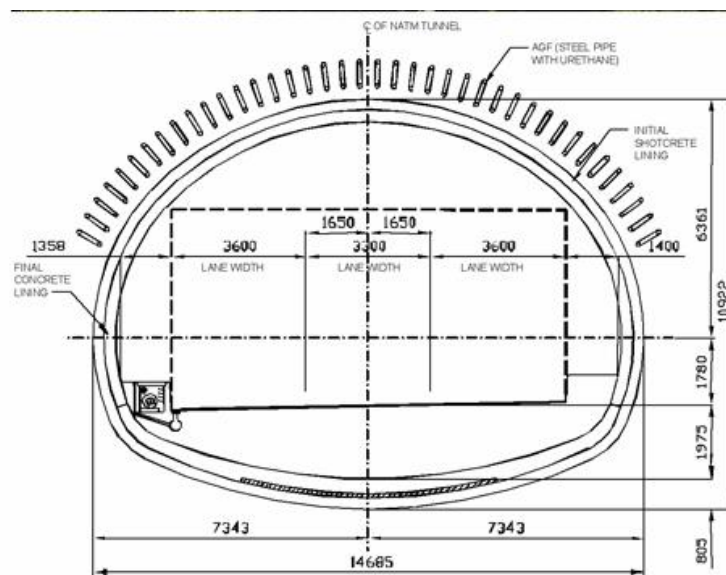
Δεδομένου ότι ένα σημαντικό ποσοστό της σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας συμβαίνει εμπρός από το μέτωπο εκσκαφής (δηλαδή πριν η εκσκαφή φθάσει στη συγκεκριμένη θέση) και επιπλέον ότι η σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας αυξάνει με ταχείς ρυθμούς στην περιοχή του μετώπου εκσκαφής, προκύπτει ότι στις περισσότερες περιπτώσεις η αντοχή της βραχώμαζας έχει ενεργοποιηθεί επαρκώς πολύ κοντά στο μέτωπο της εκσκαφής και συνεπώς η άμεση υποστήριξη θα πρέπει να κατασκευασθεί κατά το δυνατόν πλησιέστερα στο μέτωπο εκσκαφής.



Μέθοδος NATM

Η παραπάνω αρχή της μεθόδου NATM εξειδικεύεται ως εξής:

◆ 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 βραχώμαζας.



Τυπική Διατομή Μεθόδου NATM

◆ Κατασκευή της άμεσης υποστήριξης της διατομής σε μικρή απόσταση από το μέτωπο της εκσκαφής ώστε να περιορισθεί η περαιτέρω σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας και να αποφευχθεί η αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας. Τούτο επιτυγχάνεται με την προώθηση της κάθε φάσης εκσκαφής σε μικρά βήματα της τάξεως των 1-2 μέτρων αναλόγως της ποιότητας της βραχώμαζας. Το μήκος του βήματος εκσκαφής μειώνεται όσο πτωχότερη είναι η ποιότητα της βραχώμαζας (επειδή στις περιπτώσεις αυτές η αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας είναι ταχύτερη).

♦ Η άμεση υποστήριξη της διατομής θα πρέπει να αναλάβει φορτία κατά το δυνατόν ταχύτερα ώστε να περιορισθεί η περαιτέρω σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας και συνεπώς η αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πλεονεκτεί ως προς την άποψη αυτή επειδή βρίσκεται σε απόλυτη επαφή με την περιβάλλουσα βραχώμαζα (και συνεπώς η παραμικρή σύγκλιση του τοιχώματος προκαλεί τη φόρτισή του) και επιπλέον έχει μικρό χρόνο πήξεως (μερικές ώρες). Η χρήση αγκυρίων βράχου σε κανονικό κানাβο οπλίζει την περιβάλλουσα βραχώμαζα και συντελεί στην καλύτερη ανάπτυξη της λειτουργίας τόξου στη βραχώμαζα. Πράγματι, η τάση της βραχώμαζας να παραμορφωθεί διατμητικά προκαλεί (μέσω της διασταλτικότητας) την ανάπτυξη εφελκυσμού στα αγκύρια και συνεπώς θλίψης στη βραχώμαζα. Η θλίψη της βραχώμαζας αυξάνει την αντοχή της και μειώνει την παραμορφωσιμότητά της λόγω εγκιβωτισμού (λειτουργία ανάλογη με αυτή του σπειροειδούς οπλισμού στα υποστυλώματα).

♦ 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 βραχώμαζας με καλά μηχανικά χαρακτηριστικά συχνά δεν είναι απαραίτητο να ολοκληρώνεται ο δακτύλιος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, δηλαδή δεν επενδύεται με σκυρόδεμα το δάπεδο της σήραγγας.

♦ Στην περίπτωση διάνοιξης σηράγγων σε βραχώμαζα με πολύ φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά ή σε εδαφικούς σχηματισμούς, είναι συνήθης η εμφάνιση φαινομένων αστάθειας του μετώπου της εκσκαφής (face instability). Τα φαινόμενα αυτά προκαλούν αύξηση της σύγκλισης και αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας με πιθανή κατάληξη την κατάρρευση της σήραγγας. Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορούν να ληφθούν μέτρα βελτίωσης της ευστάθειας του μετώπου, όπως αύξηση του αριθμού των φάσεων εκσκαφής (ώστε να μειωθούν οι διαστάσεις του μετώπου), διαμόρφωση του μετώπου με κλίση ως προς την κατακόρυφο (δηλαδή αφήνοντας έναν εδαφικό τάκο στον πόδα του μετώπου), ενίσχυση του μετώπου με αγκύρια, ενίσχυση της οροφής με ράβδους (spiles) ή δοκούς προπορείας (forepoling), κατασκευή τσιμεντενέσεων, επένδυση του μετώπου με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κλπ.



Μέθοδος NATM

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

♦ Με βάση τα αποτελέσματα των γεωτεχνικών ερευνών η βραχώμαζα 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).

♦ 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.

◆ 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

Η τελική επένδυση συνήθως σχεδιάζεται για να αναλάβει τα εξής φορτία:

◆ Το φορτίο που αναλαμβάνεται από τα αγκύρια στην περίπτωση προσωρινών αγκυρίων ή στην περίπτωση βραχώμαζας με έντονα ερπυστική συμπεριφορά.

◆ 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).

◆ Τυχόν αυξημένα μακροχρόνια φορτία της βραχώμαζας λόγω ερπυσμού.

◆ Τυχόν υδατικές πιέσεις λόγω πλημμελούς αποστράγγισης ή απρόβλεπτης απόφραξης του συστήματος αποστράγγισης.

◆ Τυχόν φορτία από μελλοντικές κατασκευές που φορτίζουν τη σήραγγα.

◆ Τυχόν σεισμική επιφόρτιση της σήραγγας.

6.1.3 Πλεονεκτήματα μεθόδου NATM

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

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



Μέθοδος NATM

6.1.4 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 εκσκαφτεί και σε περισσότερες υποφάσεις κατά το πλάτος της σήραγγας. Στην περίπτωση αυτή η πρώτη φάση ουσιαστικά αποτελεί σήραγγα-πλότο που χρησιμεύει και για τη διερεύνηση των συνθηκών που αναμένεται να συναντηθούν κατά τη διάνοιξη της σήραγγας.

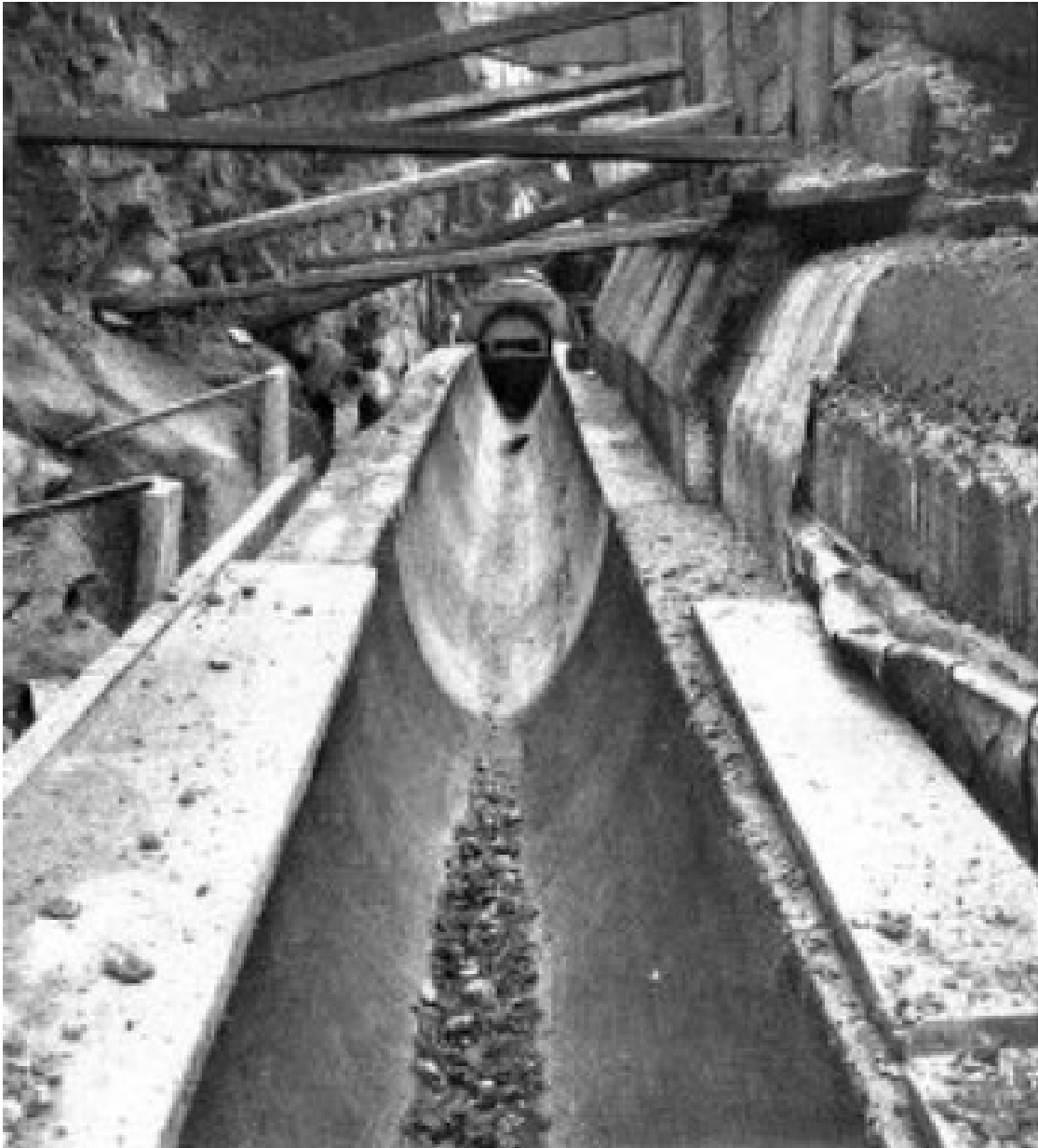


Εκσκαφή Μετώπου - Βαθμίδας

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).



Εκσκαφή με Πλευρικές Στοές

Στην περίπτωση αυτή πρώτα διανοίγονται οι πλευρικές στοές και στο τέλος διανοίγεται ο κεντρικός πυλώνας.

6.1.5 Μέτρα άμεσης υποστήριξης

Για την άμεση υποστήριξη των σηράγγων χρησιμοποιούμε τα παρακάτω μέσα:

6.1.5.1. 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.



Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα

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 (Ca(OH)_2) που παράγεται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου και συντελεί στην αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος και τη μείωση της διαπερατότητάς του.



Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα

Επιπλέον με την προσθήκη της ποζουλάνης επιτυγχάνεται μείωση της αναπήδησης (rebound) κατά την εκτόξευση, βελτίωση της πρόσφυσης στη βραχώμαζα 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 πλαστικότητα 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:

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



Χρήση μεταλλικού πλέγματος



Χρήση μεταλλικού πλέγματος

6.1.5.2 Αγκύρια βράχου

Τα αγκύρια βράχου διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

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

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



Προεντεταμένα Αγκύρια



Προεντεταμένα Αγκύρια

Στα αγκύρια συνεχούς πρόσφυσης ανήκουν οι εξής τύποι:

- ◆ Οι **ηλώσεις βράχου** (grouted nails) που αποτελούνται από μια χαλύβδινη ράβδο (τυπικά ράβδο οπλισμού StIV διαμέτρου 20-25mm) η οποία τοποθετείται εντός οπής στη βραχώμαζα (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.

- ◆ Οι **ηλώσεις χωρίς ενεμάτωση τύπου Swellex** (που παράγονται από την εταιρεία Atlas-Corco) ή **τύπου Split-Set** (που παράγονται από την εταιρεία Ingersoll- Rand). Οι ηλώσεις αυτές αποτελούνται από κοίλη μεταλλική διατομή και αποκτούν συνεχή πρόσφυση με τη βραχώμαζα 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 βραχώμαζα.

6.1.5.3 Χαλύβδινα τόξα

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

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



Δικτυωτά πλαίσια

6.1.6 Σχεδιασμός 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 που βασίζεται στο σύστημα Q.

6.1.7 Παρακολούθηση συμπεριφοράς σηράγγων

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. Η παρακολούθηση της συμπεριφοράς της σήραγγας γίνεται μέσω συστηματικών μετρήσεων και κατάλληλης αξιολόγησής των.

Κατά τη διάνοιξη και υποστήριξη σηράγγων συνήθως μετρούνται τα εξής:

- ◆ **Μετακινήσεις:** του τοιχώματος της σήραγγας, της βραχώμαζας που περιβάλλει τη σήραγγα και της επιφάνειας του εδάφους.
- ◆ **Πιέσεις:** της βραχώμαζας στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, υδατικές πιέσεις στο έδαφος που περιβάλλει τη σήραγγα.
- ◆ **Δυνάμεις:** εφελκυσμός στα αγκύρια, θλίψη/κάμψη στα χαλύβδινα πλαίσια.
- ◆ **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.

6.1.7.1 Μετρήσεις μετακινήσεων

Οι μετρήσεις των μετακινήσεων στα τοιχώματα των σήραγγων πραγματοποιούνται με την χρήση ειδικών οργάνων. Αναλυτικές λεπτομέρειες δίνουμε παρακάτω.

6.1.7.1.1 Μετακινήσεις τοιχώματος σήραγγας

♦ **Τοπογραφική αποτύπωση της μετακίνησης σε τρεις άξονες (3-D convergency).** 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.



Χρήση Οργάνου Total Station

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.

♦ **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.



Χωροβάτης

♦ 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.



Μεταλλική μετροταινία

6.1.7.1.2 Μετακινήσεις βραχόμαζας

♦ **Εκτασιόμετρα ράβδου** τοποθετούμενα εντός γεωτρήσεων. 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

♦ **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.

♦ **Ολισθαίνοντα εκτασιόμετρα.** Εντός γεώτρησης τοποθετείται ειδικός πλαστικός σωλήνας ο οποίος σε τακτά διαστήματα φέρει μεταλλικούς δακτυλίους κατάλληλου σχήματος. 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.

◆ **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.

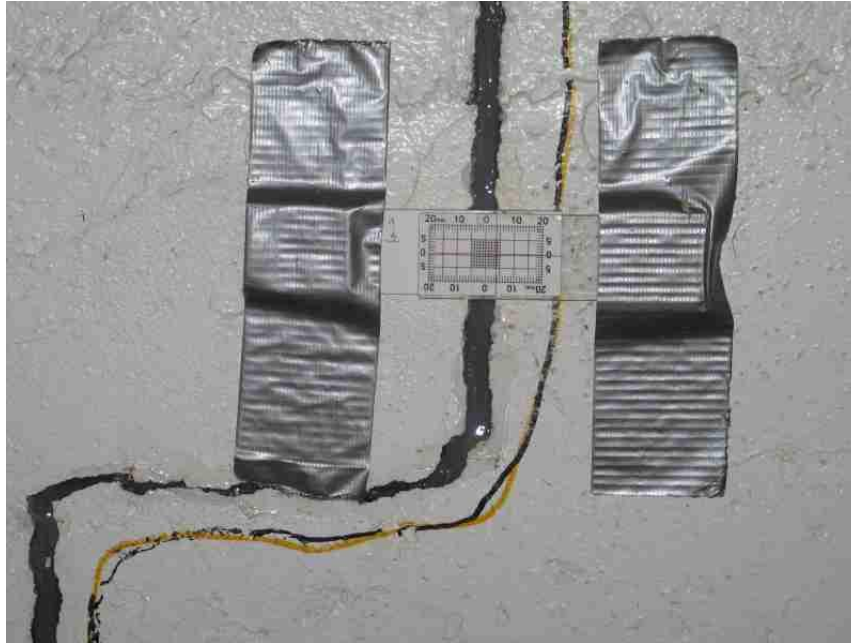
6.1.7.1.3 Μετακινήσεις (βυθίσεις) επιφάνειας εδάφους

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

◆ Με χωροσταθμική υψομετρική αποτύπωση (levelling) με χρήση **χωροβάτη**.

◆ 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.

◆ 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.



Crack meters

6.1.7.2 Μετρήσεις πιέσεων

◆ Οι εδαφικές πιέσεις στην επένδυση της σήραγγας μπορούν να μετρηθούν με **κύτταρα πίεσεως** (pressure cells) που τοποθετούνται στη διεπιφάνεια κατά την κατασκευή της επένδυσης.

◆ 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).



Ηλεκτρικό πιεζόμετρο

6.1.7.3 Μετρήσεις δυνάμεων

Φορτία εφελκόμενων ή θλιβόμενων στοιχείων (π.χ. αγκύρια, χαλύβδινα πλαίσια κλπ) μπορούν να μετρηθούν με την τοποθέτηση **ηλεκτρομηκυνσιομέτρων** (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).



Μετρητής φορτίου (load cells)

Κατά τη μέθοδο αυτή ανοίγεται μια μικρή οπή στο φορτιζόμενο στοιχείο, τοποθετείται ένα σύστημα τριών ηλεκτρομηκυνσιομέτρων 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 ηλεκτρομηκυνσιόμετρα. Κατά την αφαίρεση (overcoring) το στοιχείο αποφορτίζεται και τα ηλεκτρομηκυνσιόμετρα φορτίζονται με φορτίο ίσο και αντίθετο με το φορτίο του στοιχείου πριν αφαιρεθεί.

6.1.7.4 Μετρήσεις παροχών

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

6.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ (CUT AND COVER)

Η μέθοδος εκσκαφής και επανεπίχωσης συμπεριλαμβάνει την πλήρη εκσκαφή του εδάφους από την επιφάνεια, την αντιστήριξη της εκσκαφής, την κατασκευή του φορέα του έργου που περιλαμβάνει οπωσδήποτε και ανθεκτική οροφή. Κατόπιν, είτε γίνονται έργα αξιοποίησης της οροφής ή πλήρη επανεπίχωση με τα υλικά εκσκαφής και αποκατάσταση του περιβάλλοντος. Η μέθοδος Cut and Cover χρησιμοποιείται συχνά σε έργα οδοποιίας αντί του απλού ορύγματος με καλύτερους περιβαλλοντικούς όρους (μικρότερη αλλοίωση του τοπίου). Επιπλέον είναι η μοναδική λύση για ρηχές σήραγγες μεγάλης διατομής.

Οι υπόγειες μέθοδοι διάνοιξης σηράγγων, είτε με το μηχάνημα TBM είτε με συμβατικά μέσα (NATM), επιλέγονται ιδιαίτερα στις κεντρικές περιοχές των πόλεων, ενώ σε πιο απομακρυσμένες περιοχές προτιμάται η μέθοδος ανοικτής εκσκαφής για την κατασκευή τόσο σηράγγων όσο και σταθμών Μετρό. Χρήση αυτής της μεθόδου γίνεται και σε περιπτώσεις όπου, ακόμα κι αν βρισκόμαστε στο κέντρο της πόλης, υπάρχει διαθέσιμος χώρος. Αυτό συμβαίνει διότι η μέθοδος ανοικτής εκσκαφής είναι περισσότερο απλή, ασφαλής και κυρίως ελέγξιμη στην υλοποίηση της.

6.2.1 Μειονεκτήματα μεθόδου Cut and Cover

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι για την εφαρμογή της πρέπει:

- ◆ να απομακρυνθούν όλοι οι αγωγοί κοινής ωφελείας που ευρίσκονται στην περιοχή όπου θα γίνουν οι εκσκαφές,
- ◆ να προηγηθεί αρχαιολογική έρευνα για εντοπισμό τυχόν αρχαιοτήτων,
- ◆ να γίνουν οι απαιτούμενες παρακάμψεις της κυκλοφορίας.

Οι επεμβάσεις αυτές είναι χρονοβόρες, αυξάνουν το κόστος, ενώ συγχρόνως οι αρχαιολογικές έρευνες εμπεριέχουν μεγάλη αβεβαιότητα όσον αφορά τη διάρκεια και το τελικό κόστος τους. Παρότι η μέθοδος ονομάζεται απλά ανοικτή εκσκαφή, στην πραγματικότητα πρόκειται για μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης ή cut & cover στα αγγλικά, καθόσον οι κατασκευές αφού ολοκληρωθούν επιχώνονται και τελικώς καθίστανται και αυτές υπόγειες όπως ακριβώς και στις περιπτώσεις όπου η κατασκευή έγινε με υπόγεια διάνοιξη.



Μέθοδος Cut and Cover

6.2.2 Μεθοδολογία κατασκευής

Η μεθοδολογία της ανοικτής εκσκαφής είναι απλή ως σύλληψη. Αρχικά σκάβεται το όρυγμα και αντιστηρίζονται τα πρανή του καταλλήλως - στα έργα του Μετρό τα πρανή προβλέπονται πάντοτε κατακόρυφα. Ακολούθως «κτίζεται» ο μόνιμος φορέας του σταθμού ή της σήραγγας ξεκινώντας από τη θεμελίωση προς τα επάνω δηλαδή ως μια συνήθης οικοδομή. Τέλος, γίνεται επικάλυψη της κατασκευής με επίχωση ως την επιφάνεια του εδάφους και αποκαθίσταται η περιοχή.

6.2.2.1 Στάδια κατασκευής

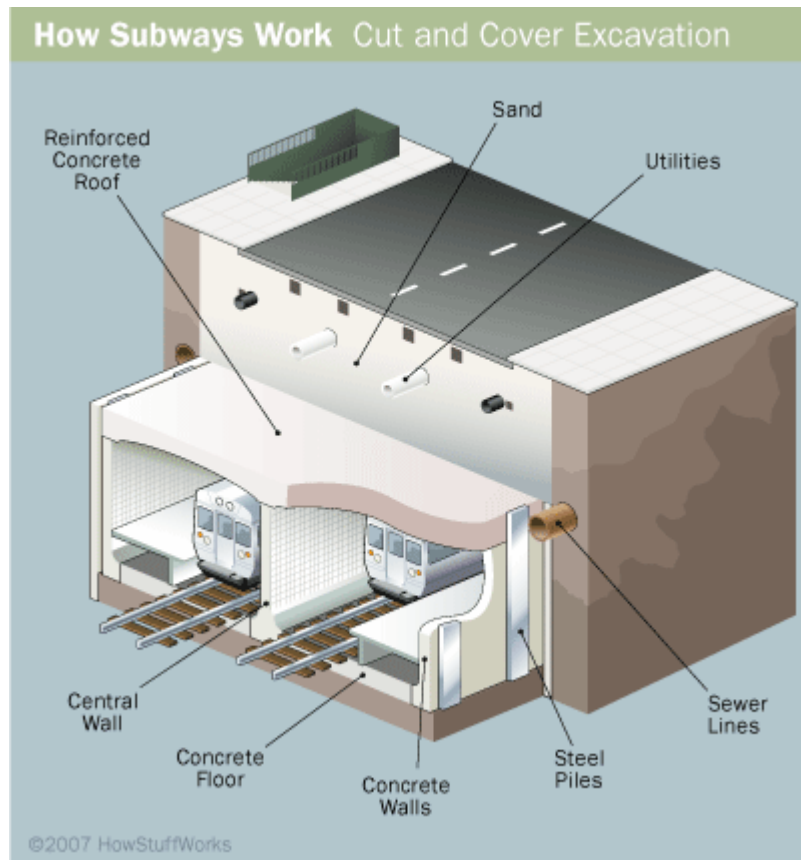
Αναλυτικότερα τα στάδια έχουν ως εξής:

- Εκτελείται γεωτεχνική/γεωλογική έρευνα και δοκιμές (επί τόπου και εργαστηριακές) για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του εδάφους στην περιοχή όπου έχει σχεδιασθεί να γίνει η κατασκευή μας

- Γίνεται η μελέτη (υπολογισμοί και σχέδια) εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης, με βάσει τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους που προέκυψαν στο προηγούμενο στάδιο. Επίσης, εκτελείται και η μελέτη του μόνιμου φορέα της κατασκευής.

- Πριν την έναρξη των κυρίως εργασιών εκτελούνται οι απαιτούμενες αρχαιολογικές έρευνες στη περιοχή όπου θα εκτελεσθούν οι εκσκαφές, απομακρύνονται όλοι οι αγωγοί κοινής ωφελείας (ύδρευσης, ηλεκτρισμού, τηλεφώνου, κλπ) και πραγματοποιούνται οι ενδεχόμενες κυκλοφοριακές παρακάμψεις.

- Η προσωρινή αντιστήριξη της εκσκαφής αποτελείται συνήθως από πασσάλους σκυροδέματος, κυκλικής διατομής με διάμετρο της τάξεως 0.80-1.00 μ, που τοποθετούνται ανά αποστάσεις μεταξύ τους 1.50-2.50μ περιμετρικά της προβλεπόμενης εκσκαφής προτού αυτή αρχίσει. Η πασσαλοστοιχία συνδέεται στην κορυφή της με ισχυρή δοκό σκυροδέματος. Η εκσκαφή πραγματοποιείται με συμβατικά μηχανικά μέσα (εκσκαφείς, σφύρες, κλπ) έως ένα καθορισμένο βάθος, π.χ. 3.5μ, και στη συνέχεια τοποθετούνται αγκύρια σε οπές που διανοίγονται στο έδαφος μέσω των πασσάλων. Τα αγκύρια αυτά έχουν μεγάλο μήκος (της τάξεως 15-25μ) και προεντείνονται με την προβλεπόμενη από τη μελέτη δύναμη. Κατόπιν εφαρμόζεται δομικό πλέγμα σε όλη την περιμετρική επιφάνεια του σκάμματος και τοποθετείται εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.



Μέθοδος Cut and Cover

Μετά από αυτά, συνεχίζεται η εκσκαφή ως την επόμενη στάθμη και τοποθετείται και προεντείνεται άλλη μια σειρά αγκυριών. Ο κύκλος αυτός συνεχίζεται έως την τελική στάθμη εκσκαφής όπου θα θεμελιωθεί η κατασκευή. Εάν υπάρχει παρουσία υπογείων υδάτων στις επιφάνειες του σκάμματος, αυτά εκτονώνονται με συστηματικά διατρήματα / σωληνώσεις βάθους συνήθως 3-4 μ επί της αντιστήριξης / εκσκαφής και απομακρύνονται με κατάλληλο σύστημα αποστράγγισης.

- Το σύστημα υδατοστεγάνωσης της κατασκευής, όπως συμβαίνει πλέον σε όλο το νέο δίκτυο του Μετρό, τοποθετείται στον πυθμένα και στις περιμετρικές επιφάνειες του σκάμματος και αποτελείται συνήθως από γεωφάσματα, μεμβράνη υδατοστεγάνωσης και υδατοφραγμούς.

- Η κατασκευή του φέροντος οργανισμού γίνεται κατά φάσεις αρχίζοντας από την θεμελίωση, ακολουθούν τα τοιχία και κατόπιν η πλάκα οροφής εάν πρόκειται για την περίπτωση σήραγγας, ενώ για τους σταθμούς γίνεται, επιπλέον, και η κατασκευή ενδιάμεσων επιπέδων πλακών και τοιχίων.

Η κατασκευή αρχίζει με την τοποθέτηση των σιδηρών οπλισμών της πλάκας θεμελίωσης (ή γενικής κοιτόστρωσης) όπως προβλέπονται από τη μελέτη. Κατόπιν γίνεται η έγχυση του σκυροδέματος, κατηγορίας αντοχής C25/30, κατά φάσεις κατά το μήκος της κατασκευής με πρόβλεψη καταλλήλων αρμών. Παρομοίως γίνεται και η κατασκευή των υπολοίπων στοιχείων της μόνιμης κατασκευής

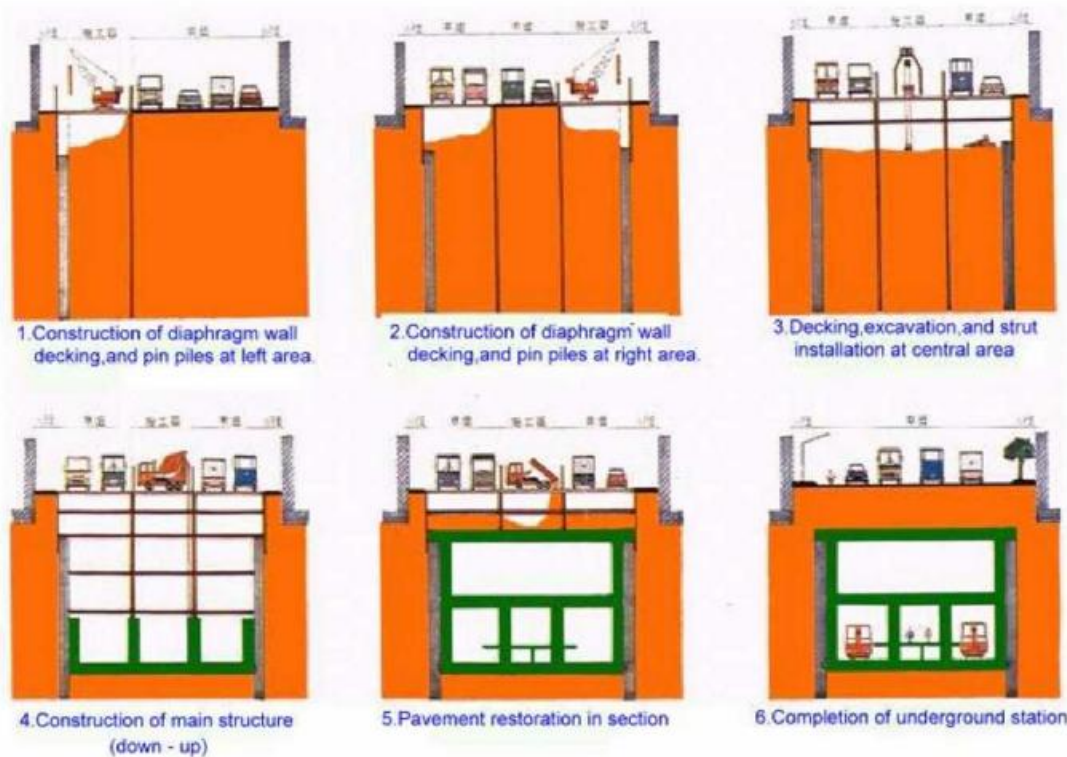
Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή η εκσκαφή του ανοικτού ορύγματος πραγματοποιείται από την επιφάνεια του εδάφους και ενδείκνυται σε περιπτώσεις που το έργο είναι σε μικρό βάθος .

Επίσης, η εφαρμογή της μεθόδου είναι διαφορετική για κατοικημένες περιοχές σε σχέση με τις ακατοίκητες περιοχές .

Σε **ακατοίκητες περιοχές** δεν παρουσιάζονται ιδιαίτερα προβλήματα . Η εκσκαφή γίνεται σε όλο το εύρος της, από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι το βάθος στο οποίο θα εδρασθεί το έργο και χωρίς να γίνει αντιστήριξη των παρειών της εκσκαφής. Στην περίπτωση ενδεχόμενης ύπαρξης υδάτων, ακολουθεί η υποβίβαση της στάθμης έως το πέρας των εργασιών κατασκευής της σήραγγας .

Σε **κατοικημένες περιοχές** εμφανίζονται δυσκολίες εξαιτίας του γεγονότος ότι η κατασκευή των έργων δεν πρέπει αφενός να παρεμποδίζει την κυκλοφορία οχημάτων και αφετέρου να προκαλέσει ζημίες στις όμορες κατασκευές .

Cut and Cover Construction Illustration



Για τον παραπάνω λόγο, ανάλογα με τα πολεοδομικά χαρακτηριστικά της περιοχής στην οποία θα γίνει το έργο, εφαρμόζονται οι παρακάτω λύσεις :

Αντιστηριζόμενη εκσκαφή χωρίς κάλυψη

Αρχικά κατασκευάζεται η μισή διατομή της σήραγγας ώστε να είναι δυνατή η κυκλοφορία στο άλλο ήμισυ της οδού ενώ οι παρειές της εκσκαφής αντιστηρίζονται με διαφραγματικούς τοίχους ή με πασσαλοσανίδες από οπλισμένο σκυρόδεμα και συνδυασμό εκτοξευόμενου σκυροδέματος με δομικό πλέγμα, προς αποφυγή ζημιών στις όμορες κατασκευές .



Μέθοδος Cut and Cover

Διάνοιξη με κάλυψη

Αρχικά κατασκευάζεται η αντιστήριξη από πασσαλοσανίδες, πασσαλοσυστοιχίες ή διαφραγματικούς τοίχους, πάνω στην οποία τοποθετείται προσωρινή κάλυψη ή μόνιμη πλάκα κάλυψης για την ταχεία αποκατάσταση της κυκλοφορίας . Με αυτό τον τρόπο η συνέχεια της εκσκαφής γίνεται κάτω και υπό την συνεχή προστασία της κάλυψης ενώ οι διαφραγματικοί τοίχοι προστατεύουν σχεδόν απόλυτα τις υπάρχουσες κατασκευές καθώς οι παραμορφώσεις-καθιζήσεις του εδάφους πίσω από τους διαφραγματικούς τοίχους εκτείνονται σε απόσταση $1.00 \div 2.00$ m πίσω από τούς τοίχους και είναι συνάρτηση του ολικού βάθους της εκσκαφής .

Προβλήματα θεμελίωσης δεν προκύπτουν για τον λόγο ότι τα φορτία που υπήρχαν πριν αφαιρεθεί το έδαφος ήταν μεγαλύτερα από τα φορτία που μεταφέρει στο έδαφος η σήραγγα . Η διατομή της σήραγγας, με αυτή τη μέθοδο, είναι ορθογωνική και υλικό κατασκευής της αποτελεί το οπλισμένο σκυρόδεμα . Το πάχος της πλάκας οροφής είναι της τάξης των $60 \div 80$ cm και συνήθως τοποθετείται σε βάθος $1.00 \div 1.50$ m από την επιφάνεια ώστε η κατανομή των επιφανειακών φορτίων πάνω της να είναι καλή . Επίσης, το δάπεδο αποτελεί πλάκα θεμελίωσης και προστατεύει την σήραγγα από την εισροή υπόγειων υδάτων.

Για λόγους στεγανότητας γίνεται επίστρωση με ασφαλτικό υλικό και για λόγους αισθητικής και ηχητικής προστασίας η κατασκευή επενδύεται εσωτερικά.



Μέθοδος Cut and Cover

Η συνήθης μορφή ενός σταθμού cut & cover αποτελείται από δυο ή τρεις ορόφους από ενισχυμένο σκυρόδεμα, κατασκευασμένο σε μια ορθογωνική εκσκαφή με πλάτος $16.00 \div 20.00$ m, μήκους $160.00 \div 250.00$ m και βάθους $16.00 \div 20.00$ m.



Μέθοδος Cut and Cover

Οι κατακόρυφες πλευρές του ορύγματος αντιστηρίζονται με τοίχους οι οποίοι έχουν υποστεί αγκύρωση ή στήριξη με αντηρίδες ή με τοίχους από πασσάλους από σκυρόδεμα .

Για μικρά σχετικά βάθη, η μέθοδος αυτή είναι ο πιο κοινός και οικονομικός τρόπος διάνοιξης σηράγγων σε ένα σχετικά μικρό υπερφορτίο. Επίσης, για γεωτεχνικές συνθήκες, στο σημείο που πρόκειται να γίνει η εκσκαφή, που αντιστοιχούν σε χαλαρά εδάφη και έλλειψη συνοχής μας οδηγούν υποχρεωτικά στην εφαρμογή της ανωτέρω μεθόδου .

Η πιθανότητα έλλειψης χώρους στην επιφάνεια του ορύγματος που πρόκειται να εκσκαφθεί, για την όσο το δυνατόν μικρότερη όχληση του περιβάλλοντος χώρου, αναγκάζει στην επιλογή υψηλής γωνίας πρανών, τα οποία είναι σχεδόν κατακόρυφα .



Μέθοδος Cut and Cover

Μια κατασκευή cut & cover πρέπει να σχεδιάζεται για να έχει αρκετά μεγάλη κατασκευαστική χωρητικότητα ώστε να αντιστέκεται με ασφάλεια σε όλα τα φορτία και τις επιδράσεις που μπορεί να εμφανιστούν για όλο το χρόνο ζωής της .

Τα κύρια στοιχεία στα οποία θα πρέπει να αντιστέκεται είναι τα μακροπρόθεσμα αναπτυσσόμενα από το νερό και τις εδαφικές πιέσεις, τα νεκρά φορτία συμπεριλαμβανομένου και του φορτίου από το έδαφος με το οποίο έγινε η επίχωση, τα επιφανειακά φορτία και τέλος τα ενεργά φορτία. Ως νεκρό φορτίο αναφέρεται το ίδιο βάρος της κατασκευής, το βάρος όλων των υλικών κατασκευής που ενσωματώνονται στη σήραγγα και στηρίζονται σε αυτή, το βάρος του μόνιμου εξοπλισμού και οι δυνάμεις λόγω προέντασης .

6.2.3 Σειρά εργασιών

Η σειρά εργασιών βάσει της μεθόδου cut & cover συνοψίζονται στις ακόλουθες:

Ø Διάνοιξη ανοιχτού ορύγματος από την επιφάνεια του εδάφους στο απαιτούμενο βάθος: Εκτελείται σε στρώσεις καθώς η προστασία προέρχεται από τη χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος, αγκυρίων και τσιμεντοπασσάλων. Συχνή είναι και η χρήση αντηρίδων που τοποθετούνται εγκάρσια στη διεύθυνση του ορύγματος .

Ø Προϋποστήριξη εδάφους: Εμπεριέχεται η κατασκευή τοίχου από πασσάλους, από οπλισμένο σκυρόδεμα, στην περίμετρο του ορύγματος . Συγκεκριμένα, γίνεται διάνοιξη οπών, τοποθέτηση σιδηρού οπλισμού και σκυροδέτηση . Στις επιφάνειες μεταξύ των πασσάλων γίνεται τοποθέτηση δομικών πλεγμάτων και εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος . Έτσι δημιουργείται ένα τείχος προστασίας που συγκρατεί τα τοιχώματα του εδάφους . Επίσης, κατασκευάζεται κεφαλόδεσμος από οπλισμένο σκυρόδεμα πάνω από τους πασσάλους και ακολουθεί η τοποθέτηση σειρών αγκυρίων .

Ø Στεγανοποίηση της εκσκαφής: Για την προστασία της ανοικτής εκσκαφής από την εισροή νερού, εφαρμόζεται σύστημα αποστράγγισης με γεωύφασμα, αγωγός αποστράγγισης εγκιβωτισμένος σε χαλίκι και λεπτή στρώση τσιμέντου.

Ø Κατασκευή του φορέα της σήραγγας : Κατασκευάζεται με συνήθεις δομικές εργασίες, αποκλειστικά από οπλισμένο σκυρόδεμα, φροντίζοντας να αντιμετωπισθούν αποτελεσματικά τα φορτία του ίδιου φορέα, του υλικού επανεπίχωσης αλλά και κινητών και μελλοντικών φορτίων, όπως βαριά οχήματα, μελλοντική κατασκευή ψηλών κτιρίων πάνω από τον φορέα.

Ø Επανεπίχωση του ορύγματος και του κατασκευασμένου φορέα : Η επανεπίχωση των φορέων των Cut & Cover χρησιμοποιεί τα προϊόντα των βραχωδών ορυγμάτων έπειτα από κατάλληλη επιλογή του μεγέθους των λίθων ώστε να αποφευχθεί τραυματισμός της στεγάνωσης κατά την κατασκευή της επανεπίχωσης .

Ø Αποκατάσταση της ανώτερης επιφάνειας : Ακολουθεί η επανακατασκευή του οδικού δικτύου στην επιφάνεια συνυφασμένο με την πορεία εργασιών των φάσεων κατασκευής και η τελική αποκατάσταση, της επιφάνειας, των οδών και των πεζοδρομίων .

Η μέθοδος διάνοιξης, λοιπόν, ανοικτού ορύγματος χρησιμοποιήθηκε στο εξεταζόμενο έργο σήραγγοποιίας κατά την κατασκευή των στομιών (μετώπων) εισόδων & εξόδων των οδικών σηράγγων .

Συγκεκριμένα το εσωρράχιο των έργων Cut & Cover πάνω από τη στάθμη του αυτοκινητόδρομου είναι ίδιο με αυτό της σήραγγας στην οποία ανήκουν, έχει δηλαδή μορφή θόλου . Τόσο τα βάθρα όσο και η ανωδομή των Cut & Cover κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας B35 .

Η δε στεγάνωση των θολωτών φορέων των Cut & Cover εκτελέστηκε με τη χρήση ειδικών μεμβρανών στεγάνωσης κατακόρυφων επιφανειών υπόγειων έργων καθώς η προστασία τους έναντι της επανεπίχωσης πραγματοποιήθηκε με ειδικό πολυεστερικό γεωύφασμα.

6.2.4 Μέθοδος Cover and Cut

Παράλληλη της μεθόδου ανοιχτής εκσκαφής αποτελεί και η μέθοδος επικάλυψης και εκσκαφής, Cover and Cut ή αλλιώς Top – Down.

Τα στάδια της κατασκευής είναι τα ακόλουθα:

- κατασκευάζονται από την επιφάνεια τα κατακόρυφα πετάσματα αντιστήριξης (πάσσαλοι, διαφραγματικοί τοίχοι, κλπ) περιμετρικά της εκσκαφής που θα ακολουθήσει,

- γίνεται μια πρώτη εκσκαφή ως τη στάθμη της πλάκας οροφής της κατασκευής. Αναλόγως του βάθους της εκσκαφής αυτής μπορεί να χρειασθεί μια μικρή αντιστήριξη των παρειών,

- σκυροδετείτε η πλάκα οροφής επί του πυθμένα της εκσκαφής. Η πλάκα συνδέεται με την περιμετρική αντιστήριξη και στηρίζεται επ' αυτής,

- γίνεται επίχωση πάνω από την πλάκα και αποκαθίσταται η επιφάνεια του εδάφους,

- ξεκινά η εκσκαφή για το σταθμό ή τη σήραγγα κάτω από τη πλάκα οροφής μέσω ράμπας που έχει αφεθεί σε κάποιο σημείο. Η εκσκαφή γίνεται κατά στάδια ενώ τοποθετούνται διαδοχικά τα απαιτούμενα στοιχεία αντιστήριξης (πχ αγκύρια, αντηρίδες).

- αφού τελειώσει η εκσκαφή ολόκληρου του ορύγματος ξεκινά η κατασκευή των στοιχείων του μόνιμου φορέα. Τα στοιχεία αυτά είναι συνήθως η πλάκα δαπέδου (θεμελίωσης) και τα πλευρικά τοιχεία, ενώ εάν πρόκειται για σταθμό είναι και η κατασκευή των ενδιάμεσων πλακών των ορόφων.

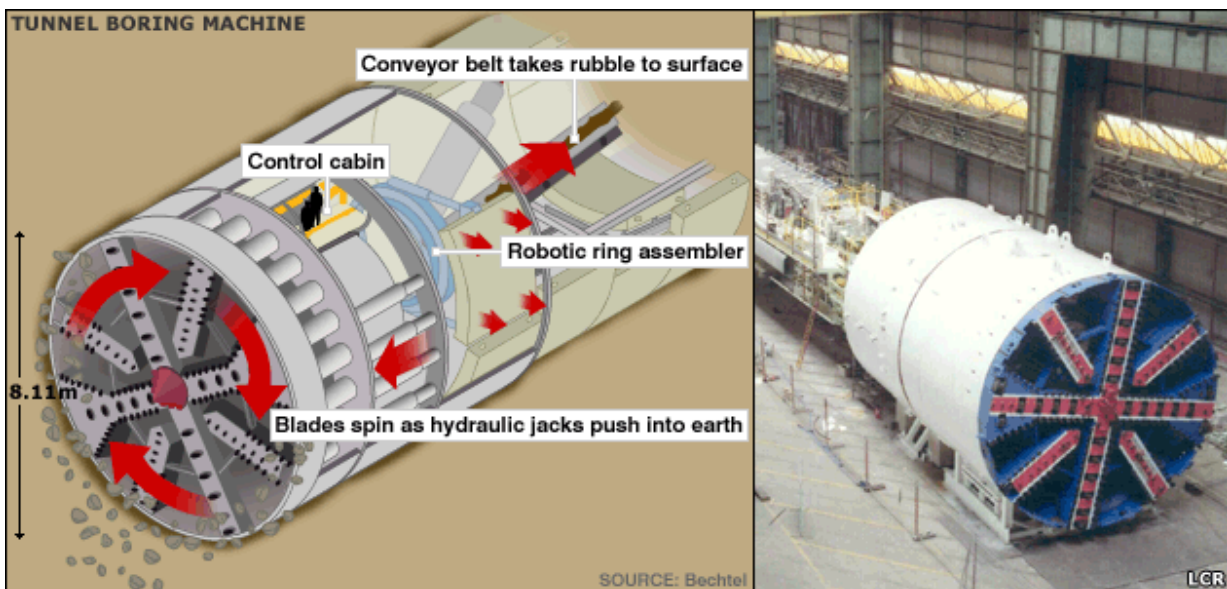
Εάν γίνει χρήση διαφραγματικών τοίχων ως πλευρική αντιστήριξη, δεν κατασκευάζονται άλλοι μόνιμοι τοίχοι, καθόσον οι ίδιοι διαφραγματικοί τοίχοι παίζουν το ρόλο και της τελικής περιμετρικής κατασκευής.

6.2.4.1 Πλεονεκτήματα μεθόδου Cover and Cut

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, το αυξημένο κόστος και η πολυπλοκότερη κατασκευαστική διαδικασία.

6.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΜΕ TBM (TUNNEL BORING MACHINE)

Οι λόγοι που οδήγησαν στην ανάπτυξη της μηχανικής όρυξης σηράγγων, η οποία πραγματοποιείται με τις μηχανές ολομέτωπης κοπής είναι ότι οι εκσκαφές στοών και σηράγγων αποτελούν μια εξειδικευμένη δραστηριότητα με βασικό χαρακτηριστικό ότι η εκσκαφή δεν είναι σε κατακόρυφη αλλά σε οριζόντια διεύθυνση.



Tunnel Boring Machine

Κατά την όρυξη σηράγγων η χρησιμοποίηση εκρηκτικών υλών για την θραύση πετρώματος έχει συνήθως σαν αποτέλεσμα τον επηρεασμό της περιοχής γύρω από την εκσκαφή. Επιπλέον ο κύκλος εκσκαφής με τη μέθοδο των ανατινάξεων είναι ασυνεχής καθώς μεσολαβούν «νεκρά» χρονικά διαστήματα μεταξύ των διαφόρων φάσεων.

Το γεγονός ότι η διαδικασία όρυξης με TBM είναι συνεχής και δεν υπάρχουν νεκροί χρόνοι, οδηγεί στην επίτευξη υψηλών ρυθμών προχώρησης, οι οποίοι μπορούν να φτάσουν ή και να ξεπεράσουν τα 30m/day. Η όρυξη είναι πλήρως μηχανοποιημένη και ο έλεγχος πραγματοποιείται από ειδική καμπίνα επάνω στο μηχάνημα.

Η ανασκόπηση στην ιστορία ανάπτυξης των TBM δείχνει ότι τα θεμέλια είχαν ήδη τεθεί κατά τον περασμένο αιώνα από τον C. Whilson, με μηχάνημα που εφευρέθηκε το 1856 και δοκιμάστηκε στη σήραγγα Hoosac της Μασαχουσέτης. Η σήραγγα της Γκίωνας είναι η πρώτη στην Ελλάδα στην κατασκευή της οποίας χρησιμοποιήθηκε TBM. (Επίσης χρησιμοποιήθηκαν στην διάνοιξη της σήραγγας της Μάγλης και του Μετρό Αθηνών)



Tunnel Boring Machine που χρησιμοποιήθηκε στο Μετρό Αττικής

6.3.1 Είδη μηχανών TBM

Τα TBM διακρίνονται σε:

6.3.1.1 Μηχανές χωρίς ασπίδα (ανοιχτές), για σκληρά πετρώματα, όταν δεν απαιτείται η τοποθέτηση δακτυλίων αντιστηρίξεως στο πέτρωμα.

Χαρακτηριστικά:

1. προστασία της κεφαλής έναντι καταπτώσεων της οροφής
2. η προώθηση γίνεται με πίεση επί της τοποθετημένης επένδυσης
3. η τοποθέτηση της επένδυσης καθυστερεί την εκσκαφή

6.3.1.2 Μηχανές με ασπίδα (μονή ή διπλή), για μέσης ή μικρής αντοχής πετρώματα όπου η εκσκαφή και η αντιστήριξη της σήραγγας γίνονται μέσα στην προστατευόμενη περιοχή της ασπίδας και η αντιστήριξη εξασφαλίζεται με την τοποθέτηση προκατασκευασμένων στοιχείων (δακτυλίων) από οπλισμένο σκυρόδεμα. Σε σύγκριση με τα μηχανήματα ανοιχτού τύπου η προώθηση των μηχανών με ασπίδα περιορίζεται από την ταχύτητα τοποθετήσεως των δακτυλίων αντιστηρίξεων. Πλεονεκτήματα:

1. σε καλό πέτρωμα συμπεριφέρεται όπως ένα ανοιχτό TBM, και η προώθηση γίνεται με τα πλευρικά πέλματα
2. σε καλό πέτρωμα η τοποθέτηση της επένδυσης (προκατασκευασμένα στοιχεία) μπορεί να γίνεται ταυτοχρόνως με την εκσκαφή
3. σε κακό πέτρωμα η προώθηση γίνεται με πίεση επί της ήδη τοποθετημένης επένδυσης και συνεπώς συμπεριφέρεται σαν TBM με μονή ασπίδα

6.3.1.3 Μηχανές για ειδικές συνθήκες (slurry shield, Earth – Pressure – Balance/ EBB shield), χρησιμοποιούνται κυρίως όπου αναμένεται αστάθεια του μετώπου, ή επιδιώκεται ελαχιστοποίηση των καθιζήσεων.



Tunnel Boring Machine (TBM)

6.3.2 Γενικά για τις μηχανές TBM

Το Μηχάνημα Διάτρησης Σηράγγων - TBM (Tunnel Boring Machine) κλειστού τύπου για σκληρά πετρώματα σχεδιάστηκε από την MITSUBISHI Ιαπωνίας και κατασκευάστηκε από την NEYRPIC FRAMATOME MECHANIQUE (NFM) Γαλλίας. Το μήκος του TBM, συμπεριλαμβανομένων των βαγονιών υποστήριξης και του κλειδιού California είναι 150μ. και το συνολικό βάρος του είναι 1.650 τόνοι.

Το TBM χωρίζεται σε 2 τμήματα:

Την Κεφαλή Κοπής και την διπλή Αρθρωτή Ασπίδα (Πρόσθια και Οπίσθια Ασπίδα) που διατρύπουν το έδαφος και κατασκευάζουν τη σήραγγα. Τα βαγόνια υποστήριξης για την παροχή ενέργειας και την κάλυψη των απαιτήσεων ανεφοδιασμού του TBM. Ο μέσος ρυθμός προώθησης των TBM ήταν 10 μ./ημέρα, κατασκευάζοντας αντίστοιχο μήκος σχεδόν περατωμένης σήραγγας, εσωτερικής διαμέτρου 8,48 μ., με επένδυση από προκατασκευασμένους δακτυλίους σκυροδέματος.

Ένας τυπικός κύκλος εργασιών προώθησης του TBM διαρκεί κατά μέσο όρο 1 ώρα, σε ιδανικές συνθήκες χωρίς γεωλογικά ή ηλεκτρομηχανολογικά προβλήματα και περιγράφεται ως εξής:

Πραγματοποιείται εκσκαφή 1,5 μ. σήραγγας (~25 λεπτά), ακολουθεί καθαρισμός και προετοιμασία (~5 λεπτά) και τέλος τοποθετούνται τα προκατασκευασμένα στοιχεία του δακτυλίου (~30 λεπτά). Η Κεφαλή Κοπής είναι το περιστρεφόμενο τμήμα του TBM, το οποίο κόβει και ανασκάπτει το έδαφος. Η μέγιστη εκσκαφθείσα διάμετρος της σήραγγας είναι 9,516 μ. με κυμαινόμενη ταχύτητα περιστροφής της Κεφαλής Κοπής από 0 έως 4 στροφές ανά λεπτό και διαβαθμισμένη ροπή στρέψεως από 1.140 έως 1.368 τόνοι/μέτρο.



Tunnel Boring Machine

Το μήκος της Κεφαλής Κοπής είναι 1.500 χιλ. και διαθέτει 63 τεμάχια δίσκων κοπής, διαμέτρου 17 ίντσες, που είναι τοποθετημένα σε ξεχωριστές ακτίνες καθώς και 200 τεμάχια σιαγόνων σύνθλιψης.

Οι δίσκοι κοπής χρησιμοποιούνται για τα σκληρά εδάφη, ενώ οι σιαγόνες σύνθλιψης για τα μαλακά εδάφη. Όταν φθείρονται αντικαθίστανται από την εσωτερική πλευρά της Κεφαλής Κοπής. Η μεγαλύτερη διάμετρος υπερεκσκαφής οφείλεται στους δύο ακτινωτούς ρυθμιζόμενους δίσκους κοπής που είναι τοποθετημένοι στην περιφέρεια της Κεφαλής Κοπής. Η υπερεκσκαφή 30 χιλ. επιτρέπει την καλύτερη στήριξη και διεύθυνση του TBM καθώς και τον περιορισμό των δυνάμεων τριβής στην ασπίδα του TBM. Η περιστροφή της Κεφαλής Κοπής προς τις δύο κατευθύνσεις (κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού και αντίστροφα) επιτυγχάνεται με 16 υδραυλικούς κινητήρες (180 kW) με οδοντωτούς τροχούς – μειωτήρες, με μέγιστη ταχύτητα απόδοσης 57,6 στροφές ανά λεπτό και μέγιστη πίεση λειτουργίας 350 bar. Η προώθηση είναι ηλεκτροϋδραυλική. Η Πρόσθια Ασπίδα έχει εξωτερική διάμετρο 9,456 μ. και η Οπίσθια Ασπίδα 9,440 μ. Το συνολικό μήκος της Ασπίδας είναι 7,515 μ., το βάρος της 880 τόνοι και το περίβλημα της Οπίσθιας Ασπίδας έχει πάχος 92 χιλ. Για να καταστεί δυνατή η εκσκαφή ελαφράς στροφής της σήραγγας, η Πρόσθια και η Οπίσθια Ασπίδα συνδέονται αρθρωτά μεταξύ τους. Τα δύο τμήματα των ασπίδων συνδέονται με 16 αρθρωτούς γρύλους, διαμέτρου 300 χιλ., με πίεση λειτουργίας 260 bar, γεγονός που καθιστά δυνατό τον προσανατολισμό του ενός τμήματος σε σχέση με το άλλο σε όλες τις διευθύνσεις μέσα στο χώρο. Η ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας της σήραγγας είναι 300 μ. και η οριακή ακτίνα αντιστάθμισης καμπύλης είναι 250 μ. Η ποσότητα των προϊόντων εκσκαφής μετά από μία πλήρη διαδρομή εκσκαφής 1,5 μ. της Κεφαλής Κοπής είναι περίπου 192 μ³. Τα προϊόντα εκσκαφής περνούν μέσα στο θάλαμο της Κεφαλής Κοπής, διαμέσου των ανοιγμάτων της. Με την περιστροφή της Κεφαλής Κοπής, ανυψώνονται τα υλικά εκσκαφής στο άνω τμήμα, από όπου ρίχνονται μέσω της χοάνης στην πρώτη μεταφορική ταινία, μήκους 18,25 μ. και πλάτους 1,20 μ., η οποία βρίσκεται στη στάθμη του άξονα της σήραγγας.

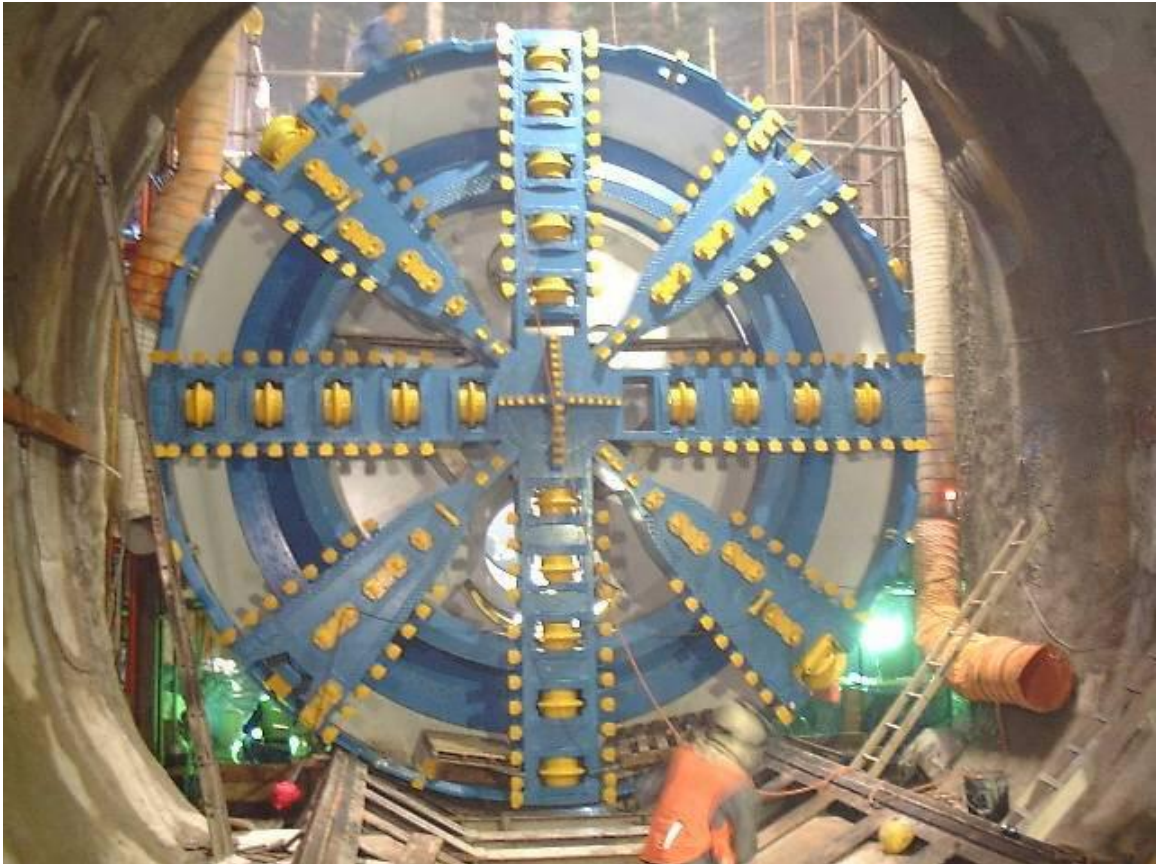


Tunnel Boring Machine

Από την πρώτη μεταφορική ταινία, τα προϊόντα εκσκαφής ρίχνονται στη δεύτερη μεταφορική ταινία, μήκους 28 μ, και στη συνέχεια στην τρίτη μεταφορική ταινία, μήκους 38 μ., που βρίσκονται στον συρμό υποστήριξης στο πίσω μέρος του TBM. Στη συνέχεια, η τρίτη μεταφορική ταινία αδειάζει τα προϊόντα εκσκαφής σε μεταφορική ταινία μήκους 30μ., που κινείται παλινδρομικά, παράλληλα προς τον άξονα της σήραγγας και γεμίζει τους άδειους κάδους των βαγονιών του ειδικού συρμού μεταφοράς τους. Οι μεταφορικές ταινίες έχουν μελετηθεί για μεταφορική απόδοση προϊόντων εκσκαφής 950 τόνους/ώρα ή 750 κυβ. μέτρα/ώρα. Σε περίπτωση εμφάνισης ύδατος στο έδαφος, η πρώτη μεταφορική ταινία αποσύρεται και μία θύρα ασφαλείας απομονώνει το θάλαμο της Κεφαλής Κοπής από την εσωτερική πλευρά της ασπίδας του TBM. Μία αντλία έκτακτης ανάγκης 140 kW που βρίσκεται τοποθετημένη στην Πρόσθια Ασπίδα απομακρύνει το νερό από το θάλαμο της Κεφαλής Κοπής διαμέσου σωλήνων απορροής υδάτων. Η μέγιστη ικανότητα εξαγωγής νερού είναι 82 κυβ. μέτρα/λεπτό και 60μ. πίεση ύδατος. Η εισροή των υπογείων υδάτων που αντιμετωπίστηκε κατά τη διάρκεια της εκσκαφής ήταν 120 λίτρα/λεπτό.

Είκοσι οκτώ (28) υδραυλικοί γρύλοι ωθήσεως του TBM, διαμέτρου 320 χιλ., με κάθε γρύλο να λειτουργεί με πίεση 260 bar ωθούν προς τα εμπρός το TBM, πιέζοντας τα προκατασκευασμένα στοιχεία του δακτυλίου με δύναμη 5.600 τόνων. Οι γρύλοι ωθήσεως χωρίζονται σε 14 ξεχωριστά τμήματα (ένα πέδιλο ανά δύο έμβολα), γεγονός που καθιστά δυνατή την ώθηση του TBM με διαφορετική πίεση σε κάθε ένα από τα τμήματα. Η προκαλούμενη δύναμη στο μέτωπο είναι μέχρι 3.000 τόνοι ή 42 τόνους/τμ. Η μέγιστη διαδρομή επέκτασης των γρύλων ώθησης είναι 2.300 χιλ., παρέχοντας επαρκή χώρο για την ανόρθωση των προκατασκευασμένων στοιχείων δακτυλίου εντός της Οπίσθιας Ασπίδας του TBM. Η Πρόσθια Ασπίδα του TBM διαθέτει 6 ακτινωτούς υδραυλικούς γρύλους (πρόσθιοι σιαγόνες) κωνικού σχήματος, διαμέτρου 250 χιλ. (350 bar) με διαδρομή επέκτασης 150 χιλ.. Η επέκταση των πρόσθιων σιαγόνων γίνεται ώστε να αποφευχθεί η περιστροφή του TBM γύρω από τον άξονα της σήραγγας κατά την εκσκαφή διαμέσου σκληρού πετρώματος. Το σχήμα των πρόσθιων σιαγόνων είναι κωνικό στην πρόσθια πλευρά, ώστε να αποφεύγονται ζημίες στο χάλυβα των σιαγόνων κατά την εκσκαφή. Στο άκρο της Οπίσθιας Ασπίδας βρίσκεται τοποθετημένο το διάφραγμα μόνωσης, μήκους 270 χιλ., το οποίο παρέχει τη στεγάνωση μεταξύ του εδάφους εκσκαφής και της Οπίσθιας Ασπίδας. Για την επιθεώρηση του διαφράγματος μόνωσης, απαιτείται η προέκταση των πρόσθιων σιαγόνων και η απόσυρση της Οπίσθιας Ασπίδας. Η τοποθέτηση των προκατασκευασμένων στοιχείων δακτυλίου γίνεται μετά την εκσκαφή 1,50 μ. από το TBM, στην ουρά της Οπίσθιας Ασπίδας. Η διάμετρος της εξωτερικής επιφάνειας του δακτυλίου της σήραγγας είναι 9,180 μ. και η διάμετρος της εσωτερικής επιφάνειας είναι 8,48μ.. Υπάρχουν δύο τύποι κωνικού δακτυλίου, που επιτρέπουν τη στροφή της σήραγγας προς τα αριστερά, δεξιά, επάνω και κάτω. Κάθε τύπος δακτυλίου (βάρους 40,60 τόνων) αποτελείται από 8 τεμάχια προκατασκευασμένων στοιχείων, δηλ. 5 κανονικά στοιχεία, 2 στοιχεία με υποδοχή για την κλείδα και μία κλείδα. Η τοποθέτησή τους γίνεται με τη χρήση ειδικού βραχίονα ανέγερσης και με τη βοήθεια του κενού αέρος.

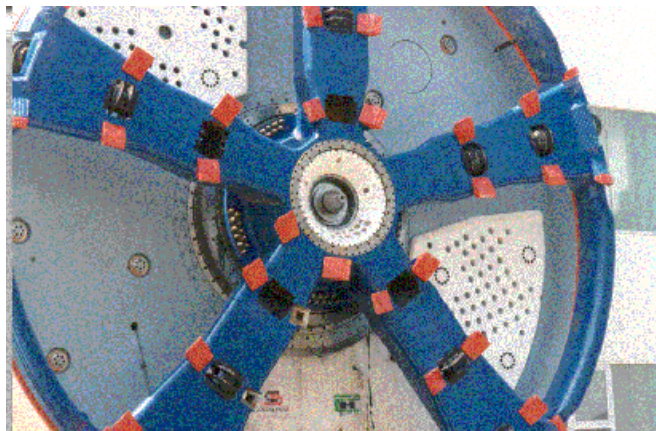
Τα προκατασκευασμένα στοιχεία βιδώνονται μεταξύ τους και με τον προηγούμενο δακτύλιο με χαλύβδινους κοχλίες υψηλής αντοχής. Ο κενός χώρος μεταξύ της υπερεκσκαφής και της εξωτερικής επιφάνειας του δακτυλίου της σήραγγας (~200 εκ.) συμπληρώνεται με πρωτογενές υδαρές τσιμεντοκονίαμα.



Κεφαλή Μηχανήματος TBM

Η πλήρωση του κενού χώρου γίνεται κατά τη διάρκεια της εκσκαφής, διαμέσου αυλακώσεων που είναι τοποθετημένοι στην Οπίσθια Ασπίδα. Το ένεμα διοχετεύεται στο δακτυλιοειδές διάστημα με δύο εμβολοφόρες αντλίες, με πίεση λειτουργίας 2 bar, οι οποίες βρίσκονται στο βαγόνι υποστήριξης. Η Ασπίδα του TBM και τα βαγόνια υποστήριξης συνδέονται με συνδετήρια δοκό. Το σύστημα υποστήριξης του TBM αποτελείται από 8 βαγόνια μήκους 11 μ. και βάρους 55-100 τόνων, τα οποία περιλαμβάνουν μια σιδηροτροχιά για τη στάθμευση του συρμού μεταφοράς των προϊόντων εκσκαφής.

Η υποστήριξη περιλαμβάνει επίσης το βοηθητικό εξοπλισμό και εγκαταστάσεις για τη λειτουργία του TBM (καλώδιο υψηλής τάσης 20 kV, μετασχηματιστές, δεξαμενές καθίζησης υδάτων, ηλεκτρολογείο, μηχανουργείο, σύστημα ψύξης, σύστημα αερισμού κτλ). Η σιδηροτροχιά επιτρέπει στα βαγόνια των συρμών να κινούνται εντός της υποστήριξης, για την παροχή υλικών (8 προκατασκευασμένα στοιχεία δακτυλίου, τσιμεντοκονίαμα πλήρωσης, προκατασκευασμένο στοιχείο πυθμένα σήραγγας, ράγες, αναλώσιμα κτλ.) και την απομάκρυνση των προϊόντων εκσκαφής. Οι συρμοί τροφοδοσίας έχουν πρόσβαση στο TBM από τη διπλή γραμμή της σήραγγας προς τη μονή σιδηροτροχιά των βαγονιών διαμέσου ενός κλειδιού τύπου «California», που σύρεται από το τελευταίο βαγόνι υποστήριξης του TBM.



Κεφαλή Μηχανήματος TBM

Το κέντρο ελέγχου του TBM βρίσκεται στο βαγόνι υποστήριξης No1 και σε απόσταση 25 μ. περίπου πίσω από το μέτωπο εκσκαφής. Ο χειριστής ελέγχει την Πρόσθια και Οπίσθια Ασπίδα του TBM, ώστε να παραμένει ο άξονας εκσκαφής παράλληλος με τον άξονα της σήραγγας μελέτης. Το TBM διευθύνεται από σύστημα σκόπευσης με laser (CAP / ZED). Το σύστημα ZED χρησιμοποιεί laser που υποδεικνύει τις συντεταγμένες από την οριζόντια και κατακόρυφη απόσταση της θέσης του πρόσθιου σημείου της Κεφαλής Κοπής του TBM και τις μεταδίδει στο σύστημα CAP.

Το σύστημα CAP «διαβάζει» τις τιμές αυτές και ο χειριστής προσπαθεί να τηρήσει τις ανωτέρω τιμές, ενεργοποιώντας τις πιέσεις και τους ρυθμούς ροής των προωθητικών γρύλων, την ταχύτητα περιστροφής και τη ροπή στρέψης της Κεφαλής Κοπής. Σε περίπτωση σημαντικής παρέκκλισης που επισημαίνεται από το σύστημα ZED, προσδιορίζεται διορθωτική καμπύλη, ο σκοπός της οποίας είναι να φέρει το TBM, διαδοχικά, στη θεωρητική πορεία.

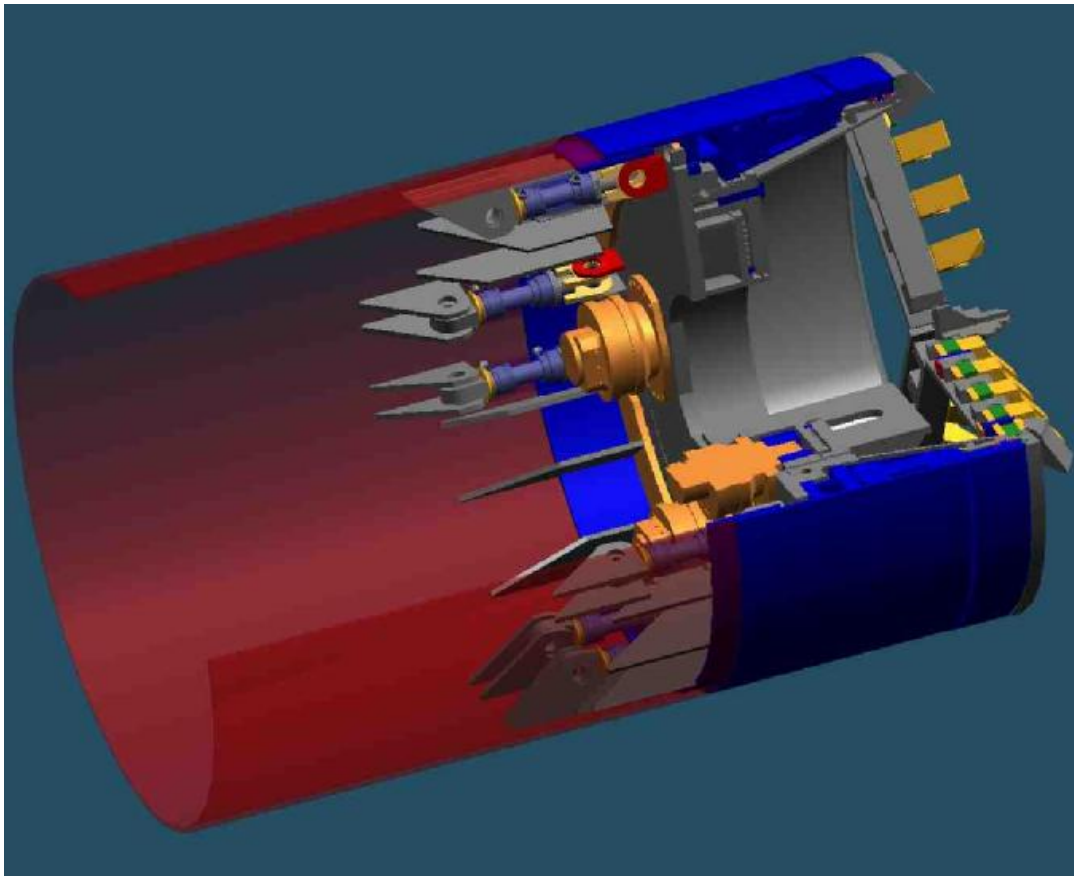


Κέντρο Ελέγχου TBM





Tunnel Boring Machine TBM





Tunnel Boring Machine



Tunnel Boring Machine



Tunnel Boring Machines

6.4 ΕΚΣΚΑΦΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΥΛΩΝ – ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΤΙΝΑΞΗΣ

Όταν ο τύπος του εδάφους που θα γίνει η εκσκαφή είναι σκληρός βράχος που χαρακτηρίζεται από ατελώς διαμορφωμένα ή μεγάλα στοιχεία κατάτμησης και η διάνοιξη με μηχανικά μέσα είναι αδύνατη τότε χρησιμοποιούμε εκρηκτικές ύλες.

6.4.1 Μηχανισμός θραύσης

Κατά την εξόρυξη των πετρωμάτων η εκρηκτική ύλη τοποθετείτε συνήθως εντός των διατρημάτων. Πυροδοτούμενη παράγει χημικές αντιδράσεις με αποτέλεσμα την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων, αερίων και θερμότητας, έτσι ώστε να αυξάνεται η πίεση σε πολύ λίγο χρόνο στα τοιχώματα του διατρήματος (50.000-100.000 at). Η γρήγορη αυτή αύξηση της πίεσης παράγει ένα κρουστικό κύμα, το οποίο εισχωρεί μέσα στο πέτρωμα με μια ταχύτητα 5000m/sec στα σκληρά πετρώματα και 3000m/sec στα μαλακά πετρώματα.

Το παραγόμενο κρουστικό κύμα προξενεί τις εξής ζώνες διάρρηξης, οι οποίες έχουν διεύθυνση προς τα έξω:

- α) ζώνη έντονου θρυμματισμού
- β) μεταβατική ζώνη, ή ζώνη θρυμματισμού και ρηγμάτωσης
- γ) ζώνη σχηματισμού ακτινωτών ρωγμών ή ελαστική περιοχή
- δ) ζώνη δόνησης του γειτονικού πετρώματος, συνέπεια ανάκλισης του κρουστικού κύματος
- ε) ελεύθερη επιφάνεια

Ανάλογα με το τύπο και την ποιότητα του χρησιμοποιούμενου εκρηκτικού η ακτίνα της ζώνης διαφέρει ανάλογα με το τύπο του πετρώματος που πρόκειται να εξορυχτεί.

Στην πρώτη ζώνη η αντοχή του πετρώματος είναι σχεδόν ασήμαντη σε σύγκριση με την ένταση του κρουστικού κύματος με αποτέλεσμα να προκαλείται έντονος θρυμματισμός του πετρώματος. Στη δεύτερη ζώνη η ένταση του κρουστικού κύματος, κατά την διέλευσή του μέσα από το πέτρωμα, μειώνεται συνεχώς έτσι ώστε το εσωτερικό τμήμα της μεταβατικής ζώνης να υφίσταται θρυμματισμό, το δε εξωτερικό ακτινωτή ρηγμάτωση. Στη θέση αυτή η ένταση του κρουστικού κύματος δεν είναι πλέον σε θέση να υπερνικήσει την αντοχή του πετρώματος και η πίεση μεταπίπτει σε ελαστικά κύματα. Στη τρίτη ζώνη τα ελαστικά κύματα παρουσιάζουν περιοδικές ταλαντώσεις, οι οποίες είναι ανεξάρτητες από την ένταση της διέγερσής τους και δεν μεταφέρουν καμία μάζα. Τα κρουστικά κύματα είναι διαμήκη θλιπτικά κύματα, τα οποία μεταφέρουν μάζα, αλλά δεν εξασκούν καμία περιοδική ταλάντωση. Οι αναπτυσσόμενες τάσεις εφελκυσμού είναι δυνατόν να προκαλέσουν διάρρηξη του υλικού και απόσπαση τεμαχίων από την ελεύθερη επιφάνεια, διότι η αντοχή του πετρώματος σε εφελκυσμό είναι πολύ μικρότερη από ότι σε θλίψη. Το φαινόμενο αυτό καλείται αποφλοίωση. Τέλος συνέπεια της στατικής πίεσης, την οποία ασκούν τα αέρια της έκρηξης (ωστική ενέργεια έκρηξης), οι σχηματιζόμενες ρωγμές γύρω από το θάλαμο της έκρηξης διευρύνονται, το πέτρωμα ρηγματώνεται, θρυμματίζεται και τέλος αποσπάται από τη θέση του. Η διάνοιξη σηράγγων είναι η τεχνική η οποία αναπτύχθηκε με ταχύ ρυθμό τα τελευταία χρόνια. Η χρήση πχ εκρηκτικού AN-FO και οι διάφορες μηχανές γόμωση συντέλεσαν στην συντόμευση του χρόνου γόμωσης. Πριν από την όρυξη των σηράγγων και γενικά των υπογείων έργων, πρέπει ο υπεύθυνος μηχανικός να καταρτίσει ένα τεχνικό πρόγραμμα εργασίας και ανάλογα με τις φυσικές ιδιότητες του πετρώματος, του απαιτούμενου μεγέθους της διατομής, του διατρητικού εξοπλισμού και του τύπου της εκρηκτικής ύλης να καθορίζει την μέθοδο όρυξης της σήραγγας, λαμβάνοντας πάντα υπόψη την ύπαρξη κινδύνων από τις εδαφικές δονήσεις της έκρηξης.



Ανατινάξεις

6.4.2 Η Επίδραση του τύπου πετρώματος

Οι συνθήκες θρυμματισμού ποικίλουν ανάλογα με τη δομή του πετρώματος.

Ο Boullcock παρατήρησε ότι σε ιδιαίτερα μαλακά και πλαστικά πετρώματα είναι δυνατόν να συμβεί μια πλαστική παραμόρφωση στο πάνω μέρος της περιοχής «θραύσης».

Διάμετρος κενού διατρήματος (Dmm)	2*57	75	83	100	2*75	110	125	150	200
Προεκσκαφή διπλής σπείρας σε m	3.10	3.00	3.30	3.80	4.10	4.10	4.50	5.10	6.30

Η ποιότητα του πετρώματος μπορεί να επηρεάσει ακόμη περισσότερο το αποτέλεσμα της έκρηξης όταν έχει ρωγμές και αργιλικές στρώσεις και μάλιστα με αντίθετη διεύθυνση από την διεύθυνση της έκρηξης.

6.4.3 Χρησιμοποιούμενη εκρηκτική ύλη

Γενικά στα υπόγεια έργα (σήραγγες, φρέατα, κλπ), οι χρησιμοποιούμενες εκρηκτικές ύλες πρέπει να έχουν υψηλό ειδικό βάρος, μεγάλη ισχύ, καλή ικανότητα αντίστασης στο νερό (αδιάβροχες) και όσο το δυνατόν περιορισμένη ποσότητα τοξικών αερίων.



Ανατινάξεις

Οι πλέον κατάλληλες εκρηκτικές ύλες για τα υπόγεια έργα δίνονται στο πίνακα.

Είδος πετρώματος	Είδος χρησιμοποιούμενης εκρηκτικής ύλης
Πολύ σκληρά	Ζελατινοδυναμίτιδες 30%
Σκληρά	Ζελατινοδυναμίτιδες 20%
Ημίσκληρα	Ζελατινοδυναμίτιδες 20% + AN-FO ή Αμμωνίτιδες
Μαλακά	Ζελατινοδυναμίτιδες 20% ως έναυσμα + AN-FO ή Αμμωνίτιδες

6.4.4 Διάνοιξη Σηράγγων με εκρηκτικές ύλες κοντά σε κατοικημένες περιοχές

Στην όρυξη σηράγγων κοντά σε κατοικημένες περιοχές, για να μειωθούν οι κίνδυνοι από τις εδαφικές δονήσεις, εφαρμόζεται η τεχνική της ελεγχόμενης εξόρυξης. Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής στην διάνοιξη των σηράγγων, η οποία κερδίζει σήμερα συνεχώς έδαφος, συμπληρώνει ένα κενό της τεχνικής εξόρυξης.



Ανατινάξεις

Όταν οι σήραγγες ορύσσονται κάτω από πόλεις, κτίρια ή άλλες εγκαταστάσεις, οι δονήσεις του εδάφους αποτελούν το κυριότερο πρόβλημα για το μηχανικό της εξόρυξης. Για την μείωσή τους είναι σκόπιμο να εκτελείται αρχικά ένα πειραματικό στάδιο εκρήξεων με μειωμένο αριθμό διατρημάτων ανά κύκλο ανατίναξης, τον οποίο η γόμωση και το βάθος τους πρέπει να είναι μειωμένα, σε σύγκριση με τις ίδιες συνθήκες όρυξης σηράγγων εκτός κατοικημένης περιοχής.

Σε κάθε έκρηξη του πειραματικού σταδίου πρέπει να εκτελείται μέτρηση των εδαφικών δονήσεων και συνδυασμός πυροδότησης με καψύλλια ms και ½ sec. Σε σήραγγες όμως μικρής διατομής όπου είναι δύσκολη η διάτρηση στις γωνίες χρησιμοποιείται ο κυλινδρικός τύπος προεκσκαφής.

Ο περισσότερο κατάλληλος τύπος προεκσκαφής για την όρυξη των σηράγγων στην περίπτωση που παρουσιάζονται εδαφικές δονήσεις είναι ο ριπιδοειδής τύπος (fan cut). Είναι προτιμότερο να ορύσσονται δύο κενά διατρήματα μεγάλης διαμέτρου στο κέντρο της προεκσκαφής, για να έχουν μεγαλύτερο χώρο να εκτονωθούν τα αέρια της έκρηξης.



Ανατινάξεις

Εκείνο όμως που ιδιαίτερα συνιστάται για όλες τις διατομές σηράγγων είναι η χρήση διατρημάτων με μικρό βάθος και ο διαχωρισμός της εργασίας σε δύο φάσεις, όταν οι σήραγγες έχουν μεγάλη διατομή. Ο υπολογισμός γόμωσης κατά την εφαρμογή του ριπιδοειδή τύπου προεκσκαφής για την περίπτωση σηράγγων σε κατοικημένη περιοχή, βασίζεται στις ίδιες τιμές που χρησιμοποιείται στις ορύξεις τάφρων. Η χρήση διατρημάτων με μικρή διάμετρο είναι απαραίτητη.

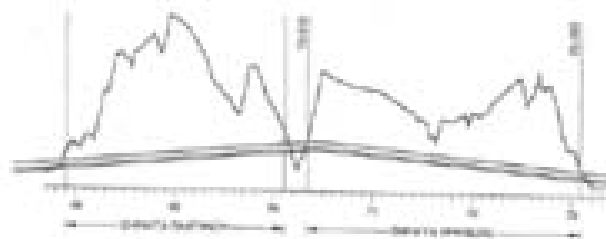
Τέλος, έχει αποδειχθεί ότι πρέπει να αποφεύγονται οι υπερβολικά μικρές προχωρήσεις ανά κύκλο ανατίναξης. Σε περίπτωση όπου εκτελούνται εκρήξεις κοντά σε κατοικημένες περιοχές, είναι απαραίτητο να λαμβάνονται συνεχώς μετρήσεις των εδαφικών δονήσεων κατά την έκρηξη. Οι λαμβανόμενες τιμές είναι περισσότερο ακριβής από αυτές που προκύπτουν κατά το θεωρητικό υπολογισμό και πρέπει να γίνεται προσαρμογή της έκρηξης στις τιμές αυτές.

7. Παράδειγμα για την «ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΠΛΑΤΑΝΟΥ – ΤΡΑΠΕΖΑΣ ΚΑΙ ΓΕΦΥΡΑΣ ΛΑΔΟΠΟΤΑΜΟΥ ΣΤΟ ΤΜΗΜΑ ΚΙΑΤΟ – ΑΙΓΙΟ ΤΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΝΟΝΙΚΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΑΘΗΝΩΝ – ΠΑΤΡΩΝ ΑΠΟ ΤΗ Χ.Θ. 67+870,00 ΕΩΣ ΤΗ Χ.Θ. 73+135,00»

Η σήραγγα Πλατάνου ξεκινά από τον οικισμό Πλατάνου, διέρχεται κάτω από την Νέα Εθνική Οδό Κορίνθου – Πατρών και καταλήγει στην περιοχή της Τράπεζας, πλησίον της οδού με κατεύθυνση τα Καλάβρυτα και τη γέφυρα του ποταμού Λαδοποτάμου η οποία θα συνδέσει την έξοδο της σήραγγας Πλατάνου με την είσοδο της σήραγγας Τράπεζας.

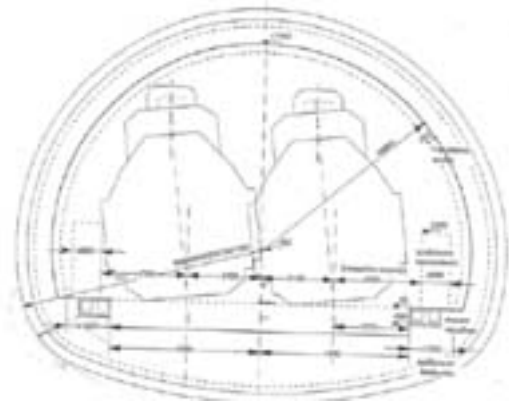
Η σήραγγα Τράπεζας περνάει κάτω από τον οικισμό Τράπεζας και στην έξοδο της (πλευρά Διακοπτού) περνάει κάτω από την Νέα Εθνική Οδό.

Οι σήραγγες είναι διπλής τροχιάς με αξονική απόσταση των δύο γραμμών 4,20m. Ο ωφέλιμος χώρος καταλαμβάνει εμβαδόν περίπου 95m². Κατά μήκος και των δύο σήραγγων προβλέπονται Σήραγγες Διαφυγής ωφέλιμου εμβαδού 20m² περίπου.



Μηκοτομή Σήραγγας

Η διάνοιξη της **Σήραγγας Πλατάνου** θα πραγματοποιηθεί σε δύο κύριους σχηματισμούς, σε νεογενείς στις περιοχές των στομιών και σε λεπτοστρωματώδεις ασβεστολιθικούς σχηματισμούς για το μεγαλύτερο τμήμα. Η διάνοιξη και η αντιστήριξη των σηράγγων θα πραγματοποιηθεί με συμβατική μέθοδο. Στο τμήμα των νεογενών η διάνοιξη θα γίνει με μηχανικά μέσα ενώ στους ασβεστόλιθους κυρίως με εκρηκτικά. Για την προσωρινή αντιστήριξη υιοθετήθηκαν τέσσερις τυπικές διατομές (βλ. παράρτημα σχέδια 1, 2, 3 και 4) για την περιοχή των ασβεστολίθων και τρεις για την περιοχή των νεογενών.



Διατομή Σήραγγας

Η διάνοιξη της **Σήραγγας Τράπεζας** θα γίνει κυρίως σε μάργες και μάργες με ενστρώσεις κροκαλοπαγών. Η διάνοιξη θα γίνεται ολομέτωπα με μηχανικά μέσα σε βήματα των 1,00 – 1,50 m.

Σκοπός του έργου είναι:

- Ø η εξυπηρέτηση των μετακινήσεων στα αστικά κέντρα
- Ø η βελτίωση της συμπληρωματικότητας του συστήματος μεταφορών
- Ø η αρτιότερη εξυπηρέτηση του επιβατικού κοινού
- Ø η εκτέλεση διαμεταφορικού έργου
- Ø ο εκσυγχρονισμός του περιφερειακού δικτύου
- Ø η εξυπηρέτηση εμπορευματικών μεταφορών

Η τελική κατασκευή θα αποτελείται από διπλή ηλεκτροκινούμενη και τηλε-διοικούμενη γραμμή που θα κυκλοφορείται με μέγιστες ταχύτητες τουλάχιστον ίσες με 200 χλμ./ώρα. Οι χρόνοι διαδρομής θα έχουν μειωθεί στη διαδρομή Αθήνα – Πάτρα σε λιγότερο από δύο (2) ώρες έναντι τριών (3) ωρών και τριάντα (30) λεπτών που είναι σήμερα. Το συνολικό έργο περιλαμβάνει τέσσερις (4) γέφυρες συνολικού μήκους εφτακοσίων (700) μέτρων περίπου, καθώς επίσης και η σήραγγα Αιγίου συνολικού μήκους τριών χιλιάδων πεντακοσίων (3500) μέτρων με τις σήραγγες διαφυγής συνολικού μήκους εφτακοσίων ενενήντα (790) μέτρων.

Οι σημαντικότερες δυσκολίες του έργου σχετίζονται κυρίως με το γεγονός ότι η χάραξη διέρχεται σε μεγάλο τμήμα της μέσα από κατοικημένες περιοχές με διαμορφωμένο πολεοδομικό σχέδιο. Επίσης επειδή η χάραξη διασχίζει σε διάφορα τμήματά της την Παλαιά και τη Νέα Εθνική Οδό Κορίνθου – Πατρών, ο σχεδιασμός του έργου θα πρέπει να διασφαλίζει τη συνεχή λειτουργία τους.

7.1 ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Οι εργασίες που θα εκτελεστούν για την κατασκευή του παραπάνω έργου είναι οι εξής:

A. Κατασκευή σήραγγας Πλατάνου από τη Χ.Θ. 67+881,11 έως τη Χ.Θ. 70+174,01

Η σήραγγα, που θα κατασκευαστεί, θα έχει συνολικό μήκος **2292,9m** και συμπεριλαμβάνει την κατασκευή:

- Του τεχνικού εισόδου σήραγγας από τη Χ.Θ. 67+881,11 έως τη Χ.Θ. 67+894,35.
- Της Σήραγγας από Χ.Θ. 67+894,35 έως τη Χ.Θ. 70+154,25
- Του τεχνικού εξόδου σήραγγας από τη Χ.Θ. 70+154,25 έως τη Χ.Θ. 70+174,01
- Της Σήραγγας Διαφυγής ΟΧ-1

- Της Σήραγγας Διαφυγής ΟΧ-2
- Του συστήματος αποστράγγισης – αποχέτευσης της σήραγγας
- Της Υποδομής της σιδηροδρομικής γραμμής εντός της σήραγγας
- Των Προσωρινών έργων πλησίον τεχνικών εισόδου – εξόδου σιδηροδρόμων όπως τα έργα διαμόρφωσης της περιοχής του στομίου εισόδου, που περιλαμβάνουν την κατασκευή των πασσαλοτοίχων για την αντιστήριξη του κεκλιμένου ανάγλυφου, καθώς και η διαμόρφωση των χώρων συγκέντρωσης.

B. Κατασκευή σήραγγας Τράπεζας από τη Χ.Θ. 70+355,67 έως τη Χ.Θ. 73+103,79

Η σήραγγα που θα κατασκευαστεί θα έχει συνολικό μήκος **2748,12m** και συμπεριλαμβάνει την κατασκευή:

- Του τεχνικού εισόδου σήραγγας από τη Χ.Θ. 70+355,67 έως τη Χ.Θ. 70+373,19
- Της Σήραγγας από Χ.Θ. 70+373,19 έως τη Χ.Θ. 73+086,80.
- Του τεχνικού εξόδου σήραγγας από τη Χ.Θ. 73+086,80 έως τη Χ.Θ. 73+103,79
- Της Σήραγγας Διαφυγής ΣΔ1
- Της Σήραγγας Διαφυγής ΣΔ2
- Του συστήματος αποστράγγισης – αποχέτευσης της σήραγγας
- Της Υποδομής της σιδηροδρομικής γραμμής εντός της σήραγγας
- Των Προσωρινών έργων πλησίον τεχνικών εισόδου – εξόδου σιδηροδρόμων όπως τα έργα διαμόρφωσης της περιοχής του στομίου εισόδου, που περιλαμβάνουν την κατασκευή των πασσαλοτοίχων για την αντιστήριξη του κεκλιμένου ανάγλυφου, καθώς και η διαμόρφωση των χώρων συγκέντρωσης.

Γ. Κατασκευή γέφυρας Λαδοποτάμου από τη Χ.Θ. 70+210,60 έως τη Χ.Θ. 70+320,10

Το τεχνικό της γέφυρας Λαδοποτάμου, συνολικού μήκους 109,50m, που θα αποτελείται από δύο ανεξάρτητους φορείς, έναν για κάθε κατεύθυνση, και ο κάθε επιμέρους φορέας θα αποτελείται αντίστοιχα από τέσσερα ανοίγματα.

Δ. Οδικά έργα

Για τις ανάγκες του έργου και προκειμένου να εξασφαλιστεί η πρόσβαση στις περιοχές των στομιών εισόδου – εξόδου των Σιδηροδρομικών Σηράγγων αλλά και των Σηράγγων Διαφυγής θα κατασκευαστούν οδοί πρόσβασης και συγκεκριμένα:

- Σιδηροδρομική Σήραγγα Πλατάνου. Θα κατασκευαστούν οδοί πρόσβασης συνολικού μήκους 810m περίπου.

- Σιδηροδρομική Σήραγγα Τράπεζας. Θα κατασκευαστούν οδοί πρόσβασης συνολικού μήκους 420m περίπου.

Ε. Ηλεκτρομηχανολογικές Εγκαταστάσεις

- Η κατασκευή του συστήματος πυρόσβεσης σήραγγας Πλατάνου
- Η κατασκευή του συστήματος πυρόσβεσης σήραγγας Τράπεζας
- Η κατασκευή συστήματος γείωσης σήραγγας Πλατάνου
- Η κατασκευή συστήματος γείωσης σήραγγας Τράπεζας
- Η κατασκευή συστήματος γείωσης γέφυρας Λαδοποτάμου

7.2 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η Νέα Σιδηροδρομική Γραμμή Υψηλών Ταχυτήτων κανονικού εύρους μεταξύ Κορίνθου – Πάτρας θα κατασκευαστεί σύμφωνα με τις παρακάτω προδιαγραφές οι οποίες έχουν ληφθεί υπ' όψιν κατά τον σχεδιασμό και των δύο σηράγγων:

1. Διπλή γραμμή κανονικού εύρους
2. Μέγιστη κατά μήκος κλίση στη σήραγγα 1%
3. Περιτύπωμα ελεύθερης διατομής με ηλεκτροκίνηση και κατασκευαστικό ύψος αλυσοειδούς 0,90m
4. Αξονική απόσταση μεταξύ των δύο γραμμών : 4,20 m
5. Η κίνηση της σήραγγας θα είναι μεικτή (επιβατικοί και εμπορευματικοί συρμοί)
6. Η ταχύτητα σχεδιασμού σήραγγας είναι 160 km/h

7.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΧΑΡΑΞΗΣ

7.3.1 Οριζοντιογραφία και κατά μήκος τομή

Η υπό κατασκευή Σιδηροδρομική Γραμμή Υψηλών Ταχυτήτων κανονικού εύρους Αθηνών – Πατρών θα αποτελείται από διπλή γραμμή κανονικού εύρους με αξονική απόσταση μεταξύ των δύο γραμμών 4,20 μέτρα. Η μέγιστη κατά μήκος κλίση στις σήραγγες Πλατάνου και Τράπεζας θα είναι 1%. Στον σχεδιασμό των σηράγγων είχε ληφθεί υπ' όψιν το περιτύπωμα ελεύθερης διατομής με ηλεκτροκίνηση και κατασκευαστικό ύψος αλυσοειδούς 0,90m. Η κίνηση στη σήραγγα θα είναι μεικτή, δηλαδή επιβατικοί και εμπορευματικοί συρμοί και η ταχύτητα σχεδιασμού σήραγγας είναι τα 160km/h. (βλ. παράρτημα σχέδιο 10)

7.4 ΣΗΡΑΓΓΑ ΠΛΑΤΑΝΟΥ

Η σήραγγα Πλατάνου θα κατασκευασθεί από τη Χ.Θ. 67 + 881,11 έως τη Χ.Θ. 70 + 174,01. Το τμήμα, που πρόκειται να κατασκευασθεί με υπόγεια διάνοιξη οριοθετείται από τις χιλιομετρικές θέσεις 67 + 894,35 και 70 + 154,25 (2259,90m).

Τα τμήματα της σήραγγας πριν και μετά από αυτές τις χιλιομετρικές θέσεις θα κατασκευασθούν με τη μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης (Cut and Cover) και συγκεκριμένα, το τεχνικό εισόδου της σήραγγας από Χ.Θ. 67 + 881,11 έως 67 + 894,35 (13,24m) και το τεχνικό εξόδου της σήραγγας από Χ.Θ. 70 + 154,25 έως 70 + 174,01 (19,76m).

Στην είσοδο της σήραγγας Πλατάνου θα γίνει διαμόρφωση πρανών και για την αντιστήριξη τους προβλέπεται η κατασκευή του προσωρινού έργου που θα αποτελείται από πασσαλότοιχους.

Για την εξασφάλιση πρόσβασης στη σήραγγα προβλέπεται η κατασκευή οδών πρόσβασης στην περιοχή εισόδου της σήραγγας Πλατάνου.

Για λόγους ασφαλείας σε περίπτωση ατυχημάτων προβλέπεται η κατασκευή δύο σηράγγων διαφυγής ΟΧ-1 και ΟΧ-2, ο άξονας των οποίων διασταυρώνει τον άξονα της σιδηροδρομικής σήραγγας στις θέσεις Χ.Θ. 68 + 640,99 και 69 + 430,97 αντίστοιχα.

Η σήραγγα διαφυγής ΟΧ-1 έχει συνολικό μήκος 384,72m. Το τμήμα από την έξοδο της ΟΧ-1 έως τη Χ.Θ. 0 + 369,0 (15,72m) κατασκευάζεται με τη μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης (Cut and Cover) και το υπόλοιπο με διάνοιξη.

Η σήραγγα διαφυγής ΟΧ-2 έχει συνολικό μήκος 270,25 μέτρα. Το τμήμα από την έξοδο της σήραγγας έως τη Χ.Θ. 0 + 252,0 (18,25m) κατασκευάζεται με τη μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης (Cut and Cover) και το υπόλοιπο με υπόγεια διάνοιξη. Στα στόμια και των δύο σηράγγων διαφυγής διαμορφώνονται ειδικοί χώροι συγκέντρωσης.

7.4.1 Στοιχεία χάραξης σιδηροδρομικής σήραγγας και σηράγγων διαφυγής

Η χάραξη από την είσοδο της σήραγγας Πλατάνου (οικισμός Πλατάνου) προς την έξοδό της (πλευρά γέφυρας Λαδοπόταμου), οριζοντιογραφικά ακολουθεί την αλληλουχία:

- Καμπύλη ακτίνας 2000m στην ευρύτερη περιοχή της εισόδου
- Ευθυγραμμία για μήκος 1853,19m και
- Καμπύλη ακτίνας 10000m στη περιοχή της εξόδου

Μηκοτομικά, η σήραγγα βρίσκεται σε ενιαία ανοδική χάραξη με κλίση 1% από την είσοδο της προς την έξοδο.

Η σήραγγα διαφυγής OX-1 θα έχει συνολικό μήκος 384,72m. Η χάραξη της OX-1 ακολουθεί, μηκοτομικά, κατηφορική κλίση, με μέγιστη τιμή 1,65%, με κατεύθυνση από το σημείο διασταύρωσής της με τη σιδηροδρομική σήραγγα Πλατάνου προς την έξοδο της σήραγγας διαφυγής. (βλ. παράρτημα σχέδιο 5)

Η σήραγγα διαφυγής OX-2 θα έχει συνολικό μήκος 275,00m. Η χάραξη της OX2 ακολουθεί, μηκοτομικά, κατηφορική κλίση, με μέγιστη τιμή 6,65%, με κατεύθυνση από το σημείο διασταύρωσής της με τη σιδηροδρομική σήραγγα Πλατάνου προς την έξοδο της σήραγγας διαφυγής. Η ωφέλιμη ακτίνα των Σηράγγων Διαφυγής είναι 2,70m.(βλ. παράρτημα σχέδιο 5)

7.4.2 Τυπική διατομή σιδηροδρομικής σήραγγας

Η σιδηροδρομική σήραγγα του Πλατάνου θα είναι διατομής «διπλής τροχιάς» με αξονική απόσταση μεταξύ των δύο σιδηροδρομικών γραμμών 4,20m. Για τον σχεδιασμό της τυπικής διατομής ελήφθη υπ'όψιν το περιτύπωμα ελεύθερης διατομής με ηλεκτροκίνηση και κατασκευαστικό ύψος αλυσοειδούς 0,90m. (βλ. παράρτημα σχέδιο 7)

Ο ωφέλιμος χώρος οριοθετείται από ένα τόξο ακτίνας $R = 6,05\text{m}$ όπου το κέντρο του βρίσκεται σε ύψος $h = 1,80\text{m}$ από τη στάθμη της σιδηροτροχιάς και διαγράφει γωνία $224,68^\circ$. Ο χώρος αυτός περιλαμβάνει πρόσθετο χώρο 25cm για μελλοντική χρήση από την Υπηρεσία. Συνολικά ο ωφέλιμος χώρος έχει εμβαδόν $E = 95\text{m}^2$ περίπου.

Η εφαρμοζόμενη τυπική διατομή είναι επαρκής για να καλύψει τόσο τις απαιτήσεις αερισμού, όσο και την αεροδυναμική λειτουργία της σήραγγας για την ταχύτητα μελέτης $V = 160 \text{ km/h}$.

Η μόνιμη επένδυση της σήραγγας κατασκευάζεται από έγχυτο οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα χαρακτηριστικά της βραχώμαζας, προβλέπονται:

- Τρεις τύποι τυπικών διατομών μόνιμης επένδυσης κλειστού πυθμένα (ανάστροφο τόξο) για τη περιοχή της σήραγγας, όπου η διάνοιξη πραγματοποιείται σε νεογενείς σχηματισμούς. Το πάχος της μόνιμης επένδυσης κυμαίνεται από $40\text{-}50\text{cm}$.

- Τέσσερις τύποι τυπικών διατομών μόνιμης επένδυσης ανοιχτού πυθμένα για την περιοχή όπου η διάνοιξη πραγματοποιείται σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς και στην περιοχή μετάβασης από ασβεστόλιθους σχηματισμούς σε νεογενή. Το πάχος της μόνιμης επένδυσης σε αυτά τα τμήματα κυμαίνεται από $30\text{-}40\text{cm}$.

Εκατέρωθεν των σιδηροτροχιών προβλέπεται η κατασκευή δύο πεζοδρομίων ελάχιστου πλάτους $1,20\text{m}$. Τα πεζοδρόμια αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως οδοί διαφυγής και κατά τη διάρκεια κίνησης των σιδηροδρομικών συρμών εντός της σήραγγας, λόγω του ότι το απολύτως ελεύθερο πλάτος τους ίσον με $0,80\text{m}$ παραμένει ελεύθερο και ασφαλές.

Στα πεζοδρόμια προβλέπεται η κατασκευή δύο δίδυμων καναλιών καλωδίων, εξωτερικών διαστάσεων $0,90 \times 0,50\text{m}$, δηλαδή ένα δίδυμο κανάλι σε κάθε πλευρά της σήραγγας, που θα κατασκευαστούν από οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37.

Κατά μήκος της κύριας σήραγγας Πλατάνου και στις δύο πλευρές της, προβλέπεται η κατασκευή εσοχών – καταφυγίων ασφαλείας προσωπικού, που θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους εργαζομένους στη σήραγγα κατά την διάρκεια της λειτουργίας της. Η απόσταση μεταξύ των καταφυγίων θα είναι 48m, σε πεσσοειδή διάταξη, στις δύο πλευρές της σήραγγας.

Οι ελάχιστες διαστάσεις των εσοχών – καταφυγίων ασφαλείας της σήραγγας είναι 1,50x2,20x2,10m σύμφωνα με τις απαιτήσεις ασφαλείας του ΟΣΕ Α.Ε.

Για λόγους ευχερέστερης χρήσης των εσοχών αλλά και για την διευκόλυνση των σκυροδετήσεων η οροφή των καταφυγίων κατασκευάζεται λοξοτημένη με μέγιστο ύψος $h = 2,50$ m.

Οι εσοχές ασφαλείας κατασκευάζονται σε κάθε πλευρά της σήραγγας, ανά 48m, με μήκος μεταλλότυπου 12m, έτσι ώστε οι αρμοί σκυροδέτησης να βρίσκονται εκτός των εσοχών. Η τοποθέτησή τους στις δύο παρειές είναι πεσσοειδής, δηλαδή οι εσοχές – καταφύγια της μίας παρειάς της σήραγγας αντιστοιχούν στα μεσοδιαστήματα των εσοχών της άλλης παρειάς.

Η επιδομή της σιδηροδρομικής γραμμής θα κατασκευαστεί με έρμα, ελάχιστου συνολικού πάχους 0,33m κάτω από τους στρωτήρες στη θέση της κρίσιμης σιδηροτροχιάς, μέσα στο οποίο εγκιβωτίζονται οι στρωτήρες.

7.4.3 Τυπική διατομή σηράγγων διαφυγής

Η διατομή των σηράγγων διαφυγής είναι ωφέλιμου εμβαδού $E = 20\text{m}^2$ περίπου. Εντός των σηράγγων διαφυγής θα κατασκευαστεί διάδρομος κυκλοφορίας οχημάτων έκτακτης ανάγκης, με ελεύθερο ύψος $h = 3,25\text{m}$ καθώς και διάδρομος κυκλοφορίας πεζών. Στις σήραγγες διαφυγής, σύμφωνα με την μελέτη προβλέπεται και η κατασκευή τμήματος με διευρυμένη διατομή για την δημιουργία πλατύσματος προκειμένου να είναι δυνατή η διασταύρωση των οχημάτων που θα κινούνται εντός της σήραγγας.

7.4.4 Γεωλογικές συνθήκες στη περιοχή της σιδηροδρομικής Σήραγγας

Το γεωλογικό υπόβαθρο της ευρύτερης περιοχής στην οποία κατασκευάζεται το μεγαλύτερο τμήμα της σιδηροδρομικής σήραγγας Πλατάνου, αποτελούν κυρίως κρητιδικοί ασβεστόλιθοι (ks) της ενότητας της Πίνδου και κατά δεύτερο λόγο, τα μεταλλικά ιζήματα του Πλειοπλειστοκαινού, που έχουν αποθεθεί ασύμφωνα στο Αλπικό υπόβαθρο. Ασύμφωνα στους Αλπικούς και στους Πλειοπλειστοκαινούς σχηματισμούς τοποθετούνται οι πρόσφατοι τεταρτογενείς σχηματισμοί.

Από απόψεως φυσικομηχανικής συμπεριφοράς οι γεωλογικοί σχηματισμοί διαχωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, οι μεταλλικοί σχηματισμοί, οι οποίοι έχουν κυρίως κοκκώδη χαρακτηριστικά και οι αλπικοί σχηματισμοί, οι οποίοι χαρακτηρίζονται κυρίως ως μέσο ασυνεχειών.

Υλικά Πρόσφατων Κατολισθήσεων (LS) αποτελούν χαλαρά, ετερογενή υλικά, τα οποία προέρχονται από πρόσφατες κατολισθητικές κινήσεις. Συνίστανται κυρίως από αργιλομαργικά υλικά με διάσπαρτους λίθους κροκαλοπαγών στη μάζα τους ή από αργιλοχαλικώδη ασβεστολιθικά υλικά. Το χρώμα τους είναι καστανό και έχουν γενικά μικρό πάχος. Τα αυλικά των πρόσφατων κατολισθήσεων δεν αναμένεται να συναντηθούν κατά μήκος του τεχνικού έργου.

Υλικά Παλαιών Κατολισθήσεων (LM) αποτελούν σχετικά χαλαρά υλικά, τα οποία προέρχονται από την εκδήλωση παλαιότερων κατολισθήσεων. Έχουν κυρίως αργιλομαργαϊκή σύσταση και τοπικά περιέχουν κροκάλες, λίθους και ογκολίθους κροκαλοπαγών. Χαρακτηρίζονται από έντονη ανομοιομορφία και κυμαινόμενη συνεκτικότητα. Έχουν χρώμα καστανό έως κοκκινοκάστανο. Τα υλικά των παλαιών κατολισθήσεων αναμένεται να συναντηθούν στην περιοχή εισόδου της σήραγγας Πλατάνου.

Για την διάνοιξη μονίμων πρानών εκσκαφή στα υλικά αυτά προβλέπονται μέτρα αντιστήριξης καθώς και μόνιμη ενόργανη παρακολούθηση για ενδεχόμενες μετακινήσεις. Στα υλικά των παλαιών κατολισθήσεων αναμένεται περιορισμένη κυκλοφορία νερού.

Κορήματα (SC) τα υλικά αυτά προέρχονται κυρίως από την αποσάθρωση των ασβεστολίθων. Έχουν συνήθως αργιλοχαλικώδη σύσταση με άργιλο και διάσπαρτες λατύπες ή κροκάλες. Το χρώμα τους είναι καστανό έως καστανοκόκκινο. Πρόκειται για μέτρια συνεκτικά υλικά. Έχουν μεγάλη έκταση στο βόρειο τμήμα της περιοχής αλλά δεν αναμένονται να συναντηθούν κατά τη διάνοιξη της σιδηροδρομικής σήραγγας, παρά μόνο στις περιοχές των μετώπων των σιράγγων διαφυγής.

Αργιλικά κορήματα (SM) τα υλικά αυτά προέρχονται κυρίως από την αποσάθρωση των μαργαϊκών σχηματισμών και έχουν συνήθως αργιλική σύσταση με μικρή περιεκτικότητα σε αδρόκκοκα υλικά. Το πάχος τους κυμαίνεται από 5-10m. Συναντώνται περιορισμένα κατά θέσεις στην περιοχή του έργου και καλύπτουν επικλινείς περιοχές.

Ελουβιακός μανδύας (EL) πρόκειται για χαλαρό εδαφικό μανδύα αποσάθρωσης. Στην περιοχή του έργου η σύστασή του είναι αργιλοχαλικώδης έως αργιλική. Το μέσο πάχος του σχηματισμού είναι της τάξης των 2m. Αναμένεται να συναντηθεί στο στόμιο εξόδου της σήραγγας.

Πλειστοκαινικός σχηματισμός (PT) πρόκειται για αργιλικό κυρίως σχηματισμό με λεπτές ενστρώσεις ή και φακούς κροκάλων και άμμων, ο οποίος αναμένεται να συναντηθεί στο τμήμα από τη Χ.Θ. 67+960 έως τη Χ.Θ. 68+200 περίπου. Ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλή έως ασήμαντη διαπερατότητα. Περιορισμένη κυκλοφορία του νερού μπορεί να γίνεται στις απρόκοπες ενστρώσεις του και αναμένεται η ανάπτυξη υδροφόρων οριζόντων.

Στιφρές άργιλοι – Μάργες (MC) αποτελούν την κατώτερη λιθολογική φάση των Πλειοπλειστοκαινικών αποθέσεων. Έχουν σύσταση αργιλική έως αργιλοαμμώδη και περιέχουν κατά θέσεις λεπτές ενστρώσεις κροκαλοπαγών.

Το χρώμα τους είναι καστανογκρί. Αναμένεται να συναντηθούν στο τμήμα της σήραγγας από τη Χ.Θ. 69+630 έως τη Χ.Θ. 70+090. Σχετικά με τα υπόγεια νερά είναι δυνατό να συναντηθούν κατά τη διάνοιξη της σήραγγας, εγκλωβισμένοι υδροφόροι ορίζοντες στις πιο αδρόκκοκες φάσεις τους, πολύ μικρής έως ασήμαντης δυναμικότητας, η εκτόνωση των οποίων επηρεάζει σημαντικά την ευστάθεια του μετώπου και των παρειών της σήραγγας.

Μάργες και ενστρώσεις κροκαλοπαγών (MG) πρόκειται για σχηματισμό ο οποίος αναμένεται να συναντηθεί κυρίως στο στόθμιο εξόδου της σήραγγας. Συναντάται επίσης σε μεγάλο τμήμα της υπερκείμενης περιοχής της σήραγγας, είτε υπερκείμενος των στριφών αργίλων είτε των ασβεστολίθων. Συνιστάται από εναλλαγές μαργαϊκών οριζόντων, κυρίως αργιλικής σύστασης με ενστρώσεις μέτρια συνεκτικών πολύμεικτων κροκαλοπαγών, καστανογκρί χρώματος. Το συνδετικό υλικό είναι μαργαϊκής σύστασης. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στο θέμα των υπογείων υδροφοριών. Ο σχηματισμός αυτός εκτιμάται ότι παρουσιάζει χαμηλή έως πολύ χαμηλή διαπερατότητα λόγω του αργιλικού γενικά χαρακτήρα του.

Υλικά αναβαθμίδων (MT) πρόκειται για πολύ μεικτά κροκαλοπαγή με ψαμμιτικό ή ασβεστιτικό συνδετικό υλικό και κατά θέσεις περιέχουν ενστρώσεις στριφών – αργίλων και άμμων. Γενικά είναι καλά συγκολλημένα και παρουσιάζουν βραχώδη συμπεριφορά. Έχουν μικρό πάχος από 2-10m.

Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι (KS) πρόκειται για σχηματισμό ο οποίος θα φιλοξενήσει μεγάλο τμήμα της σήραγγας από τη Χ.Θ. 68+200 έως τη Χ.Θ. 69+650 περίπου. Πρόκειται για λεπτοστρωματώδη έως μεσοστρωματώδη σχηματισμό με πάχος στρώσης συνήθως έως 30cm, μέσα στο οποίο συναντώνται μικρές ενστρώσεις και κόνδυλοι κερατολίθων και λεπτές ενδιαστρώσεις αργιλικών σχιστολίθων. Στο σύνολό του παρουσιάζει έντονη τεκτονική καταπόνηση, λόγω του πρόσφατου ρηγματογόνου τεκτονισμού αλλά και των πτυχώσεων που έχει υποστεί.

Για την διαμόρφωση στομίων και την διάνοιξη του υπογείου έργου κατά το μεγαλύτερο μέρος του απαιτείται η χρήση εκρηκτικών. Η επιλογή της μεθοδολογίας θα πρέπει να λαμβάνει υπ' όψιν την κατά το δυνατόν λιγότερη διατάραξη της παραμένουσας βραχώμαζας. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στις ζώνες έντονου κατακερματισμού του πετρώματος (ρηξιγενείς ζώνες κορυφαία πτυχώσεων), όπου η βραχώμαζα αναμένεται να είναι διαταραγμένη με αργιλοχαλικώδη υλικά έως και μυλωνιτιωμένα. Στον ασβεστολιθικό σχηματισμό δεν αναπτύσσεται υδροφόρος ορίζοντας.

7.4.5 Τεχνικά χαρακτηριστικά για την αντιστήριξη – διαμόρφωση των πρανών των στομίων της σήραγγας

Στα στόμια της σιδηροδρομικής σήραγγας Πλατάνου προβλέπεται η κατασκευή τοίχων αντιστήριξης πρανών προκειμένου να διαμορφωθεί ο χώρος προσπέλασης σηράγγων.

Στα προσωρινά για την αντιστήριξη πρανών πλησίον των στομίων εισόδου – εξόδου της σήραγγας Πλατάνου, καθώς και των σηράγγων διαφυγής ΟΧ-1 και ΟΧ-2 συμπεριλαμβάνεται η κατασκευή ανοικτού τοίχου αποτελούμενου από πασσάλους διαμέτρου $D = 1,00m$, η διαμόρφωση πρανών, καθώς και η τοποθέτηση προεντεταμένων αγκυρίων πλήρους πάκτωσης, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στην εγκεκριμένη οριστική μελέτη.

7.4.6 Σύστημα αποστράγγισης της σιδηροδρομικής σήραγγας

Το αποστραγγιστικό σύστημα της σήραγγας Πλατάνου αποτελείται από δύο εξωτερικά στραγγιστήρια (ένα από κάθε πλευρά της σήραγγας), τα οποία συνδέονται, εντός των φρεατίων, που κατασκευάζονται στις εσοχές των καταφυγίων προσωπικού, με δύο εσωτερικά στραγγιστήρια σύμφωνα με την οριστική μελέτη.

Τα δύο εξωτερικά στραγγιστήρια αποστραγγίζουν τα τυχόν νερά της περιβάλλουσας βραχώμαζας, ενώ τα εσωτερικά δέχονται τα νερά των εξωτερικών και όποια υγρά μπορεί να προέρχονται από τη λειτουργία της σήραγγας. Περιμετρικά της σήραγγας, μεταξύ της προσωρινής και της μόνιμης επένδυσης, προβλέπεται η τοποθέτηση υδρομαστευτικής στρώσης, από γεώφασμα, και στεγανωτικής μεμβράνης, για την καλύτερη συλλογή και απομάκρυνση των υδάτων.

Τα διαμήκη εξωτερικά στραγγιστήρια όπου καταλήγουν τα ύδατα, είναι διάτρητοι πλαστικοί σωλήνες από PVC διαμέτρου Φ200mm εγκιβωτισμένη σε πορώδες σκυρόδεμα για την προστασία τους κατά την διάρκεια σκυροδέτησης της μόνιμης επένδυσης της σήραγγας. Για τον έλεγχο και καθαρισμό των στραγγιστηριών προβλέπεται η κατασκευή των φρεατίων ελέγχου στις θέσεις των εσοχών των καταφυγίων προσωπικού, σε απόσταση των 48m περίπου σε κάθε παρειά της σήραγγας. Το εσωτερικό αποστραγγιστικό σύστημα της σήραγγας κατασκευάζεται κάτω από τα πεζοδρόμια, αποτελείται από ένα τσιμεντοσωλήνα διαμέτρου Φ400mm (σε κάθε πεζοδρόμιο). Φρεάτια ελέγχου και σύνδεσής τους με το εσωτερικό σύστημα αποστράγγισης προβλέπονται ανά 48m περίπου στις θέσεις εσοχών προσωπικού.

Επίσης στις περιοχές της σήραγγας με κλειστό πυθμένα προβλέπεται η τοποθέτηση αποστραγγιστικού αγωγού από διάτρητο πλαστικό σωλήνα PVC διαμέτρου Φ200mm, εγκιβωτισμένου σε πορώδες σκυρόδεμα για την αποστράγγιση της υποδομής και της επιδομής της σιδηροδρομικής γραμμής. Για τον καθαρισμό και τον έλεγχο του στραγγιστηρίου προβλέπεται η κατασκευή των φρεατίων επίσκεψης ανά 100m. Στη περιοχή της σήραγγας με ανοιχτό πυθμένα τοποθετείται πλαστικός σωλήνας από PVC διαμέτρου Φ200mm, που εγκιβωτίζεται σε άοπλο σκυρόδεμα κατηγορίας C12/15.

7.4.7 Εκσκαφή και προσωρινή υποστήριξη σιδηροδρομικής σήραγγας

Η διάνοιξη της σιδηροδρομικής σήραγγας Πλατάνου θα πραγματοποιηθεί σε δύο κύριους σχηματισμούς:

- σε νεογενείς σχηματισμούς (στις ευρύτερες περιοχές των στομιών εισόδου και εξόδου της σήραγγας) και
- σε λεπτοστρωματώδεις ασβεστολιθικούς σχηματισμούς

Οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί συναντώνται από τη Χ.Θ. 68+200 έως τη Χ.Θ. 69+630 της κύριας σήραγγας, δηλαδή σε μήκος 1430m περίπου. Τα υπερκείμενα της κύριας σήραγγας και των σηράγγων διαφυγής δεν θα ξεπερνούν τα 140m και τα 100m περίπου αντίστοιχα. Η μέθοδος διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης της σήραγγας διαφοροποιείται κατά τη διάτρηση νεογενών και ασβεστολιθικών σχηματισμών.

Στην κατασκευή της σήραγγας Πλατάνου θα εφαρμοστούν:

- Τρεις τύποι διατομών για την διάνοιξη σε νεογενείς σχηματισμούς
- Τέσσερις τύποι διατομών για την διάνοιξη σε ασβεστόλιθο βάση της κατηγοριοποίησης της ασβεστολιθικής βραχώμαζας (βλ. παράρτημα σχέδια 1,2,3,4)

Τα ποσοστά εφαρμογής της κάθε διατομής σε κάθε ένα από τα δύο τμήματα φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα 1.

Πίνακας 1:ΠΟΣΟΣΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ

ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ (%) ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΕ ΝΕΟΓΕΝΗ (ΕΠΙ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟΥ ΜΗΚΟΥΣ 830m)	ΠΟΣΟΣΤΟ (%) ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΕ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΩΝ (ΕΠΙ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟΥ ΜΗΚΟΥΣ 1430m)
I	-	41
II	-	53
III ή IV	-	6
V		
VI	Εκτιμάται	
VII		
VIII		

7.4.8 Εκσκαφή και προσωρινή υποστήριξη σιδηροδρομικής σήραγγας σε περιοχή νεογενών

Για την διάνοιξη της σήραγγας του Πλατάνου, στην περιοχή των νεογενών σχηματισμών εφαρμόζονται τρεις τυπικές διατομές αντιστήριξης. Πρόκειται για τις τυπικές διατομές ΤΔ VI, ΤΔ VII και ΤΔ VIII, με μέσο όγκο εκσκαφής ανά μέτρο μήκους 165m³ περίπου.

Και οι τρεις τυπικές διατομές προβλέπουν το κλείσιμο του πυθμένα κατά τη φάση διάνοιξης. Σε περιπτώσεις φαινομένων αστάθειας του μετώπου, ή της στέψης, ή και των δύο συγχρόνως, προβλέπεται η ενίσχυση των ανωτέρων τυπικών διατομών με την εφαρμογή δοκών προπορείας και με την διαβάθμιση ή όχι του μετώπου. Για την προσωρινή αντιστήριξη της σήραγγας προβλέπεται η κατασκευή ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος κατηγορίας C25/30, η τοποθέτηση χαλύβδινων ή δικτυωτών πλαισίων, η τοποθέτηση πλέγματος καθώς και χαλύβδινων αγκυριών διατομής. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατασκευάζεται σε στρώσεις και θα είναι ινοπλισμένο, με αναλογία μεταλλικών ινών 40kg/m³, εκτός από την τελευταία στρώση “ εξομάλυνσης ”, που θα κατασκευαστεί άοπλη, προκειμένου να τοποθετηθεί στεγανωτική μεμβράνη.

Στον πίνακα 2.1 δίνονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά κάθε τύπου τυπικής διατομής.

Τα αγκύρια διατομής (βλέπε πίνακα 2.2) δεν αποτελούν στοιχείο των τυπικών διατομών, αλλά εφαρμόζονται μόνο σε περιπτώσεις που καθορίζει η μελέτη. Δηλαδή εφαρμόζονται συστηματικά στις παρειές του κελύφους μόνο στις περιπτώσεις διάνοιξης με δοκούς προπορείας, ενώ στη στέψη της σήραγγας προτείνεται η εφαρμογή τους σε ειδικές περιπτώσεις που καθορίζονται στο σχέδιο μέτρων άμεσης υποστήριξης.

Τα τμήματα της σήραγγας στα οποία εφαρμόζεται ο συγκεκριμένος τύπος των τυπικών διατομών καθορίζονται από τα υπερκείμενα και τις συνθήκες διάνοιξης και συγκεκριμένα:

- Η ΤΔ VI εφαρμόζεται στην περιοχή των στομιών της σήραγγας Πλατάνου και για υπερκείμενα μικρότερα από 25m
- Η ΤΔ VII εφαρμόζεται σε περιοχές με υπερκείμενα από 25-40m
- Η ΤΔ VIII σε περιοχές με υπερκείμενο άνω των 40m από τον άξονα της σήραγγας

Τα ύψη των υπερκειμένων μετρούνται από τον άξονα της σήραγγας.

7.4.9 Εκσκαφή και προσωρινή υποστήριξη σιδηροδρομικής σήραγγας σε περιοχή ασβεστολιθικών σχηματισμών

Για την διάνοιξη της σήραγγας στην περιοχή εμφάνισης των ασβεστολιθικών σχηματισμών θα εφαρμοστούν στην κατασκευή τέσσερις τύποι τυπικών διατομών εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης, όπως ΤΔ I, ΤΔ II, ΤΔ III, ΤΔ IV (βλ. παράρτημα σχέδια 1,2,3,4) ανάλογα με τις συνθήκες της βραχώμαζας που συναντώνται. Στις τυπικές διατομές ΤΔ I και ΤΔ II, η διάνοιξη της σήραγγας θα γίνει με χρήση εκρηκτικών, σε δύο φάσεις εκσκαφής Α' (άνω) Φάση και Β' (κάτω) Φάση.

Τα βασικά μέτρα υποστήριξης, θα χρησιμοποιηθούν είναι το ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας C 25/30, τα αγκύρια τοίχου Super Swellex και πλήρους πάκτωσης στην στέψη και τα τοιχώματα αντίστοιχα, ενώ στην διατομή ΤΔ ΙΙ, προβλέπεται επιπλέον, η τοποθέτηση των δικτυωτών πλαισίων ελαφρού τύπου (Lattice Girder).

Στις τυπικές διατομές ΤΔ ΙΙΙ και ΤΔ ΙV η διάνοιξη της σήραγγας θα γίνει κυρίως με μηχανικά μέσα, και συγκεκριμένα στην ΤΔ ΙΙΙ η διάνοιξη θα γίνει σε δύο φάσεις, ενώ στην διατομή ΤΔ ΙV-με διαβάθμιση του μετώπου Α' φάσης, σε φάσεις στέψης και βαθμίδας, και την εκσκαφή της Β' φάσης σε μεγάλη απόσταση από το μέτωπο. Τα μέτρα υποστήριξης που προβλέπονται και στις δύο διατομές, είναι το ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας C 25/30, ενισχυμένο με τα μεταλλικά πλαίσια τύπου ΗΕΒ, τα αγκύρια Super Swellex και πλήρους πάκτωσης στην στέψη και τα τοιχώματα της σήραγγας, καθώς και τους ράβδους προαγκύρωσης, στην περιοχή της στέψης όταν αυτό απαιτείται. Στην περίπτωση αστάθειας της οπής σε χαλαρούς σχηματισμούς, προτείνεται εναλλακτικά η εφαρμογή αυτοδιατριυόμενων αγκυρίων. Στην περίπτωση καταγραφής συγκλίσεων και εμφάνισης ιδιαίτερα χαλαρού υλικού πλήρωσης στον πυθμένα, προβλέπεται το κλείσιμο της διατομής με ανάστροφο τόξο μικρής καμπυλότητας.

7.4.10 Εκσκαφή και προσωρινή υποστήριξη σηράγγων διαφυγής

Η διάνοιξη των σηράγγων διαφυγής της σήραγγας Πλατάνου θα γίνει αποκλειστικά σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς.

Ανάλογα με τις συνθήκες της βραχώμαζας που συναντώνται στις περιοχές σηράγγων διαφυγής, θα κατασκευάζονται οι εξής τρεις τύποι τυπικών διατομών εκσκαφής και υποστήριξης : ΤΔ ΣΔΙ , ΤΔ ΣΔΙΙ, ΤΔ ΣΔΙΙΙ.

Στις τυπικές διατομές ΣΔ I και ΣΔ II, η διάνοιξη της σήραγγας γίνεται με ολομέτωπη διάνοιξη με χρήση εκρηκτικών, και υποστήριξη με ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και αγκύρια τύπου Super Swellex. Στην τυπική διατομή ΣΔ III, η διάνοιξη θα γίνει με μηχανικά μέσα και διαβάθμιση του μετώπου σε δύο φάσεις, στέψης και βαθμίδας (όπου αυτό απαιτείται).

Τα μέτρα υποστήριξης σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνουν το ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, ενισχυμένο με δικτυωτά πλαίσια ελαφρού τύπου (Lattice Girder), τα αγκύρια αυτοδιατριούμενα ή πλήρους πάκτωσης, ή και τους ράβδους προαγκύρωσης στην στέψη, όπου αυτό απαιτείται.

Στους πίνακες 2.1 και 2.2 δίνονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά κάθε τυπικής διατομής, στην περιοχή των νεογενών και ασβεστολιθικών σχηματισμών αντίστοιχα, ενώ στον πίνακα 2.3 τα χαρακτηριστικά των τυπικών διατομών εφαρμογής στις σήραγγες διαφυγής.

Πίνακας 2. 1: ΤΥΠΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΚΑΙ ΜΟΝΙΜΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΠΛΑΤΑΝΟΥ ΣΤΑ ΝΕΟΓΕΝΗ

ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ	ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΣ ΠΥΘΜΕΝΑ	ΠΑΧΟΣ ΑΝΩ ΚΕΛΥΦΟΥΣ	ΠΑΧΟΣ INVERT	ΠΛΑΙΣΙΑ ΑΝΩ ΚΕΛΥΦΟΥΣ	ΠΛΑΙΣΙΑ ΣΤΟ INVERT	ΟΠΛΙΣΜΟΙ ΑΝΩ ΚΕΛΥΦΟΥΣ	ΟΠΛΙΣΜΟΙ ΣΤΟ INVERT	ΠΑΧΟΣ ΜΟΝΙΜΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ
V (Μεταβατική Περιοχή)	-	30 cm	-	1LG(140-30)/1.5m	-	Πλέγμα 2T188	-	40 cm
VI	ΜΙΚΡΗ	30 cm	40 cm	1LG(140-30)/1.25m	1LG(140-30)/1.25m	Πλέγμα 2T188	Πλέγμα 2T188+ 4Φ20(μέσα ίνα)	40 cm
VII	ΜΕΓΑΛΗ	30 cm	35 cm	1LG(140-30)/1.5m	1LG(140-30)/1.5m	Πλέγμα 2T188	Πλέγμα 2T188	40 cm
VIII	ΜΕΓΑΛΗ	40 cm	40 cm	1HEA240/1.0m	1HEA240/1.0m	Πλέγμα 2T188	Πλέγμα 2T188	50 cm

Πίνακας 2.2: ΑΓΚΥΡΙΑ ΣΤΙΣ ΤΥΠΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΝΕΟΓΕΝΩΝ

ΚΕΛΥΦΟΣ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	ΠΑΡΕΙΕΣ			ΣΤΕΨΗ		
	ΜΗΚΟΣ ΑΓΚΥΡΙΟΥ [m]	ΠΟΣΟΤΗΣ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΜΗΚΟΤΟΜΙΚΑ [m]	ΜΗΚΟΣ ΑΓΚΥΡΙΟΥ [m]	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΓΚΥΡΙΩΝ [m]	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΜΗΚΟΤΟΜΙΚΑ [m]
VI	6	3/ΠΑΡΕΙΑ	1,5	6,0	2,0	1,5
VII	6,0	3/ΠΑΡΕΙΑ	1,5	6,0	2,0	1,5
VIII	9	4/ΠΑΡΕΙΑ	1,0	9,0	1,5	1,0

Πίνακας 2.3: ΤΥΠΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΚΑΙ ΜΟΝΙΜΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΠΛΑΤΑΝΟΥ ΣΕ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟΥΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ	ΒΗΜΑ Α' ΦΑΣΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	ΒΗΜΑ Β' ΦΑΣΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	ΠΑΧΟΣ ΚΕΛΥΦΟΥΣ	ΠΑΧΟΣ ΜΟΝΙΜΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	ΠΑΧΟΣ INVERT	ΠΛΑΙΣΙΑ ΑΝΩ ΚΕΛΥΦΟΥΣ	ΑΓΚΥΡΙΑ	ΡΑΒΔΟΙ ΠΡΟΑΓΚΥΡΩΣΗΣ
I	3,00m	4,00 – 6,00m	15cm	30cm	-	-	Μήκους 4m, σε κάρναβο 1,50m (εγκάρσια) x 2,00m (κατά μήκος)	-
II	1,50 – 1,70m	4,00m	20cm	30cm	-	1LG(95/20/D20) /1,5m	Μήκους 4m, σε κάρναβο 1,50m (εγκάρσια) x 1,50m (κατά μήκος)	-
III	1,30m	2,60m	20cm	30cm	-	1HEB140/1,30m	Μήκους 4m, σε κάρναβο 1,50m (εγκάρσια) x 1,30m (κατά μήκος)	Φ25, μήκους 4m, σε διάταξη 75° στη στέψη ανά 35cm
IV	1,30m	2,60m	25cm	35cm	20cm	1HEB140/1,30m	Μήκους 4m, σε κάρναβο 1,50m (εγκάρσια) x 1,30m (κατά μήκος)	Φ25, μήκους 4m, σε διάταξη 90° στη στέψη ανά 30cm

Πίνακας 2.4: ΤΥΠΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΚΑΙ ΜΟΝΙΜΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΔΙΑΦΥΓΗΣ ΠΛΑΤΑΝΟΥ

ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ	ΒΗΜΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	ΠΑΧΟΣ ΚΕΛΥΦΟΥΣ	ΠΑΧΟΣ ΜΟΝΙΜΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	ΠΛΑΙΣΙΑ	ΑΓΚΥΡΙΑ	ΡΑΒΔΟΙ ΠΡΟΑΓΚΥΡΩΣΗΣ
ΣΔ Ι	4,00m	10cm	25cm	-	Μήκους 3m, σε κάρναβο 1,50m (εγκάρσια) x 2,00m (κατά μήκος)	-
ΣΔ ΙΙ	3,00m	15cm	25cm	-	Μήκους 3m, σε κάρναβο 1,50m (εγκάρσια) x 1,50m (κατά μήκος)	-
ΣΔ ΙΙΙ	1,50m – 1,70m	20cm	25cm	1LG(95/20/D20)/ 1,5m	Μήκους 4m, σε κάρναβο 1,50m (εγκάρσια) x 1,50m (κατά μήκος)	Φ25, μήκους 4m, σε διάταξη 90° στη στέψη ανά 35cm

7.4.11 Μόνιμη επένδυση σιδηροδρομικής σήραγγας(υπόγεια διάνοιξη)

Η μόνιμη επένδυση της σήραγγας, τόσο στο τμήμα που θα κατασκευαστεί με υπόγεια διάνοιξη, όσο και στο τμήμα που θα κατασκευαστεί με υπαίθρια εκσκαφή και επανεπίχωση (Cut and Cover στις περιοχές των στομιών), θα γίνει με έγχυτο οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37 και χάλυβα οπλισμού StIV – S500s.

Η μόνιμη επένδυση της σήραγγας στην περιοχή των νεογενών σχηματισμών, περιλαμβάνει ανάστροφο τόξο στο πυθμένα. Το πάχος της μόνιμης επένδυσης δίνεται στη τελευταία στήλη του πίνακα 2.1.

Για την περιοχή των ασβεστολιθικών σχηματισμών τα πάχη της μόνιμης επένδυσης δίνονται στο πίνακα 2.3.

Η μόνιμη επένδυση θα έχει πεταλοειδή μορφή και θα εδράζεται σε θεμέλιο. Η σκυροδέτηση της τελικής επένδυσης θα γίνεται σε στάδια. Αρχικά σκυροδετείτε ο πυθμένας (ανάστροφο τόξο ή θεμέλια). Στη συνέχεια ακολουθεί η σκυροδέτηση του θόλου με μεταλλότυπο με διαμορφωμένες σκοτίες που εδράζεται σε ειδικά διαμορφωμένο αναβαθμό στο πυθμένα.

Στο μεταλλότυπο θα υπάρχουν εσοχές για την εφαρμογή τσιμεντενέσεων επαφής οι οποίες θα εκτελούνται 28 ημέρες μετά την σκυροδέτηση.

7.4.12 Μόνιμη επένδυση τμημάτων Cut and Cover της σήραγγας

Ο φορέας των Cut and Cover εισόδου και εξόδου της σιδηροδρομικής σήραγγας θα κατασκευαστεί από έγχυτο σκυρόδεμα, με γεωμετρία εσωραχίου όμοια με αυτή της σιδηροδρομικής σήραγγας και έχει πάχος 50cm. Η έδραση του φορέα Cut and Cover θα αποτελείται από πλάκα πάχους $d = 1,00m$ Η τυπική διατομή των Cut and Cover θα είναι μόνιμης επένδυσης με διπλή εσχάρα, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα της μελέτης. Σε όλο το μήκος των φορέων των Cut and Cover τοποθετείται στεγανωτική μεμβράνη.

7.4.13 Μόνιμη επένδυση σηράγγων διαφυγής

Η μόνιμη επένδυση των τμημάτων των σηράγγων διαφυγής, που θα κατασκευαστούν με υπόγεια διάνοιξη, θα έχει πάχος $d = 35\text{cm}$ για την περιοχή της διευρυμένης διατομής και $d = 25\text{ cm}$ στο υπόλοιπο τμήμα.

7.4.14 Μόνιμη επένδυση τμημάτων Cut and Cover (σηράγγων διαφυγής)

Ο φορέας των Cut and Cover εξόδου σηράγγων διαφυγής θα κατασκευαστεί από έγχυτο σκυρόδεμα, με γεωμετρία εσωραχίου όμοια με αυτή της σήραγγας διαφυγής και έχει πάχος $d = 35\text{cm}$.

Η έδραση του φορέα του Cut and Cover αποτελείται από πλάκα πάχους $d = 0,50\text{m}$. Η τυπική διατομή των Cut and Cover θα είναι μόνιμης επένδυσης με διπλή εσχάρα, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στη μελέτη. Σε όλο το μήκος των φορέων των Cut and Cover τοποθετείται στεγανωτική μεμβράνη.

7.4.15 Είσοδος σιδηροδρομικής σήραγγας

Στην περιοχή που θα κατασκευαστεί το στόμιο εισόδου της σήραγγας Πλατάνου, τα κάθετα και τα παράλληλα, προς τον άξονα της σήραγγας πρανή έχουν έντονες κλίσεις. Για τον λόγο αυτό κατασκευάζεται προσωρινό έργο υποστήριξης των πρανών το οποίο σύμφωνα με τη μελέτη θα αποτελείται από σειρά πασσάλων διαμέτρου $D = 1,00\text{ m}$, σε αξονικές αποστάσεις $1,50\text{m}$, το ύψος μέχρι $8,00\text{m}$ ή $5,00\text{ m}$, από την τελική στάθμη των εκσκαφών. Επίσης θα τοποθετούνται προεντεταμένα αγκύρια. Στη συνέχεια θα γίνει η διαμόρφωση των προσωρινών πρανών με κλίση 2:1.

Το προσωρινό πλευρικό πρανές, παράλληλα προς τον άξονα στη δεξιά παρειά της σήραγγας, θα διαμορφωθεί κατακόρυφο με σειρά πασσάλων, διαμέτρου $D = 1,00\text{m}$, σε αξονικές αποστάσεις $1,50\text{m}$ και ύψους $8,00\text{m}$ από τη τελική στάθμη εκσκαφών. Επίσης προβλέπεται η τοποθέτηση των προεντεταμένων αγκυρίων. Στη συνέχεια θα γίνει η διαμόρφωση των προσωρινών πρανών με κλίση 2:1.

Το προσωρινό κεκλιμένο πρανές στο μέτωπο προσβολής της σήραγγας θα διαμορφωθεί με κλίση 3:1, ήλους και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με ενδιάμεση τοποθέτηση δομικού πλέγματος, εκτός περιτυπώματος σήραγγας, και με αγκύρια fiberglass και ινοπλισμένο σκυρόδεμα, εντός περιτυπώματος της σήραγγας. Άνω του πρανού του στομίου εισόδου της σήραγγας θα διαμορφωθεί τραπεζοειδής τάφος.

Προβλέπεται επίσης η κατασκευή προπλαισίου προστασίας μήκους $5,14\text{m}$. Τα μόνιμα πρανή που διαμορφώνονται ανάντη και πλευρικά του κτιρίου των Η/Μ εγκαταστάσεων, θα διαμορφωθούν κατακόρυφα με σειρά πασσάλων, διαμέτρου $D = 1,00\text{m}$, σε αξονικές αποστάσεις $1,50\text{m}$, ύψους μέχρι $8,00\text{m}$ και τοπικά μέχρι $5,00\text{m}$ από την τελική στάθμη των εκσκαφών. Στη συνέχεια θα διαμορφώνονται τα μόνιμα πρανή με κλίση 2:1. Τα μόνιμα πρανή Βόρεια του κτιρίου Η/Μ καθώς και της οδού πρόσβασης στη περιοχή εισόδου της σήραγγας Πλατάνου θα διαμορφωθούν κεκλιμένα με κλίση 5:4.

Η εργοταξιακή πρόσβαση στο στόμιο εισόδου δύναται να γίνει από το υπάρχον οδικό δίκτυο αγροτικών οδών (ανατολικά – νοτιοανατολικά του στομίου) σε συνδυασμό με το μόνιμο οδικό έργο.

7.4.16 Έξοδος σιδηροδρομικής σήραγγας

Το προσωρινό πλευρικό πρανές που είναι παράλληλο προς τον άξονα της σήραγγας στην αριστερή παρειά της θα διαμορφωθεί με κλίση 2:1. Θα τοποθετηθούν ήλοι και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με ενδιάμεση τοποθέτηση του δομικού πλέγματος. Το προσωρινό πλευρικό πρανές, το οποίο είναι παράλληλο προς τον άξονα της σήραγγας στη δεξιά παρειά της, θα διαμορφωθεί κατακόρυφο με σειρά πασσάλων, διαμέτρου $D = 1,00 \text{ m}$, που θα κατασκευαστούν σε αξονικές αποστάσεις 1,50m και ύψους 8,00m από τη τελική στάθμη των εκσκαφών. Επίσης στο πρανές θα τοποθετηθούν και προεντεταμένα αγκύρια. Στη συνέχεια διαμορφώνεται προσωρινό πρανές με κλίση 2:1, και θα τοποθετηθούν ήλοι και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με ενδιάμεση τοποθέτηση του δομικού πλέγματος.

Το προσωρινό κεκλιμένο πρανές, στο μέτωπο προσβολής της σήραγγας, θα διαμορφωθεί με κλίση 3:1. Στο πρανές αυτό θα τοποθετηθούν προεντεταμένα αγκύρια επί μεταλλικών δοκών, ήλοι και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με ενδιάμεση τοποθέτηση του δομικού πλέγματος – εκτός του περιτυπώματος της σήραγγας – και αγκύρια fiberglass και ινοπλισμένο σκυρόδεμα – εντός του περιτυπώματος της σήραγγας.

Άνω του πρανούς στομίου εξόδου θα διαμορφωθεί τραπεζοειδής τάφρος. Προβλέπεται επίσης η κατασκευή προπλαισίου προστασίας μήκους 5,14m. Τα μόνιμα πρανή, που διαμορφώνονται ανάντη και πλευρικά του μελλοντικού κτιρίου των Η/Μ εγκαταστάσεων, θα διαμορφωθούν κατακόρυφα με σειρά πασσάλων, διαμέτρου $D = 1,00\text{m}$, σε αξονικές αποστάσεις 1,50m, ύψους μέχρι 8,00m και τοπικά μέχρι 5,00m, από τη τελική στάθμη των εκσκαφών. Στη συνέχεια θα διαμορφώνονται τα μόνιμα πρανή με κλίση 2:1.

Τα μόνιμα πρανή μέχρι την υπάρχουσα οδό προσπέλασης στη περιοχή στομίου εξόδου της σήραγγας Πλατάνου θα διαμορφωθούν κεκλιμένα με τοίχο αντιστήριξης στον πόδα ($h = 3,00\text{m}$) και πρανές με κλίση 1:1, στη συνέχεια διαμορφώνεται αναβαθμός πλάτους 4,00m και ανάντη πρανές με κλίση 1:1,25. Έμπροσθεν σημείου όπου θα κατασκευαστεί μελλοντικά το κτίριο Η/Μ εγκαταστάσεων και νοτιοδυτικά του στομίου εξόδου θα διαμορφωθεί ο χώρος συγκέντρωσης καθώς και η οδός πρόσβασης.

7.4.17 Είσοδος σήραγγας διαφυγής ΟΧ-1

Στην περιοχή στομίου εισόδου της σήραγγας διαφυγής ΟΧ-1 θα διαμορφωθούν προσωρινά και μόνιμα πρανή έτσι, ώστε να κατασκευαστεί το Cut and Cover της σήραγγας, καθώς και επίχωμα για τη διαμόρφωση του χώρου συγκέντρωσης. Τα πλευρικά πρανή του στομίου εισόδου της σήραγγας διαφυγής ΟΧ-1 διαμορφώνονται σε σχηματισμούς κορημάτων και ασβεστολιθικούς, ενώ το πρανές του μετώπου προσβολής σε ασβεστόλιθο.

Το προσωρινό πλευρικό πρανές, στην αριστερή παρειά της σήραγγας, παράλληλο προς τον άξονά της, θα διαμορφωθεί αρχικά με κλίση 3:1, θα τοποθετηθούν ήλοι και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με ενδιάμεση τοποθέτηση του δομικού πλέγματος στο τμήμα, που θα διαμορφωθεί στους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, και, στη συνέχεια, με κλίση 1:1 στο τμήμα, που θα διαμορφωθεί στα κορήματα. Το προσωρινό πλευρικό πρανές, στην δεξιά παρειά της σήραγγας, παράλληλο προς τον άξονα, θα διαμορφωθεί αρχικά με κλίση 3:1, και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με ενδιάμεση τοποθέτηση του δομικού πλέγματος στο τμήμα, που θα διαμορφωθεί στους ασβεστολιθικούς και, στη συνέχεια, με κλίση 1:1 στο τμήμα, που θα διαμορφωθεί στα κορήματα.

Το προσωρινό κεκλιμένο πρανές στο μέτωπο προσβολής της σήραγγας θα διαμορφωθεί σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, με κλίση 3:1 και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με ενδιάμεση τοποθέτηση δομικού πλέγματος – εκτός περιτυπώματος σήραγγας – και κλίση 3:1 και ινοπλισμένο σκυρόδεμα – εντός περιτυπώματος σήραγγας. Άνω του πρανούς στομίου θα διαμορφωθεί τραπεζοειδής τάφος. Προβλέπεται επίσης η κατασκευή προπλαισίου προστασίας μήκους 3,10m. Η εφαρμογή των μέτρων αντιστήριξης και αποστράγγισης στην περιοχή εισόδου της σήραγγας OX-1 γίνεται σύμφωνα με τα σχέδια της οριστικής μελέτης.

7.4.18 Είσοδος σήραγγας διαφυγής OX2 – Διασταύρωση με Παλαιά Ε.Ο.

Στην περιοχή στομίου εισόδου της σήραγγας διαφυγής OX-2 θα διαμορφωθούν προσωρινά και μόνιμα πρανή έτσι, ώστε να κατασκευαστεί το τμήμα του Cut and Cover της σήραγγας διαφυγής. Ειδική διαμόρφωση πραγματοποιείται στην ισόπεδη διαμόρφωση της περιοχής όπου σε συνδυασμό με τη Παλαιά Εθνική Οδό χρησιμοποιείται ως χώρος συγκέντρωσης. Τα πρανή του στομίου εισόδου της σήραγγας διαφυγής OX-2 προβλέπεται να διαμορφωθούν σε υλικά εκσκαφών, κορήματα και ασβεστόλιθο. Το προσωρινό πλευρικό πρανές, παράλληλα προς τον άξονά στην αριστερή παρειά της σήραγγας, θα διαμορφωθεί αρχικά με κλίση 3:1, και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με ενδιάμεση τοποθέτηση δομικού πλέγματος στο τμήμα, που θα διαμορφωθεί στους ασβεστολιθικούς και στη συνέχεια, με κλίση 1:1 στο τμήμα, που θα διαμορφωθεί στα κορήματα. Το προσωρινό πλευρικό πρανές, παράλληλα προς τον άξονά, στην δεξιά παρειά της σήραγγας, θα διαμορφωθεί αρχικά με κλίση 3:1, ήλους Rockbolts και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με ενδιάμεση τοποθέτηση δομικού πλέγματος στο τμήμα, που θα διαμορφωθεί στους ασβεστολιθικούς και, στη συνέχεια, με κλίση 1:1 στο τμήμα, που θα διαμορφωθεί στα κορήματα και στα υλικά εκσκαφών.

Το προσωρινό κεκλιμένο πρανές στο μέτωπο προσβολής της σήραγγας θα διαμορφωθεί αρχικά σε ασβεστολιθικούς με κλίση 3:1, ήλους Rockbolts και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με ενδιάμεση τοποθέτηση δομικού πλέγματος εκτός περιτυπώματος σήραγγας, κλίση 3:1 και ινοπλισμένο σκυρόδεμα εντός περιτυπώματος σήραγγας. Στη συνέχεια στο τμήμα που θα διαμορφωθεί σε κορήματα, διαμορφώνεται προσωρινό πρανές με κλίση 1:1. Άνω του πρανούς στομίου θα διαμορφωθεί τραπεζοειδής τάφος.

Προβλέπεται επίσης η κατασκευή προπλαισίου προστασίας μήκους 3,10m.

7.4.19 Παρακολούθηση συμπεριφοράς σήραγγας – Έκτακτα μέτρα

Προκειμένου να διασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα των μέτρων προσωρινής αντιστήριξης κατά τη κατασκευή της σήραγγας, κατά τη διάρκεια της κατασκευής εκτελούνται οι αναγκαίες μετρήσεις για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς του εδάφους και της αντιστήριξης.

7.4.20 Προσωρινή αντιστήριξη

Για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς της προσωρινής επένδυσης, κατά τη διάρκεια εργασιών διάνοιξης, θα τοποθετηθούν μάρτυρες παρακολούθησης των μετακινήσεων – συγκλίσεων. Οι αποστάσεις μεταξύ των διατομών παρακολούθησης δεν θα υπερβαίνουν τα 10m στη περιοχή διάνοιξης σε νεογενείς σχηματισμούς ενώ για τη διάνοιξη σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς η απόσταση των διατομών παρακολούθησης, θα κυμαίνεται από 15m για τις κατηγορίες III & IV, έως 30m & 40m για τις κατηγορίες II & I αντίστοιχα.

Η τοποθέτηση των ακίδων στη διατομή παρακολούθησης θα γίνεται σε απόσταση μικρότερη των 3,00m από το μέτωπο εκσκαφής, λαμβάνοντας πρόνοια για την τοποθέτηση της τελικής στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Η συχνότητα των μετρήσεων στη περιοχή των νεογενών σχηματισμών θα είναι καθημερινή για ένα διάστημα έως ότου το μέτωπο εκσκαφής απομακρυνθεί σε απόσταση 40m από την εκάστοτε διατομή παρακολούθησης. Στη συνέχεια εάν δεν παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές των μετακινήσεων (ρυθμός αύξησης της παραμόρφωσης < 1mm ανά εβδομάδα) θα πραγματοποιούνται μετρήσεις ανά 3 ημέρες.

Κατά τη διάνοιξη σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς θα διενεργούνται καθημερινά μετρήσεις παραμόρφωσης και για μία εβδομάδα, στη συνέχεια ανά χρονικά διαστήματα (3) τριών έως και επτά (7) ημερών και για διάρκεια ενός (1) μηνός, ενώ ακολούθως θα διενεργούνται μετρήσεις ανά 35 ημέρες μέχρι τη σταθεροποίηση των μετακινήσεων. Σε κάθε περίπτωση και εφόσον συντρέχουν λόγοι ασφαλείας, θα αυξάνεται η πυκνότητα λήψης των μετρήσεων κατόπιν της σύμφωνης γνώμης της επίβλεψης του έργου.

7.4.21 Περιοχή στομίων

Στην ευρύτερη περιοχή των στομίων εισόδου και εξόδου της κύριας σήραγγας και της σήραγγας διαφυγής OX-2, θα τοποθετηθούν κλισιόμετρα, για την παρακολούθηση της ευστάθειας των πρανών κατά τις εργασίες εκσκαφής και διάνοιξης. Συγκεκριμένα, θα γίνει η τοποθέτηση των τριών κλισιομέτρων στην είσοδο της σήραγγας (δύο στο ανάντη πρανές, πλησίον του οικήματος και ένα στο κατόντη πρανές του στομίου), ενός κλισιομέτρου στο ανάντη πρανές του στομίου εξόδου και ενός κλισιομέτρου στο ανάντη πρανές του στομίου της σήραγγας διαφυγής OX-2 (για τη παρακολούθηση πιθανών μετακινήσεων στο πρανές της Νέας Εθνικής Οδού).

Επιπλέον, θα γίνει και η τοποθέτηση ενός κλισιομέτρου στη περιοχή διέλευσης της σήραγγας κάτω από τη Νέα Εθνική Οδό.

Η καταγραφή θα γίνεται σε καθημερινή βάση (μία το πρωί και μία το βράδυ) όσο οι εργασίες διάνοιξης θα εκτελούνται στην περιοχή των στομίων. Στη συνέχεια θα γίνεται μία καταγραφή ανά 3 ημέρες και εφόσον δεν παρατηρούνται μετακινήσεις θα λαμβάνονται ανά εβδομάδα.

7.4.22 Ακολουθία εργασιών

Για την υπόγεια διάνοιξη της σιδηροδρομικής σήραγγας Πλατάνου θα απαιτηθεί εργασία από τέσσερα (4) μέτωπα διάνοιξης. Δηλαδή, δύο (2) μέτωπα από την είσοδο και την έξοδο της σιδηροδρομικής σήραγγας και ένα (1) μέτωπο από κάθε μία σήραγγα διαφυγής.

7.5 ΣΗΡΑΓΓΑ ΤΡΑΠΕΖΑΣ

Η σήραγγα θα κατασκευαστεί από τη Χ.Θ. 70 + 355,67 έως τη Χ.Θ. 73 + 103,79. Το τμήμα που πρόκειται να κατασκευαστεί με υπόγεια διάνοιξη οριοθετείται από τις Χ.Θ. 70 + 373,19 και 73 + 086,80 (2713,61m).

Τα τμήματα του έργου αμέσως πριν και μετά αυτές τις χιλιομετρικές θέσεις πρόκειται να κατασκευαστούν με την μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης (Cut and Cover) δηλαδή από Χ.Θ. 70 + 355,67 έως 70 + 373,19 (17,52m) και από Χ.Θ. 73 + 086,80 έως 73 + 103,79 (16,99m). Για λόγους ασφαλείας σε περίπτωση ατυχημάτων, προβλέπεται η κατασκευή δύο σηράγγων διαφυγής (ΣΔ1 και ΣΔ2), που ο άξονάς τους διασταυρώνει τον άξονα της σιδηροδρομικής σήραγγας στις Χ.Θ. 71 + 270,96 και 72 + 190,97 αντίστοιχα. Η σήραγγα διαφυγής ΣΔ1 έχει συνολικό μήκος 201,50 μέτρα. Το τμήμα από την έξοδο της σήραγγας έως τη Χ.Θ. 0 + 195,92 (5,58 μέτρα) κατασκευάζεται με εκσκαφή και κάλυψη και το υπόλοιπο με υπόγεια διάνοιξη.

Η σήραγγα διαφυγής ΣΔ2 έχει συνολικό μήκος 196,76 μέτρα. Το τμήμα από την έξοδο της σήραγγας έως τη Χ.Θ. 0 + 191,25 (5,51 μέτρα) κατασκευάζεται με εκσκαφή και κάλυψη και το υπόλοιπο με υπόγεια διάνοιξη.

Στα πρώτα μέτρα της υπόγειας εκσκαφής η σήραγγα ΣΔ2 διανοίγεται κάτω από την Παλαιά Εθνική Οδό.

Για την κατασκευή του έργου καθώς και για την εξυπηρέτηση των σηράγγων θα κατασκευαστούν οι εξής οδοί προσπέλασης :

- 1) οδός πρόσβασης στομίου εισόδου σήραγγας Τράπεζας μήκους 150 m που συνδέει το στόμιο εισόδου με την επαρχιακή οδό προς Καλάβρυτα,
- 2) οδός πρόσβασης σήραγγας διαφυγής ΣΔ2 μήκους 178,72 m που συνδέει το στόμιο της ΣΔ2 με την Παλαιά Εθνική Οδό και
- 3) οδός πρόσβασης στομίου εξόδου σήραγγας Τράπεζας μήκους 88,16 m, που συνδέει το στόμιο εξόδου με την ΠΕΟ.

7.5.1 Στοιχεία χάραξης σιδηροδρομικής σήραγγας και σηράγγων διαφυγής

Όπως προαναφέρθηκε η σιδηροδρομική σήραγγα της Τράπεζας θα κατασκευαστεί από τη Χ.Θ. 70 + 355,67 έως τη Χ.Θ. 73 + 103,79. Η χάραξη οριζοντιογραφικά ακολουθεί από την είσοδο της σήραγγας (τέλος γέφυρας Λαδοπόταμου – οικισμός Τράπεζας) προς την έξοδο της (πλευρά Διακοπτού) την αλληλουχία:

- Καμπύλη ακτίνας $R = 10.000$ m για 198,35 m περίπου,
- Ευθυγραμμία για μήκος 1603,45 m και
- Καμπύλη ακτίνας $R = 1400$ m για περίπου 946,3

Μηκοτομικά, η σήραγγα βρίσκεται σε ενιαία καθοδική χάραξη με κλίση 1% από είσοδο της προς την έξοδο, εκτός από το μικρό τμήμα, στην είσοδο της σήραγγας, όπου η χάραξη ακολουθεί ανοδική πορεία με κλίση 1%.

Η σήραγγα διαφυγής ΣΔ1 θα έχει συνολικό μήκος 201,50 μέτρα. Η χάραξη της, μηκοτομικά, ακολουθεί κατηφορική κλίση (από τη σιδηροδρομική σήραγγα προς τα έξω) με μέγιστη τιμή 8,4%. (βλ. παράρτημα σχέδιο 6)

Η σήραγγα διαφυγής ΣΔ2 έχει συνολικό μήκος 196,76 μέτρα. Η χάραξη της μηκοτομικά ακολουθεί κατηφορική κλίση (από τη σιδηροδρομική σήραγγα προς τα έξω) με μέγιστη τιμή 5,4% (βλ. παράρτημα σχέδιο 6)

7.5.2 Τυπική διατομή σιδηροδρομικής σήραγγας

Η σιδηροδρομική σήραγγα Τράπεζας είναι «διπλής τροχιάς» με αξονική απόσταση των δύο σιδηροδρομικών γραμμών 4,20m. Κατά τον σχεδιασμό της τυπικής διατομής ελήφθη υπόψη το περιτύπωμα ελεύθερης διατομής με ηλεκτροκίνηση και κατασκευαστικό ύψος αλυσοειδούς 0,90m. (βλέπε παράρτημα σχέδιο 8)

Ο ωφέλιμος χώρος οριοθετείται από ένα τόξο ακτίνας $R = 6,05\text{m}$ όπου το κέντρο του βρίσκεται σε ύψος $h = 1,80\text{m}$ από τη στάθμη της σιδηροτροχιάς και διαγράφει γωνία $224,68^\circ$. Ο χώρος αυτός περιλαμβάνει πρόσθετο χώρο 25cm για μελλοντική χρήση της Υπηρεσίας. Συνοπτικά ο ωφέλιμος χώρος καταλαμβάνει εμβαδόν $E = 95\text{m}^2$ περίπου. Η διατομή αυτή είναι επαρκής για να καλύψει τόσο τις απαιτήσεις αερισμού, όσο και την αεροδυναμική λειτουργία της σήραγγας για την ταχύτητα μελέτης $V = 160\text{ km/h}$.

Η μόνιμη επένδυση της σήραγγας Τράπεζας θα κατασκευαστεί από έγχυτο οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37 το πάχος του οποίου κυμαίνεται ανάλογα τη διατομή μόνιμης επένδυσης 40 – 50cm.

Εκατέρωθεν των σιδηροτροχιών, προβλέπονται δύο πεζοδρόμια ελάχιστου πλάτους 1,20m, εκ των οποίων τα 0,90m είναι απολύτως ελεύθερα και ασφαλή να χρησιμοποιηθούν ως οδοί διαφυγής ακόμη και κατά την κίνηση των συρμών.

Στα πεζοδρόμια προβλέπεται η κατασκευή δύο δίδυμων αγωγών καλωδίων, εξωτερικών διαστάσεων 0,90x0,50m, δηλαδή ένα δίδυμο κανάλι σε κάθε πλευρά της σήραγγας, κατασκευασμένοι από σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37.

Κατά μήκος της κύριας σήραγγας Τράπεζας και στις δύο πλευρές της, προβλέπεται η κατασκευή εσοχών – καταφυγίων ασφαλείας προσωπικού, που θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους εργαζομένους στη σήραγγα κατά την διάρκεια της λειτουργίας της.

Η απόσταση μεταξύ των καταφυγίων θα είναι 48m, σε πεσσοειδή διάταξη, στις δύο πλευρές της σήραγγας. Οι ελάχιστες διαστάσεις των εσοχών ασφαλείας της σήραγγας είναι 1,50x2,20x2,10m πληρούν τις απαιτήσεις ασφαλείας του ΟΣΕ Α.Ε. Για λόγους ευχερέστερης χρήσης των εσοχών αλλά και για την διευκόλυνση των σκυροδετήσεων η οροφή κατασκευάζεται λοξοτημένη με μέγιστο ύψος $h = 2,70 \text{ m}$.

Οι εσοχές ασφαλείας κατασκευάζονται σε κάθε πλευρά της σήραγγας, ανά 48m, (με τη θεώρηση ότι το μήκος του μεταλλότυπου είναι 12m) έτσι ώστε οι αρμοί σκυροδέτησης να βρίσκονται εκτός των εσοχών. Η τοποθέτησή τους στις δύο παρειές είναι πεσσοειδής, δηλαδή οι εσοχές της μίας παρειάς αντιστοιχούν στα μεσοδιαστήματα των εσοχών της άλλης παρειάς.

Το σύστημα σιδηροτροχιών - υποδομής είναι σχεδιασμένο για έρμα. Προβλέπεται ελάχιστο συνολικό πάχος έρματος 0,33m κάτω από τον στρωτήρα, στη θέση της κρίσιμης σιδηροτροχιάς, μέσα στο οποίο εγκιβωτίζονται οι στρωτήρες.

Κάτω από το έρμα κατασκευάζεται στρώση υποστρώματος. Η άνω επιφάνεια του υποστρώματος διαμορφώνεται με κλίση 4% προς τα εσωτερικά στραγγιστήρια για να διευκολύνει την παροχέτευση των εσωτερικών υγρών.

7.5.3 Γεωλογικές συνθήκες στην περιοχή της σιδηροδρομικής σήραγγας

Συνοπτικά, η ευρύτερη περιοχή στην οποία κατασκευάζεται η σιδηροδρομική σήραγγα Τράπεζας, σύμφωνα με τις διενεργηθείσες γεωτρήσεις δομείται από νεώτερους σχηματισμούς του Πλειοπλειστοκαιίνου και του Τεταρτογενούς οι οποίοι υπέρκεινται ασβεστόλιθων της ενότητας της Πίνδου.

Τα πλειοπλειστοκαινικά ιζημάτα αποτελούνται (από τα ανώτερα προς τα κατώτερα στρώματα) από κροκαλοπαγή με ενστρώσεις μαργών και μάργες με ενστρώσεις κροκαλοπαγών.

Η υδροφορία εντοπίζεται στον σχηματισμό των κροκαλοπαγών, αφού αυτός υπέρκειται των λεπτομερών, πρακτικά αδιαπέραστων πλειοπλειστοκαινικών ιζημάτων. Το ύψωμα της Τράπεζας δομείται από ασθενώς συγκολλημένα κροκαλοπαγή με ενστρώσεις μαργών και μάργες με ενστρώσεις κροκαλοπαγών κατά θέσεις. Τα στρώματα είναι γενικά υπό – οριζόντια. Η σύνθεση τού σχηματισμού ποικίλει σημαντικά με επικράτηση κατά περιοχές των λεπτομερών ή των αδρομερών υλικών. το σημαντικότερο στοιχείο είναι η πολύ μικρή συχνότητα αδρόκοκκων, μη συνεκτικών υλικών με ψαθυρή συμπεριφορά (π.χ. άμμο-ιλυωδών ενστρώσεων ή φακών). Σαφή όρια μεταξύ των παραπάνω εδαφικών σχηματισμών δεν είναι δυνατόν να καθορισθούν. Η μετάβαση από τον ένα στον άλλο γίνεται βαθμιαία.

Συγκεκριμένα, στην περιοχή του στομίου εισόδου (είσοδος / ρέμα Λαδοποτάμου έως Χ.Θ. 70 + 450) η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται κάτω από την κλείδα της σήραγγας, τα υπερκείμενα φτάνουν τα 40 m από την κλείδα, ενώ η σήραγγα είναι εξ' ολοκλήρου σε μάργες με ενστρώσεις κροκαλοπαγών. Στη συνέχεια (Χ.Θ. 70 + 450 έως Χ.Θ. 71 + 400) η σήραγγα διέρχεται κάτω από τον οικισμό της Τράπεζας, σε αρκετά μεγάλο βάθος, περίπου 70 m, και βρίσκεται εντός του υδροφόρου ορίζοντα (Υ.Ο.), μέγιστο ύψος Υ.Ο. από τον άξονα της σήραγγας περί τα 30 m, ενώ τα υπερκείμενα κυμαίνονται από 40 έως 80 m.

Οι απαντώμενοι σχηματισμοί στη στάθμη διέλευσης αποτελούνται, αρχικά, από μάργες με ενστρώσεις κροκαλοπαγών και, στη συνέχεια, από κροκαλοπαγή με κατά θέσεις ενστρώσεις μαργών.

Στο κεντρικό τμήμα της σήραγγας από Χ.Θ. 71 + 400 έως Χ.Θ. 72 + 050, τα υπερκείμενα μειώνονται λόγω της μισγάγγειας (υπερκείμενο 15 – 40m). Ο Υ.Ο. στη μέγιστη στάθμη του βρίσκεται περί τα 20m από τον άξονα της σήραγγας, ενώ οι απαντώμενοι σχηματισμοί στη στάθμη διέλευσης αποτελούνται από κροκαλοπαγή με ενστρώσεις μαργών.

Στη περιοχή από Χ.Θ. 72 + 050 έως τη Χ.Θ. 72 + 900 τα υπερκείμενα της σήραγγας αυξάνονται από 40 έως 100 m και ο Υ.Ο., στη μέγιστη στάθμη του, είναι 60 m από τον άξονα της σήραγγας. Στην περιοχή αυτή οι απαντώμενοι σχηματισμοί στη στάθμη της σήραγγας αποτελούνται από μάργες με ενστρώσεις κροκαλοπαγών.

Στην περιοχή από Χ.Θ. 72 + 900 έως την έξοδο Διακοφτού η στάθμη του Υ.Ο. πέφτει κάτω από την κλείδα και το υπερκείμενο είναι μικρότερο από 40 m, οι σχηματισμοί, που διέρχεται η σήραγγα δεν αλλάζουν σε σχέση με το προηγούμενο τμήμα ενώ σήραγγα περί τη Χ.Θ. 72 + 970 διέρχεται κάτω από την Νέα Εθνική Οδό (υπερκείμενο περί τα 20m). Για τις σήραγγες διαφυγής το υπερκείμενο στην περιοχή των στομιών ξεκινά από 3 m και στην περιοχή διασταύρωσης με τη σιδηροδρομική σήραγγα ξεπερνά τα 60 m. Οι απαντώμενοι σχηματισμοί στην περιοχή της ΣΔ1 αποτελούνται από κροκαλοπαγή με ενστρώσεις μαργών ενώ στην περιοχή ΣΔ2, στα πρώτα μέτρα, αποτελούνται από κροκαλοπαγή με ενστρώσεις μαργών και στη συνέχεια από μάργες ενστρώσεις κροκαλοπαγών. Η διάνοιξη της ΣΔ2 ξεκινά στην περιοχή κάτω από την Παλαιά Εθνική Οδό με υπερκείμενο μεταξύ 3,00 και 5,00 m.

7.5.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά για την αντιστήριξη / διαμόρφωση των πρανών των στομιών της σήραγγας

Στα στόμια της σιδηροδρομικής σήραγγας και των σηράγγων διαφυγής προβλέπεται η κατασκευή τοίχων αντιστήριξης και πρανών προκειμένου να διαμορφωθούν οι χώροι προσπέλασης και οι χώροι συγκέντρωσης.

Η αντιστήριξη (προσωρινή ή μόνιμη) πραγματοποιείται με πασσαλότοιχους διαμέτρου 1,00 – 1,50 m, προεντεταμένα αγκύρια, αγκύρια πλήρους πάκτωσης, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και τοίχους αντιστήριξης βαρύτητας.

7.5.5 Σύστημα αποστράγγισης της σιδηροδρομικής σήραγγας

Το αποστραγγιστικό σύστημα της σήραγγας Τράπεζας θα αποτελείται από δύο εξωτερικά στραγγιστήρια (ένα από κάθε πλευρά της σήραγγας) και δύο εσωτερικούς αποχετευτικούς αγωγούς, που θα συνδέονται με τα εξωτερικά στραγγιστήρια μέσω φρεατίου, που θα κατασκευαστεί στις θέσεις εσοχής – καταφυγίου προσωπικού υπηρεσίας.

Τα δύο εξωτερικά συστήματα αποστραγγίζουν τυχόν νερά της περιβάλλουσας βραχώμαζας, ενώ τα εσωτερικά δέχονται τα νερά των εξωτερικών και όποια υγρά μπορεί να προέρχονται από τη λειτουργία της σήραγγας.

Περιμετρικά της σήραγγας, μεταξύ της προσωρινής και της μόνιμης επένδυσης, προβλέπεται η τοποθέτηση υδρομαστευτικής στρώσης και στεγανωτικής μεμβράνης, για την καλύτερη συλλογή και απομάκρυνση των ομβρίων υδάτων. Τα διαμήκη εξωτερικά στραγγιστήρια όπου καταλήγουν τα ύδατα, είναι διάτρητοι πλαστικοί σωλήνες από PVC διαμέτρου Φ200mm εγκιβωτισμένη σε πορώδες σκυρόδεμα για την προστασία τους κατά την διάρκεια σκυροδέτησης της μόνιμης επένδυσης της σήραγγας.

Το εσωτερικό αποχετευτικό σύστημα, που θα κατασκευαστεί σε κάθε πεζοδρόμιο θα αποτελείται από ένα τσιμεντοσωλήνα διαμέτρου Φ400mm. Τα φρεάτια ελέγχου και σύνδεσης του αποχετευτικού συστήματος με το εξωτερικό σύστημα αποστράγγισης θα κατασκευαστούν ανά 48 m στις θέσεις εσοχών – καταφυγίων προσωπικού.

Επίσης στις περιοχές με κλειστό πυθμένα θα κατασκευαστεί αποστραγγιστικός αγωγός από διάτρητο πλαστικό σωλήνα PVC διαμέτρου Φ200mm, που θα εγκιβωτιστεί σε πορώδες σκυρόδεμα. Ο αγωγός αυτός κατασκευάζεται για την αποστράγγιση της επιδομής – υποδομής. Για τον έλεγχο και καθαρισμό του αγωγού, ανά 100m, θα κατασκευαστούν φρεάτια επίσκεψης.

7.5.6 Διάνοιξη και προσωρινή αντιστήριξη σιδηροδρομικής σήραγγας

Κατά τη διάνοιξη της σήραγγας της Τράπεζας, θα εφαρμοστούν τέσσερις τυπικές διατομές αντιστήριξης. Πρόκειται για τις τυπικές διατομές I, II, III και IV(βλ. παράρτημα σχέδιο 9) με μέσο όγκο εκσκαφής ανά μέτρο μήκους 165m^3 περίπου. Και οι τέσσερις τυπικές διατομές προβλέπουν το κλείσιμο του πυθμένα κατά τη φάση της διάνοιξης.

Σε περιπτώσεις φαινομένων αστάθειας του μετώπου, ή της στέψης, ή και των δύο συγχρόνως, προβλέπεται η ενίσχυση των ανωτέρω τυπικών διατομών με την εφαρμογή δοκών προπορείας (ΔΠ)(βλ. παράρτημα σχέδιο 11) και με την διαβάθμιση ή όχι του μετώπου. (ΔΜ).

Για την προσωρινή αντιστήριξη, οι τυπικές διατομές αποτελούνται από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας C25/30, χαλύβδινα ή δικτυωτά πλαίσια, πλέγμα και χαλύβδινα αγκύρια διατομής.

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα τοποθετείται σε στρώσεις και είναι ινοπλισμένο με μεταλλικές ίνες σε αναλογία $40\text{kg}/\text{m}^3$, εκτός από την τελευταία στρώση που είναι άοπλη, λόγω τοποθέτησης της μεμβράνης στεγάνωσης.

Στο πίνακα 2.5 δίνονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά κάθε τυπικής διατομής. Τα αγκύρια διατομής (βλέπε πίνακα 2.6) δεν αποτελούν στοιχείο των τυπικών διατομών.

Δηλαδή, εφαρμόζονται συστηματικά στις παρειές του κελύφους μόνο στις περιπτώσεις διάνοιξης με δοκούς προπορείας (ΔΠ), ενώ στη στέψη της σήραγγας προτείνεται η εφαρμογή τους σε ειδικές περιπτώσεις που καθορίζονται στο σχέδιο μέτρων άμεσης υποστήριξης. Τα πεδία εφαρμογής τους καθορίζονται από τα υπερκείμενα και τις συνθήκες κατά τη διάνοιξη.

Έτσι, θεωρώντας ως βασικό κριτήριο το υπερκείμενο:

- Η ΤΔ.Ι εφαρμόζεται στην περιοχή των στομίων και για υπερκείμενα μικρότερα από 25 m (από τον άξονα της σήραγγας),
- Η ΤΔ. ΙΙ εφαρμόζεται σε περιοχές με υπερκείμενα από 25 – 40 m,
- Η ΤΔ. ΙΙΙ σε περιοχές με υπερκείμενο από 40 – 70 m και
- Η ΤΔ. ΙV σε υπερκείμενα άνω των 70 m από τον άξονα της σήραγγας

7.5.7 Διάνοιξη και προσωρινή αντιστήριξη σηράγγων διαφυγής

Κατά τη διάνοιξη των σηράγγων διαφυγής της σήραγγας Τράπεζας, θα εφαρμοστούν οι τυπικές διατομές F, G και H. Οι διαστάσεις των δομικών στοιχείων και οι διατομές θα είναι σύμφωνες ως προς τα προβλεπόμενα στην εγκεκριμένη μελέτη.

Για άμεση υποστήριξη της σήραγγας θα χρησιμοποιούνται, κατά κύριο λόγο, το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, τα χαλύβδινα πλαίσια και το δομικό πλέγμα. Η εκσκαφή των σηράγγων διαφυγής θα γίνει με ολομέτωπη διάνοιξη.

Οι τυπικές διατομές των σηράγγων διαφυγής θα εφαρμόζονται:

- Η ΤΔ F – στη περιοχή των στομιών
- Η ΤΔ G (βλ. παράρτημα σχέδιο 12) – σε περιοχές με σχετικά μικρά υπερκείμενα ($\leq 40\text{m}$) και
- Η ΤΔ H (βλ. παράρτημα σχέδιο 12) – σε περιοχές με σχετικά μεγαλύτερα υπερκείμενα ($> 40\text{m}$).

Για την ΤΔ F δίνονται δύο εναλλακτικές λύσεις:

α) η ΤΔ F1 (βλ. παράρτημα σχέδιο 13), η οποία αφορά στην περιοχή του στομιού της ΣΔ1 και περιλαμβάνει δοκούς προπορείας (ΔΠ) διαμέτρου $\Phi 114\text{mm}$ και

β) η ΤΔ F2 (βλ. παράρτημα σχέδιο 13), η οποία αφορά στην περιοχή του στομιού της ΣΔ2 κάτω από την Παλαιά Εθνική Οδό και περιλαμβάνει διπλή σειρά δοκών προπορείας διαμέτρου $\Phi 168\text{mm}$.

Η γεωμετρία των δομικών στοιχείων, το βήμα εκσκαφής και τα μέτρα αντιστήριξης των ΤΔ F1 και ΤΔ F2 είναι όμοια. Για την κατασκευή της προσωρινής επένδυσης θα εφαρμοστεί η τυπική διατομή αντιστήριξης, που αφορά το τμήμα μήκους 12 m, περίπου, στην περιοχή διεύρυνσης διατομής για την δημιουργία πλατύσματος αναστροφής των οχημάτων.

Στον πίνακα 2.7 δίνονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά κάθε διατομής, ενώ στον πίνακα 2.8 το συνολικό μήκος εφαρμογής κάθε τυπικής διατομής και για τις δύο σήραγγες διαφυγής.

Πίνακας 2. 5: ΤΥΠΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΚΑΙ ΜΟΝΙΜΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ

ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ	ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΣ ΠΥΘΜΕΝΑ	ΠΑΧΟΣ ΑΝΩ ΚΕΛΥΦΟΥΣ	ΠΑΧΟΣ INVERT	ΠΛΑΙΣΙΑ ΑΝΩ ΚΕΛΥΦΟΥΣ	ΠΛΑΙΣΙΑ ΣΤΟ INVERT	ΟΠΛΙΣΜΟΙ ΑΝΩ ΚΕΛΥΦΟΥΣ	ΟΠΛΙΣΜΟΙ ΣΤΟ INVERT	ΠΑΧΟΣ ΜΟΝΙΜΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ
I	ΜΙΚΡΗ	30 cm	40 cm	1LG(130-34/26)/1.5m	-	Πλέγμα 2T188	Πλέγμα 4T188	40 cm
II	ΜΕΓΑΛΗ	30 cm	35 cm	1LG(140-30)/1.5m	-	Πλέγμα 2T188	Πλέγμα 2T188	40 cm
III	ΜΕΓΑΛΗ	40 cm	40 cm	1HEA240/1.25m	1HEA240/1.25m	Πλέγμα 2T188	Πλέγμα 2T188	50 cm
IV	ΜΕΓΑΛΗ	40 cm	40 cm	1HEA240/1.0m	1HEA240/1.0m	Πλέγμα 2T188	Πλέγμα 2T188	50 cm

Πίνακας 2.6: ΑΓΚΥΡΙΑ

ΚΕΛΥΦΟΣ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	ΠΑΡΕΙΕΣ			ΣΤΕΨΗ		
	ΜΗΚΟΣ ΑΓΚΥΡΙΟΥ [m]	ΠΟΣΟΤΗΣ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΜΗΚΟΤΟΜΙΚΑ [m]	ΜΗΚΟΣ ΑΓΚΥΡΙΟΥ [m]	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΓΚΥΡΙΩΝ [m]	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΜΗΚΟΤΟΜΙΚΑ [m]
I	6	3/ΠΑΡΕΙΑ	1,5	6,0	2,0	1,5
II	6	3/ΠΑΡΕΙΑ	1,5	6,0	2,0	1,5
III	9	4/ΠΑΡΕΙΑ	1,5	9,0	2,0	1,5
VI	9	4/ΠΑΡΕΙΑ	1,0	9,0	1,5	1,0

Πίνακας 2. 7: ΤΥΠΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΚΑΙ ΜΟΝΙΜΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ	ΠΑΧΟΣ ΑΝΩ ΚΕΛΥΦΟΥΣ	ΠΑΧΟΣ INVERT	ΠΑΛΙΣΙΑ ΑΝΩ ΚΕΛΥΦΟΥΣ	ΠΑΛΙΣΙΑ ΣΤΟ INVERT	ΟΠΛΙΣΜΟΙ ΑΝΩ ΚΕΛΥΦΟΥΣ	ΟΠΛΙΣΜΟΙ ΣΤΟ INVERT	ΠΑΧΟΣ ΜΟΝΙΜΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	ΔΟΚΟΙ ΠΡΟΠΟΡΕΙΑΣ
F1	20 cm	20 cm	1HEA120/1.0m	-	2T131	2T188	35 cm	17Φ114(t=6.33mm)/0.40 L=9.0m ανά 6.0m
F2	20 cm	20 cm	1HEA120/1.0m	-	2T131	2T188	35 cm	1 ^η Σειρά Δ.Π. 17Φ168(t=6.3mm)/0.40 L=9.0m ανά 6.0m 2 ^η Σειρά Δ.Π. 16Φ168(t=6.3mm)/0.40 L=9.0m ανά 6.0m
G	20 cm	25 cm	1HEA120/1.5m	-	Πλέγμα 2T131	Πλέγμα 4T188	35 cm	-
H	20 cm	25 cm	1HEB140/1.25m	1HEB140/1.25m	Πλέγμα 2T131	Πλέγμα 2T188	35 cm	-

7.5.8 Μόνιμη επένδυση σιδηροδρομικής σήραγγας (υπόγεια διάνοιξη)

Η μόνιμη επένδυση της σήραγγας, τόσο στο τμήμα που θα κατασκευαστεί με υπόγεια διάνοιξη, όσο και στο τμήμα που θα κατασκευαστεί με εκσκαφή και επανεπίκρωση (Cut and Cover στις περιοχές των στομιών), θα γίνει με έγχυτο οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37 και χάλυβα οπλισμού StIV – S500s. Η μόνιμη επένδυση της σήραγγας περιλαμβάνει ανάστροφο τόξο στον πυθμένα. Το πάχος της μόνιμης επένδυσης είναι 40cm για τις ΤΔ I και II και 50cm για τις ΤΔ III και IV (βλ. πίνακα 2.5).

Η σκυροδέτηση της τελικής επένδυσης θα γίνεται σε στάδια. Αρχικά σκυροδετείτε ο πυθμένας (ανάστροφο τόξο), στη συνέχεια, ακολουθεί η σκυροδέτηση του θόλου με μεταλλότυπο, που εδράζεται σε ειδικά διαμορφωμένο πεζοδρόμιο στο πυθμένα. Οι τσιμεντενέσεις επαφής θα εκτελούνται 28 ημέρες μετά την σκυροδέτηση.

7.5.9 Μόνιμη επένδυση σηράγγων διαφυγής

Η μόνιμη επένδυση των τμημάτων των σηράγγων διαφυγής (βλέπε σχέδιο 14), που θα κατασκευασθεί με υπόγεια διάνοιξη, θα έχει πάχος τελικής επένδυσης $d = 40\text{cm}$ για την περιοχή της διευρυμένης διατομής και $d = 35\text{ cm}$ στο υπόλοιπο τμήμα. Ο σιδηρούς οπλισμός της μόνιμης επένδυσης τοποθετείται σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στην εγκεκριμένη οριστική μελέτη και βάσει του ύψους των υπερκειμένων δηλαδή, άνω ή κάτω των 40m.

7.5.10 Είσοδος σήραγγας διαφυγής ΣΔ1

Το στόμιο της σήραγγας διαφυγής ΣΔ1 βρίσκεται εξολοκλήρου σε κροκαλοπαγείς σχηματισμούς. Τα προσωρινά πρανή στην είσοδο της σήραγγας θα διαμορφωθούν με κλίση 3:1. Επίσης θα τοποθετηθούν και ράβδοι αγκύρωσης πλήρους πάκτωσης σε συνδυασμό με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και πλέγμα. Ο χώρος συγκέντρωσης διαμορφώνεται σε υφιστάμενο δρόμο, με την διαπλάτυνσή του προς την μεριά του βουνού. Λόγω της διαπλάτυνσης κατασκευάζεται μόνιμο πρανές με κλίση 2:1.

7.5.11 Είσοδος σήραγγας διαφυγής ΣΔ2 – Διασταύρωση με Παλαιά Ε.Ο.

Η σήραγγα διαφυγής ΣΔ2 διασταυρώνει την έξοδο της με την Παλαιά Εθνική Οδό. Το προσωρινό κεκλιμένο πρανές στο μέτωπο προσβολής θα διαμορφωθεί με κλίση 3:1 και ράβδους αγκύρωσης πλήρους πάκτωσης.

Κατά τη διάνοιξη του τμήματος της σήραγγας διαφυγής που θα γίνεται κάτω από την Π.Ε.Ο., εκτός από τη διπλή σειρά δοκών προπορείας, προβλέπεται και η τοποθέτηση μιας σειράς από δέκα (10) αγκύρια μετώπου (fiberglass), μήκους 12m, για την εξασφάλιση της ευστάθειας στην περιοχή του μετώπου διάνοιξης.

Στο τμήμα του Cut and Cover τα πλευρικά πρανή διαμορφώνονται κατακόρυφα με σειρά προσωρινών πασσάλων και προεντεταμένα αγκύρια. Για την διαμόρφωση του χώρου συγκέντρωσης και της οδού προσπέλασης απαιτούνται αντιστηρίξεις με πασσάλους στην ανάντη μεριά του χώρου διαμόρφωσης λόγω της Π.Ε.Ο., ενώ στην κατάντη μεριά για την αντιστήριξη του επιχώματος θα κατασκευαστεί τοίχος με πέγμα, μέγιστου ύψους περί τα 2,00m.

7.5.12 Προσωρινή Αντιστήριξη

Για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς της προσωρινής επένδυσης, κατά τη διάρκεια εργασιών διάνοιξης, θα τοποθετηθούν μάρτυρες παρακολούθησης των μετακινήσεων – συγκλίσεων. Οι αποστάσεις μεταξύ των διατομών παρακολούθησης δεν θα υπερβαίνουν τα 10m.

Η τοποθέτηση των ακίδων στη διατομή παρακολούθησης θα γίνεται σε απόσταση μικρότερη των 3,00m από το μέτωπο εκσκαφής, λαμβάνοντας πρόνοια για την τοποθέτηση της τελικής στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Η συχνότητα των μετρήσεων θα είναι καθημερινή για ένα διάστημα έως ότου το μέτωπο εκσκαφής απομακρυνθεί σε απόσταση 40m από την εκάστοτε διατομή παρακολούθησης. Στη συνέχεια εάν δεν παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές των μετακινήσεων (ρυθμός αύξησης της παραμόρφωσης < 1mm ανά εβδομάδα) θα πραγματοποιούνται μετρήσεις ανά 3 ημέρες.

7.5.13 Περιοχή Στομίων

Στην περιοχή των στομίων εισόδου – εξόδου της σήραγγας θα τοποθετηθούν κλισιόμετρα για την παρακολούθηση της ευστάθειας των πρανών κατά την εκτέλεση των εργασιών εκσκαφής και διάνοιξης. Τοποθετούνται τρία κλισιόμετρα ανά στόμιο κυρίως σήραγγας και ένα κλισιόμετρο ανά στόμιο σήραγγας διαφυγής. Η καταγραφή θα γίνεται σε καθημερινή βάση (μία το πρωί και μία το βράδυ) όσο οι εργασίες διάνοιξης θα εκτελούνται στην περιοχή των στομίων. Στη συνέχεια θα γίνεται μία καταγραφή ανά 3 ημέρες και εφόσον δεν παρατηρούνται μετακινήσεις οι μετρήσεις θα λαμβάνονται ανά εβδομάδα.

7.5.14 Ακολουθία εργασιών

Για την υπόγεια διάνοιξη της σιδηροδρομικής σήραγγας Τράπεζας θα απαιτηθεί εργασία από τέσσερα (4) μέτωπα διάνοιξης. Δηλαδή, δύο (2) μέτωπα από την είσοδο και την έξοδο της σιδηροδρομικής σήραγγας και ένα (1) μέτωπο από κάθε μία σήραγγα διαφυγής.

7.6 ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗ ΓΕΦΥΡΑ ΛΑΔΟΠΟΤΑΜΟΥ

Στα πλαίσια της παρούσας εργολαβίας θα κατασκευαστεί και η σιδηροδρομική γέφυρα Λαδοποτάμου, η οποία θα αποτελείται από δύο ανεξάρτητους φορείς, έναν για κάθε κατεύθυνση. Ο κάθε επιμέρους φορέας της γέφυρας θα έχει τέσσερα ανοίγματα. Το συνολικό μήκος του τεχνικού είναι 109,50m.

Η διατομή της Νέας Σ.Γ.Υ.Τ. στην θέση της γέφυρας θα έχει συνολικό πλάτος 12,30m. Ο φορέας κάθε κλάδου θα διαθέτει πλάτος 6,35m. Και οι δύο φορείς θα φέρουν πεζοδρόμια πλάτους 2,00m όπου μελλοντικά, από άλλη εργολαβία, μπορούν να τοποθετηθούν στύλοι ηλεκτροκίνησης. Ο φορέας κάθε κλάδου θα αποτελείται από προκατασκευασμένες προεντεταμένες δοκούς επί των οποίων θα σκυροδετηθεί η πλάκα καταστρώματος.

Η έδραση του φορέα της ανωδομής γίνεται επί των ακροβάθρων και των μεσοβάθρων μέσω εφεδράνων Free sliding για την μεταφορά των κατακόρυφων φορτίων και εφεδράνων τύπου MSK (Movable Shear Key) και (Fixed Shear Key) για την παραλαβή των οριζόντιων φορτίων. Από τους κορμούς των ακροβάθρων προεκτείνονται οι πτερυγότοιχοι οι οποίοι θα κατασκευαστούν μονολιθικά συνδεδεμένοι με τα ακρόβαθρα. Επίσης θα κατασκευαστούν τοίχοι αντιστήριξης για την συγκράτηση των επιχωμάτων πρόσβασης.

7.6.1 Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά της γέφυρας

7.6.1.1 Φορέας

Ο κάθε φορέας του καταστρώματος θα αποτελείται από 4 προεντεταμένες – προκατασκευασμένες δοκούς διατομής «ταυ», ύψους 2,30m, επί των οποίων σκυροδετείτε η πλάκα καταστρώματος πάχους $d = 0,30$ m. Το μήκος των δοκών θα είναι 29,70m και 19,20m και η απόσταση στηρίξεων 28,50m και 18,00m αντίστοιχα.

Από την εγκεκριμένη οριστική μελέτη προτείνεται το σύστημα προέντασης Precoc. Οι δοκοί μήκους 28,50m θα έχουν τρεις (3) τένοντες τύπου 19 T15, ενώ οι δοκοί μήκους 18,00m – δύο (2) τένοντες τύπου 12 T15. Η προένταση των τενόντων θα γίνεται μονόπλευρα. Τα χαρακτηριστικά του συστήματος Precoc είναι τα εξής:

$E = 195$ GPa (μέτρο ελαστικότητας)

$\mu = 0,20$ /rad (συντελεστής τριβής)

$k = 0.01$ rad/m (αθέλητη γωνία εκτροπής)

$d = 5$ mm (ολίσθηση σφήνας)

Ο συντελεστής ερπυσμού των δοκών έχει ληφθεί ίσος με 2,3

7.6.1.2 Βάθρα

Τα ακρόβαθρα A1 και A2 είναι ολόσωμα τοιχοειδή βάθρα. Το ακρόβαθρο A1 έχει πάχος 2,50m, ενώ το A2 3,40m. Το A2 τοποθετείται πίσω από το πρηνές της οδού προς Καλάβρυτα, έτσι ώστε να είναι εφικτή μελλοντική διαπλάτυνση της οδού. Τα μεσόβαθρα μορφώνονται με κοίλη διατομή εξωτερικών διαστάσεων 2,40 x 5,00 m, με πάχος τοιχωμάτων $t = 0,50$ m σε όλο το ύψος της διατομής.

Για την κατασκευή του μεσόβαθρου M3 απαιτείται τοπική τροποποίηση της χάραξης της οδού Καλαβρύτων, ώστε να μπορεί να γίνει τόσο η εκσκαφή, όσο και η κατασκευή του βάθρου με ασφάλεια. Για την προστασία των μεσοβάθρων από διαβρώσεις θα κατασκευασθεί η επένδυση της κοίτης του ποταμού, με φάτνες, σε πλάτος 40,00 m και μήκος 90,00 m περίπου. Η συνολική επενδεδυμένη επιφάνεια ανέρχεται σε 3.500,00m² περίπου.

7.6.1.3 Θεμελίωση

Η θεμελίωση των ακροβάθρων θα γίνει με πασσάλους και συγκεκριμένα:

- Το ακρόβαθρο A1 και των δύο κλάδων θα εδράζεται σε κοινό κεφαλόδεσμο διαστάσεων 6,60 x 16,60 m με δώδεκα (12) πασσάλους διαμέτρου $D = \Phi 120$ και μήκους $L = 23,00$ m.

- Το ακρόβαθρο A2 και των δύο κλάδων θα εδράζεται σε κοινό κεφαλόδεσμο διαστάσεων 5,20 x 16,60 m με δώδεκα (12) πασσάλους διαμέτρου $D = \Phi 120$ και μήκους $L = 22,00$ m.

- Το μεσόβαθρο M1 θα εδράζεται σε κεφαλόδεσμο 7,80 x 12,23 m με δώδεκα (12) πασσάλους μήκους $L = 25,00$ m.

- Το μεσόβαθρο M2 σε κεφαλόδεσμο 7,80 x 12,23 m με δώδεκα (12) πασσάλους μήκους $L = 23,00$ m

- Το μεσόβαθρο M3 σε κεφαλόδεσμο 4,80 x 11,63 m με οκτώ (8) πασσάλους μήκους $L = 25,50$ m

Οι κεφαλόδεσμοι ακροβάθρων και μεσοβάθρων έχουν ύψος 2,50 m.

Οι τοίχοι αντιστήριξης θεμελιώνονται με επιφανειακό τύπο (πέδιλα), τα οποία εδράζονται σε εξυγιαντική στρώση από χονδρόκοκκο υλικό πάχους 1,00 m.

7.6.1.4 Υλικά

Η σιδηροδρομική γέφυρα Λαδοποτάμου θα κατασκευαστεί από οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα. Οι κύριες δοκοί του καταστρώματος θα είναι προκατασκευασμένες, από προεντεταμένο σκυρόδεμα κατηγορίας B35. Οι πλάκες και οι διαδοκίδες καταστρώματος θα κατασκευαστούν από οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας B35 έγχυτο επί τόπου.

Τα υπόλοιπα τμήματα της γέφυρας (θεμελίωση, πάσσαλοι, ακρόβαθρα, πτερυγότοιχοι, τοίχοι αντιστήριξης, πεζοδρόμια και πλάκες πρόσβασης) κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας B25 έγχυτο επί τόπου. Επίσης, προβλέπεται η κατασκευή στρώσης εξομάλυνσης από άοπλο σκυρόδεμα κατηγορίας B10 για την έδραση των θεμελίων και άοπλο σκυρόδεμα διαμόρφωσης κλίσεων καταστρώματος κατηγορίας B25. Ο χαλαρός οπλισμός είναι ποιότητας S500s, ενώ ο χάλυβας προέντασης είναι ποιότητας 1670/1860.

7.6.1.5 Εδαφοτεχνικές συνθήκες

Στην περιοχή, όπου θα κατασκευαστεί η σιδηροδρομική γέφυρα, έχουν εκτελεστεί τέσσερις γεωτρήσεις ΛN1, 2, 3, 4 βάθους από 26,00 έως 32,00m. Σύμφωνα με τα ευρήματα των ανωτέρω γεωτρήσεων οι σχηματισμοί που απαντήθηκαν είναι:

- Αμμώδης Αργίλο – ιλύς,
- Αμμώδης Αργίλος και
- Αμμοχάλικα προερχόμενα από ασύνδετα κροκαλοπαγή ή ιλυώδη Αμμοχάλικα

7.6.1.6 Αποχέτευση – Αποστράγγιση

Προβλέπονται σημεία αποχέτευσης και στα δύο άκρα του καταστρώματος και σε αποστάσεις περίπου 15,00m. Από τα σημεία αυτά θα γίνεται η ροή προς κατάλληλους αγωγούς οι οποίοι θα μεταφέρουν τα όμβρια του καταστρώματος σε προκαθορισμένα σημεία συλλογής και διαθέσεως.

Πίσω από τα ακρόβαθρα και τους τοίχους αντιστήριξης τοποθετούνται διάτρητοι πλαστικοί σωλήνες αποστράγγισης Φ110 κατάλληλα διαμορφωμένοι για την απομάκρυνση των υδάτων που εισρέουν από την επιφάνεια του έρματος.

7.6.1.7 Μεθοδολογία κατασκευής – Σειρά εργασιών

Ο προτεινόμενος τρόπος κατασκευής της Σιδηροδρομικής Γέφυρας είναι ο εξής:

- Διάνοιξη οδών προσπελάσεως και δημιουργία προσβάσεων προς τις θέσεις κατασκευής των βάθρων
- Εκσκαφή για τη δημιουργία δαπέδων εργασίας κατασκευής πασσάλων και κεφαλόδεσμων
- Η κατασκευή των βάθρων.
- Ο κορμός των μεσόβαθρων έχει κοίλη ορθογωνική διατομή και το συνολικό ύψος των βάθρων δεν ξεπερνάει τα 16,00 m. Τα ακρόβαθρα είναι ολόσωμα, μορφής τοιχώματος.
 - Η κατασκευή των δοκών εδράσεως.
 - Η δοκός έδρασης στην κεφαλή των μεσόβαθρων θα κατασκευαστεί με ειδικό μεταλλότυπο που θα τοποθετηθεί στο ακριβές υψόμετρο με τη βοήθεια γερανού. Επί των δοκών εδράσεως των βάθρων και σε θέσεις εντός των κατασκευαστικών ανοχών τοποθετούνται οι κάτω πλάκες των εφεδράνων στις ακριβείς καθ' ύψος στάθμες με χρήση εξομαλυντικών στρώσεων από μη συρρικνούμενο εποξειδικό ένεμα. Η κατασκευή των κυρίων δοκών του καταστρώματος θα γίνεται σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους προκατασκευής.

Σημειώνεται ότι, ο πυθμένας του καλουπιού των δοκών θα πρέπει να είναι κατάλληλα διαμορφωμένος στις θέσεις των εφεδράνων, ώστε η τελική επιφάνεια εδράσεως να είναι οριζόντια. Κατά την κατασκευή της δοκού θα γίνεται και η εγκατάσταση του απαραίτητου τμήματος εφεδράνων, σύμφωνα πάντοτε με τις οδηγίες του ειδικού κατασκευαστή και της επίβλεψης του έργου. Στους χώρους της προκατασκευής οι δοκοί θα σκυροδετούνται, θα προεντείνονται, θα συντηρούνται και θα αποθηκεύονται μέχρι τη μεταφορά τους προς τοποθέτηση. Η επιβολή της προεντάσεως στο χώρο της προκατασκευής θα γίνει με τη μέθοδο της «μετεντάσεως» με χρήση κατάλληλων σωμάτων αγκυρώσεως των τενόντων.

- Η τοποθέτηση των προκατασκευασμένων δοκών Η τοποθέτηση των προκατασκευασμένων δοκών, θα γίνει με τη βοήθεια κατάλληλων μηχανικών μέσων. Η ευστάθεια των δοκών μέχρι τη σκυροδέτηση της πλάκας του καταστρώματος θα εξασφαλίζεται με προσωρινούς μεταλλικούς δικτυωτούς συνδέσμους εφόσον είναι απαραίτητο

- Σκυροδέτηση πλάκας καταστρώματος. Μετά την τοποθέτηση των δοκών, ακολουθεί η σκυροδέτηση της πλάκας του καταστρώματος και των διαδοκίδων. Για την σκυροδέτηση της πλάκας καταστρώματος δεν θα απαιτηθεί χρήση ξυλοτύπων ή προπλακών αφού τα άνω πέλματα των διαδοχικών δοκών ευρίσκονται πρακτικώς σε επαφή.

- Εργασίες στεγάνωσης του καταστρώματος. Η στεγάνωση του καταστρώματος γίνεται με ειδικές μεμβράνες οι οποίες προστατεύονται με το άοπλο σκυρόδεμα B25 για την διαμόρφωση των ρύσεων.

- Κατασκευή των πεζοδρομίων. Για τη κατασκευή του φορέα του πεζοδρομίου και της αντιστοίχου δοκού μετώπου θα απαιτηθεί κατάλληλο καλούπι ώστε οι οριογραμμές των στοιχείων αυτών να ακολουθούν την καμπύλη της χαράξεως.

- Μόνωση επιφανειών. Πριν την κατασκευή των επιχώσεων θα γίνει διπλή ασφαλτική επάλειψη όλων των κατασκευών από σκυρόδεμα, που θα επιχωθούν.

- Κατασκευή επιχώσεων. Η κατασκευή θα ολοκληρωθεί με την κατασκευή της στρώσης διαμόρφωσης και υποστρώματος επιδομής και την εγκατάσταση των αρμών διαστολής, στηθαίων ασφαλείας κλπ

Όλες οι εμφανείς επιφάνειες από σκυρόδεμα θα έχουν τελειώματα τύπου Γ.

7.7 Υδραυλικά έργα

Στην περιοχή των στομίων εισόδου εξόδου των σιδηροδρομικών σηράγγων και των σηράγγων διαφυγής, στη φάση κατασκευής, προβλέπεται η κατασκευή προσωρινής τάφρου οφρύος πάνω από την περιοχή των μετώπων προσβολής με στόχο την απομάκρυνση των ομβρίων υδάτων από την περιοχή των εργασιών.

7.8 Χωματουργικά έργα

Η Νέα Διπλή Σιδηροδρομική Γραμμή Υψηλών Ταχυτήτων έχει αξονική απόσταση μεταξύ των δύο κλάδων 4,20 m και το πλάτος της στέψης του επιχώματος εντός των Σιδηροδρομικών Σηράγγων προβλέπεται ίσο με 8,60 m. Στο ανώτερο τμήμα του επιχώματος, προβλέπεται η κατασκευή, στρώσης διαμόρφωσης υποδομής και υποστρώματος επιδομής, από επίλεκτα υλικά κατηγορίας QS3 κατά UIC/719R/94 σύμφωνα με τις αντίστοιχες προδιαγραφές, πάχους σύμφωνα με την εγκεκριμένη μελέτη.

Η κατασκευή των χωματουργικών έργων (εκσκαφές, επιχώματα, επιχώσεις αυξημένης συμπύκνωσης) θα γίνει σύμφωνα με τις εγκεκριμένες οριστικές μελέτες (χάραξης και γεωτεχνικές) της Υπηρεσίας. Θα απομακρυνθούν προσωρινά οι επιφανειακές φυτικές γαίες, όπου αυτό απαιτείται, και σε βάθος σύμφωνα με τις γεωτεχνικές μελέτες και τις οδηγίες της επίβλεψης.

Τα προϊόντα εκσκαφής στην περιοχή των στομίων εισόδου – εξόδου αλλά και τα προϊόντα διάνοιξης των σηράγγων (σιδηροδρομικών και διαφυγής) θα μεταφερθούν από τον ανάδοχο του έργου σε εγκεκριμένο αποθεσιοθάλαμο, για προσωρινή απόθεση, φύλαξη και μελλοντική χρήση, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στους περιβαλλοντικούς όρους.

Μέρος των κατάλληλων υλικών, που θα προέλθουν από τις εκσκαφές των ορυγμάτων και των σηράγγων θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή της επίχωσης των τμημάτων, που θα κατασκευαστούν με τη μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης (Cut and Cover), για τη διαμόρφωση της περιοχής των στομίων των σηράγγων καθώς και για την κατασκευή σιδηροδρομικών και οδικών επιχωμάτων του έργου και των υπολοίπων τμημάτων της Σ.Γ.Υ.Τ..

7.9 Έργα Οδοποιίας

Για τις ανάγκες του έργου και κυρίως για να εξασφαλιστεί η πρόσβαση στις περιοχές των τεχνικών εισόδου – εξόδου των σηράγγων με την παρούσα εργολαβία προβλέπεται να κατασκευαστούν οι απαραίτητες οδοί πρόσβασης:

7.9.1 Έργα οδοποιίας στη Σήραγγα Πλατάνου

Στην περιοχή της σήραγγας Πλατάνου θα κατασκευαστούν συνολικά 808,38 m οδών εξυπηρέτησης των περιοχών στομίων της κύριας σήραγγας. Η 1^η οδός θα ξεκινάει από τη Παλαιά Εθνική Οδό, θα φτάνει ως τη περιοχή του στομίου εισόδου της σήραγγας Πλατάνου και θα οδηγείται στη συνέχεια, στη περιοχή του στομίου εισόδου της σήραγγας διαφυγής OX-1 στην Χ.Θ. 621,40. Η 2^η οδός θα ξεκινάει από την έξοδο της σήραγγας Πλατάνου και θα καταλήγει σε τοπική οδό. (Χ.Θ. 0 + 186,98). Οι οδοί θα έχουν μια λωρίδα ανά κατεύθυνση πλάτους 2,75m. Στη περιοχή του στομίου της σήραγγας OX-2 το οποίο βρίσκεται επί της Παλαιάς Εθνικής Οδού, γίνεται κατάλληλη διαμόρφωση.

7.9.2 Έργα οδοποιίας στη σήραγγα Τράπεζας

Στη περιοχή της σήραγγας τράπεζας θα κατασκευαστούν συνολικά 416,88 m οδών εξυπηρέτησης των περιοχών στομίων της κύριας σήραγγας.

Η οδός πρόσβασης στομίου εισόδου σήραγγας Τράπεζας μήκους 150 m, που θα συνδέει το στόμιο εισόδου με την επαρχιακή οδό προς Καλάβρυτα.

Η οδός πρόσβασης σήραγγας διαφυγής ΣΔ2 μήκους 178,72 m, που συνδέει το στόμιο της ΣΔ2 με την Παλαιά Εθνική Οδό και η οδός πρόσβασης στομίου εξόδου σήραγγας Τράπεζας μήκους 88,16 m, που συνδέει το στόμιο εξόδου με την Παλαιά Εθνική Οδό.

7.10 Οδοστρωσία και ασφαλτικά

Για όλες τις οδούς πρόσβασης προβλέπεται η κατασκευή οδοστρωσίας και ασφαλτικών αποτελουμένων από:

- Μια στρώση υπόβασης, συμπυκνωμένου πάχους 0,10m
- Δύο στρώσεις βάσης, συμπυκνωμένου πάχους 0,20m (πάχους 0,10 m η κάθε μία)
- Ασφαλτική ισοπεδωτική στρώση πάχους 0,05m
- Ασφαλτική προεπάλειψη και συγκολλητική επάλειψη
- Ασφαλτική στρώση βάσης, ασφαλτική ισοπεδωτική στρώση και ασφαλτική στρώση κυκλοφορίας, συμπυκνωμένου πάχους 0,05m η έκαστη και
- Αντιολισθηρή ασφαλτική στρώση συμπυκνωμένου πάχους 0,04m.

7.11 Ηλεκτρομηχανολογικές εργασίες

Στο αντικείμενο του έργου, συμπεριλαμβάνονται και οι εργασίες Ηλεκτρομηχανολογικών Εγκαταστάσεων και συγκεκριμένα:

- οι εργασίες κατασκευής συστημάτων γείωσης των σιδηροδρομικών σηράγγων Πλατάνου και Τράπεζας καθώς και της σιδηροδρομικής γέφυρας Λαδοποτάμου τα οποία (συστήματα) απαιτούνται λόγω της ηλεκτροκίνησης των συρμών,
- οι εργασίες κατασκευής του συστήματος πυρόσβεσης στις σιδηροδρομικές σήραγγες Πλατάνου και Τράπεζας και
- επίσης η υποδομή (σωληνώσεις κανάλια, φρεάτια κλπ) για τις μελλοντικές Η/Μ εγκαταστάσεις, που θα κατασκευασθούν από άλλη εργολαβία

7.12 Εγκατάσταση αερισμού κατά την κατασκευή των σηράγγων

Η πλήρης εγκατάσταση αερισμού κατά τη κατασκευή περιλαμβάνει, το σχεδιασμό της, την διάθεση του απαιτούμενου εξοπλισμού με τις σταλίες και εργατικού δυναμικού, την προμήθεια ανεμιστήρων, αεραγωγών φίλτρων, υλικών ανάρτησης, αυτοματισμούς, πίνακες ελέγχου και κάθε είδους απαιτούμενου υλικού, μικροϋλικού και εξαρτημάτων επιτόπου του έργου, τις εργασίες φύλαξης, ανάρτησης (σε οποιαδήποτε θέση), σύνδεσης κλπ, την σύνδεση και τροφοδοσία ρεύματος, καθώς και τις εργασίες, τον εξοπλισμό και τα υλικά για κάθε είδους ελέγχους – μετρήσεις – δοκιμές, για την τεχνικά άρτια και πλήρη εγκατάσταση, συντήρηση και λειτουργία του αερισμού κατά τη κατασκευή της σήραγγας.

7.12.1 Ενσωματωμένα Υλικά

Τα υλικά που ενσωματώνονται στο σύστημα αερισμού κατά τη διάρκεια κατασκευής της σήραγγας είναι:

- Ανεμιστήρες
- Αεραγωγοί
- Φίλτρα και κονιοσυλλέκτες
- Βοηθητικές κατασκευές αερισμού (πχ θύρες διαχωρισμού περιοχών με διαφορετικές απαιτήσεις αερισμού, διατάξεις ψύξης συγκεκριμένων περιοχών, spot coolers κλπ)
- Διατάξεις παρακολούθησης και ελέγχου
- Υλικά ανάρτησης, καλώδια, στερέωσης, συνδέσεις, μικροϋλικά, κόστος ρεύματος

Σε περίπτωση ύπαρξης μεθανίου στον αέρα σε ποσοστό από 5,3% έως 14,3% κατ' όγκον, θα χρησιμοποιηθούν αντιεκρηκτικού τύπου κινητήρες σε όλους τους ανεμιστήρες.



7.12.2 Αποδεκτά Υλικά

Οι αεραγωγοί και οι συναφείς κατασκευές, αν άλλοι λόγοι δεν το αποκλείουν, θα είναι εύκαμπτοι, από υλικό που θα διαθέτει:

- επαρκή εφελκυστική αντοχή και ελαστικότητα
- επαρκή αντοχή σε σχίσιμο
- υλικό όχι εύφλεκτο, που δεν διαδίδει τη φωτιά

- λεία εσωτερική επιφάνεια για την μείωση των απωλειών
- εύκολη και ασφαλή διαδικασία επέκτασης του δικτύου
- ανθεκτικότητα στο περιβάλλον της σήραγγας
- ελάχιστο θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας, εάν δεν προσδιορίζεται διαφορετικά, - 25°C έως + 70 °C.

7.12.3 Απαιτήσεις επιτελεστικότητας του συστήματος αερισμού

Το σύστημα αερισμού θα εξασφαλίζει τουλάχιστον τα παρακάτω:

- προμήθεια επαρκούς ποσότητας αέρα για τους εργαζόμενους
- απομάκρυνση ή και αραίωση των καπνών και των αερίων που δημιουργούνται από την λειτουργία του μηχανικού εξοπλισμού και την χρήση των εκρηκτικών
- απομάκρυνση ή και αραίωση των αερίων που είναι πιθανόν να εισέλθουν στο εσωτερικό της σήραγγας
- απομάκρυνση ή και αραίωση της σκόνης που δημιουργείται καθ' όλες τις φάσεις του κύκλου των εργασιών
- εξασφάλιση αποδεκτών συνθηκών για τη συντήρηση του έγχυτου επιτόπου σκυροδέματος της μόνιμης επένδυσης
- διατήρηση της θερμοκρασίας σε αποδεκτά επίπεδα με ψύξη του αέρα. Εστίες και πηγές θερμότητας είναι ο μηχανικός εξοπλισμός και το υψηλής θερμοκρασίας γεωϋλικό ή και υπόγειο νερό
- διατήρηση της θερμοκρασίας σε αποδεκτά επίπεδα με θέρμανση του αέρα. Απαιτείται για την πρόληψη δημιουργίας πάγου από εισροές νερού ή και κορεσμένο αέρα

7.12.4 Γενικές απαιτήσεις κατασκευής – εγκατάστασης συστήματος αερισμού

Το σύστημα αερισμού θα διατηρηθεί σε λειτουργία και μετά τη διάνοιξη της σήραγγας. Ενδιάμεσοι ανεμιστήρες προσαρμοσμένοι στον κύριο αγωγό αερισμού θα τοποθετούνται όπου απαιτείται, ώστε να επιτυγχάνεται η ικανοποιητική απομάκρυνση του μολυσμένου αέρα.

Οι αγωγοί αερισμού θα είναι στερεωμένοι στον θόλο και σε τέτοια θέση, ώστε να εξασφαλίζεται καθαρή απόσταση τουλάχιστον 20,00cm μεταξύ του αγωγού και των άκρων του εξοπλισμού που διακινείται στη σήραγγα.

Θα ελέγχονται η ποσότητα και η ποιότητα του παρεχόμενου φρέσκου αέρα στο μέτωπο της υπόγειας εκσκαφής για κάθε 100,00m προχώρησης τουλάχιστον μία φορά κάθε 15 ημέρες ή συχνότερα, ανάλογα με τις υφιστάμενες συνθήκες. Επίσης, θα εκτελείται τακτικά έλεγχος των αρμών των αεραγωγών για διαρροές και οποιαδήποτε βλάβη διαπιστώνεται θα επιδιορθώνεται αμέσως.

Αν η ποσότητα του παρεχομένου φρέσκου αέρα δεν είναι η απαιτούμενη, όλο το δίκτυο των αεραγωγών θα ελέγχεται, όσον αφορά σε πίεση και παροχή, ανά τμήματα. Τα σημεία μέτρησης δεν θα είναι τοποθετημένα σε απόσταση μικρότερη από 10 διαμέτρους του αγωγού από οποιονδήποτε ανεμιστήρα ή άλλη ανωμαλία – παρέμβαση στην ροή του αγωγού.

Το προσωπικό του έργου δεν επιτρέπεται να επιστρέψει στις θέσεις απασχόλησής του στη σήραγγα μετά από ανατίναξη προτού απομακρυνθούν τα αέρια της έκρηξης και οπωσδήποτε όχι πριν παρέλθουν τουλάχιστον 15 λεπτά.

Ο αέρας που εισάγεται θα είναι σε κάθε περίπτωση απαλλαγμένος από σκόνη, καπνούς ή άλλες επιβλαβείς ουσίες και για τον σκοπό αυτό η θέση λήψης του αέρα θα βρίσκεται μακριά από κάθε πηγή ενδεχόμενης μόλυνσης των εργαζομένων.



Θα εξασφαλισθεί ότι η μέθοδος και οι διαδικασίες εφαρμογής του αερισμού δεν θα προκαλέσουν με κανένα τρόπο οποιεσδήποτε δυσμενείς επιδράσεις στο αποκαλυπτόμενο εκσκαπτόμενο γεωϋλικό. Η αντιμετώπιση παραγόμενων καπνών ή επιβλαβών αερίων (πχ από εργασίες συγκολλήσεων) θα γίνεται στη θέση εργασίας και παραγωγής τους.

Για τον περιορισμό της σκόνης μέσα στις σήραγγες, παράλληλα με την εγκατάσταση ικανοποιητικού συστήματος αερισμού, όπου απαιτείται και επιτρέπεται, οι διατρήσεις θα εκτελούνται με νερό και οι σωροί των προϊόντων ανατίναξης θα διατηρούνται συνεχώς υγροί με διαβροχή με νερό που δεν θα έχει υψηλή πίεση. Η συγκέντρωση λεπτής σκόνης και η περιεκτικότητα αυτής σε διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) θα μετράται σε όλες τις δραστηριότητες (μέσα στις σήραγγες) που προκαλούν την δημιουργία σκόνης, με μέθοδο της έγκρισης της υπηρεσίας. Δείγματα αέρα θα λαμβάνονται 10 ημέρες μετά την έναρξη των υπογείων εκσκαφών, κατόπιν ανά διαστήματα 90 ημερών (ή 30 ημερών τουλάχιστον μετά από σημαντικές αλλαγές στην μέθοδο εκσκαφής), ή όταν απαιτηθεί από την υπηρεσία. Τα δείγματα θα λαμβάνονται από πραγματικούς χώρους εργασίας. Η δειγματοληψία και οι δοκιμές θα εκτελούνται από ειδικευμένο άτομο ή εργαστήριο.

Η χρήση μηχανών εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούν ως καύσιμο βενζίνη ή υγραέρια όπως προπάνιο ή βουτάνιο δεν θα επιτρέπεται στους υπόγειους χώρους εργασίας.

Σε κάθε μέτωπο εκσκαφής θα εγκατασταθεί και θα συντηρείται κατάλληλος εξοπλισμός για την μέτρηση της περιεκτικότητας του αέρα σε δηλητηριώδη αέρια και οξυγόνο. Δοκιμές για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα, διοξειδίου του άνθρακα, μεθανίου, άλλων εύφλεκτων αερίων και οξυγόνου θα γίνονται πριν και μετά από κάθε ανατίναξη και στην αρχή κάθε βάρδιας από πεπειραμένο προσωπικό. Θα τηρείται αρχείο των μετρήσεων, που θα είναι διαθέσιμο στην υπηρεσία ανά πάσα στιγμή.

Θα χρησιμοποιούνται τουλάχιστον δύο όργανα σε κάθε σήραγγα, που θα δείχνουν συνεχώς σε βαθμονομημένη κλίμακα, την συγκέντρωση υδρόθειου σε θέσεις κυρίως κοντά στο μέτωπο και σε απόσταση 15,00cm από το δάπεδο των σηράγγων.



Τα όργανα αυτά αυτόματα θα θέτουν σε λειτουργία σειρήνα που θα είναι δυνατόν να ακουστεί από όλο το προσωπικό στις σήραγγες, όταν η συγκέντρωση υδρόθειου υπερβαίνει τα 5,00mg/l.

Θα εγκατασταθούν όργανα για την παρακολούθηση του LEL (Lower Explosive Limit) αερίων σε απόσταση μικρότερη από 30,00cm από την κλείδα της σήραγγας. Επίσης θα εγκατασταθούν τουλάχιστον δύο όργανα που θα δείχνουν συνεχώς σε βαθμονομημένη κλίμακα, το ποσοστό του LEL που επικρατεί σε δύο τουλάχιστον θέσεις σε κάθε σήραγγα.

Θα είναι εγκατεστημένο σύστημα σειρήνας και φωτεινού συναγερμού, ώστε να προειδοποιείται το προσωπικό σε θέσεις εργασίας στις σήραγγες, όταν καταγράφεται ποσοστό 5% του LEL.

Όλα τα παραπάνω όργανα για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης αερίων θα εγκρίνονται και θα βαθμονομούνται από ειδικευμένο εργαστήριο. Όταν η συγκέντρωση δηλητηριωδών αερίων ή άλλων εύφλεκτων αερίων υπερβεί τα επιτρεπόμενα όρια όλες οι δραστηριότητες θα διακόπτονται αμέσως και το προσωπικό θα μετακινείται άμεσα σε ασφαλής περιοχές. Όλες οι πηγές σπινθήρων ή φλογών θα απομακρύνονται ή θα διακόπτονται. Η λειτουργία όλου του εξοπλισμού, με εξαίρεση των εξοπλισμό αερισμού θα διακόπτεται.

7.13 Ηλεκτροφωτισμός σήραγγας κατά την διάρκεια της κατασκευής

Ο πλήρης ηλεκτροφωτισμός σήραγγας κατά την κατασκευή της περιλαμβάνει, το σχεδιασμό, τη διάθεση του απαιτούμενου εξοπλισμού (ανιχνευτής μεθανίου, H/Z κλπ) με τις σταλίες και εργατικού και τεχνικού δυναμικού, την προμήθεια κάθε είδους ηλεκτρολογικού υλικού (και αντιεκρηκτικού όπου απαιτείται), φωτιστικά, καλώδια, σωλήνες, στηρίγματα, πίνακες, μετασχηματιστές κλπ και κάθε είδους απαιτούμενου υλικού, μικροϋλικού και εξαρτημάτων επί τόπου του έργου, τις εργασίες φύλαξης, ανάρτησης (σε οποιαδήποτε θέση), σύνδεσης κλπ, την σύνδεση και τροφοδοσία ρεύματος, καθώς και τις εργασίες, τον εξοπλισμό και τα υλικά για κάθε είδους ελέγχους – μετρήσεις – δοκιμές, για την τεχνικά άρτια και πλήρη εγκατάσταση, συντήρηση και λειτουργία του αερισμού κατά τη κατασκευή της σήραγγας, όπως προδιαγράφεται στη μελέτη.

7.13.1 Απαιτήσεις επιτελεσματικότητας του συστήματος φωτισμού

Το σύστημα φωτισμού θα καλύπτει κατ' ελάχιστον τις παρακάτω απαιτήσεις :

- θα εξασφαλίζει επαρκή φωτισμό, ώστε το προσωπικό να κινείται και να εργάζεται με ασφάλεια και να εντοπίζει έγκαιρα πιθανούς κινδύνους
- κατά τη κατασκευή θα παραμένει φωτισμένο ολόκληρο το διανοιγμένο τμήμα της σήραγγας
- τα στόμια και οι εξωτερικές προσπελάσεις θα είναι επαρκώς φωτισμένα
- θα εξασφαλίζεται επαρκής φωτισμός σε έκτακτες καταστάσεις, ώστε να διασφαλίζεται η απομάκρυνση των εργαζομένων. Για τον σκοπό αυτό, το εργοτάξιο θα διαθέτει εφεδρικό ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος για την κάλυψη ελάχιστων απαιτήσεων φωτισμού

- το σύστημα φωτισμού θα διατηρείται σε λειτουργία και μετά την διάνοιξη της σήραγγας, μέχρις ότου ολοκληρωθεί το σύνολο των εργασιών ή τεθεί σε λειτουργία ο μόνιμος φωτισμός (εάν προβλέπεται).

7.13.2 Σχεδιασμός του συστήματος φωτισμού

Ο συντελεστής συντήρησης της εγκατάστασης θα λαμβάνεται ίσος με 0,7. Στα μέτωπα εργασίας θα υπάρχει φωτισμός από τουλάχιστον δύο πηγές, επιπέδου όχι κατώτερου των 120 lux.

Ο ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός ελέγχου του συστήματος θα είναι κατάλληλος για λειτουργία κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες περιβάλλοντος που αναμένεται να αντιμετωπισθούν κατά την διάνοιξη.

Στα λοιπά τμήματα της σήραγγας, το επίπεδο φωτισμού δεν θα είναι μικρότερο από 20 lux, σε θέσεις δε απλής διέλευσης δεν είναι μικρότερο από 10 lux. Παντού θα υπάρχουν φωτιστικά εξόδου για την υπόδειξη οδών διαφυγής. Επίσης θα υπάρχουν φωτεινά σήματα προειδοποίησης για επικίνδυνες διασταυρώσεις με κινούμενα μηχανήματα ή οχήματα.

Ένας ικανός αριθμός φορητών φανών χειρός και ανταλλακτικών μπαταριών θα είναι αποθηκευμένος σε προστατευμένα ερμάρια ανά τακτές αποστάσεις.

7.13.3 Γενικές απαιτήσεις – εγκατάσταση συστήματος φωτισμού

Τα φωτιστικά σώματα θα στερεώνονται όσο το δυνατόν υψηλότερα για την επίτευξη ομοιόμορφου φωτισμού και την αποφυγή πρόκλησης ζημιών.

Για την αποφυγή θάμβωσης από φωτιστικά σώματα υψηλής έντασης θα εφαρμόζεται κατάλληλος προσανατολισμός ή θα τοποθετούνται, αν απαιτείται, καλύμματα – διαφράγματα σχεδιασμού (diffusers).

Τα φωτιστικά σώματα στις θέσεις διόδων και διαδρόμων πεζών, θα τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία σκιών.

Στο μέτωπο θα προβλέπεται κινητός φωτισμός για την δυνατότητα εστίασης της δέσμης φωτός σε θέσεις που μπορεί να σκιάζονται όταν εκτελούνται ειδικές εργασίες ή επιθεωρήσεις. Ο κινητός φωτισμός με μπαλαντέζες θα λειτουργεί υπό τάση έως 46 V μέσω μετασχηματισμών απομόνωσης. Τα ηλεκτρικά κυκλώματα του συστήματος φωτισμού θα είναι ανεξάρτητα από οποιαδήποτε άλλα υποκυκλώματα και θα εξυπηρετούν μόνον τις ανάγκες του φωτισμού. Σε διάφορες θέσεις της σήραγγας θα υπάρχουν φορητά σώματα φωτισμού και κατάλληλοι ασφαλείς ρευματοδότες, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα αύξησης της έντασης φωτισμού όταν απαιτείται.

7.14 Πιθανοί κίνδυνοι κατά την εκτέλεση των εργασιών

Οι πιθανοί κίνδυνοι που μπορεί να προκύψουν κατά την εκτέλεση κάποιων εργασιών είναι οι εξής:

- κίνδυνος από χρήση ουσιών. Τα διάφορα πρόσμικτα για την κατασκευή των πασσάλων και των αγκυρώσεων είναι συνήθως επιβλαβή. Απαιτείται η χρήση προστατευτικών γυαλιών για τα μάτια και τα λοιπά εκτεθειμένα μέρη του σώματος

- κατά περίπτωση, συνθήκες εργασίας σε περιορισμένο χώρο ή και σε ύψος από την επιφάνεια του εδάφους

- κίνδυνος ηλεκτροπληξίας

- κίνδυνος βραχυκυκλώματος και πυρκαγιάς ή επέκταση της πυρκαγιάς σε υδραυλικά λάδια

- κίνδυνος εργασίας με πεπιεσμένο αέρα

- κίνδυνος μεταφοράς βαριών αντικειμένων

- κίνδυνος τραυματισμού κατά την εκτέλεση δοκιμών εξόλκευσης των αγκυρώσεων

7.15 Μέτρα υγιεινής και ασφάλειας

Οι ελάχιστες απαιτήσεις του εξοπλισμού ατομικής προστασίας είναι οι εξής:

- προστατευτική ενδυμασία
- προστασία χεριών και βραχιόνων: γάντια προστασίας έναντι μηχανικών κινδύνων

- προστασία κεφαλιού: κράνη προστασίας

- προστασία ποδιών: υποδήματα ασφαλείας για επαγγελματική χρήση

Για την διακίνηση των πεζών θα κατασκευάζεται διάδρομος διέλευσης πεζών με αντιολισθηρή επιφάνεια στην περιοχή όπου γίνονται εργασίες διάνοιξης ή άλλες συνοδές εργασίες. Οι διάδρομοι θα πρέπει να προστατεύονται από εναπόθεση διαρροών κυρίως μπεντονίτη, που δημιουργούν ολισθηρή επιφάνεια στις εργασίες διάνοιξης.

7.16 Περιβαλλοντικά θέματα – Αρχαιολογία

Η κατασκευή μιας σιδηροδρομικής γραμμής, όπως μεγάλο και σύνθετο τεχνικό έργο, δεν μπορεί να γίνει χωρίς κάποια επίπτωση στο περιβάλλον.

Για όλα τα έργα εκπονούνται Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, όπως άλλωστε απαιτείται από την ελληνική και ευρωπαϊκή νομοθεσία. Με βάση τα συμπεράσματα των παραπάνω μελετών επιλέγονται, όπου αυτό είναι σκόπιμο και δυνατόν, λύσεις ευνοϊκές για το περιβάλλον, όπως σήραγγες με εκσκαφή και επανεπίχωση (Cut and Cover) ή με υπόγεια διάνοιξη αντί για μεγάλα ορύγματα και γέφυρες αντί για μεγάλα επιχώματα, προβλέπονται ειδικές δίοδοι για την πανίδα και γίνονται μελέτες φυτοτεχνικής αποκατάστασης του περιβάλλοντος χώρου και μελέτες αντιπλημμυρικής προστασίας του έργου και των γύρω περιοχών.

Σε συνεργασία με το Υπουργείο Πολιτισμού αναζητείται εγκαίρως η καταλληλότερη λύση σε περιοχές, όπου υπάρχουν ή αναμένεται να ανευρεθούν αρχαιότητες, ώστε όχι μόνο να μην υπάρξουν καταστροφές μνημείων και καθυστερήσεις των έργων, αλλά να προστατευθεί και να αναδειχθεί η πολιτιστική μας κληρονομία.

Κατά το στάδιο κατασκευής ενός έργου οι ανάδοχοι υποχρεώνονται να λαμβάνουν όλα τα αναγκαία μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος και την αποφυγή ρύπανσης με σειρά δεσμεύσεων που περιλαμβάνονται στα συμβατικά τεύχη κάθε έργου.

Οι απολήψεις ή απορρίψεις υλικών γίνονται μόνο σε χώρους που έχουν λάβει περιβαλλοντική αδειοδότηση. Οι χώροι αυτοί αποκαθίστανται με φυτεύσεις μετά το πέρας των έργων.

Μετά το πέρας των χωματουργικών εργασιών οι τελικές διαμορφωμένες επιφάνειες (πρανή, νησίδες κλπ) φυτεύονται κατόπιν ειδικής φυτοτεχνικής μελέτης. Ο σχεδιασμός του έργου γίνεται με σεβασμό στο ευαίσθητο φυσικό και δομημένο περιβάλλον της βόρειας ακτής της Πελοποννήσου και για το λόγο αυτό η νέα γραμμή εκμεταλλεύεται σε αρκετό μήκος τη ζώνη διέλευσης της υφιστάμενης γραμμής, αλλά όπου αυτό δεν είναι δυνατόν προβλέπονται σημαντικά τεχνικά έργα, όπως οι σήραγγες τα Πλατάνου και Τράπεζας. Για το σύνολο της γραμμής απαιτείται να εκδοθεί απόφαση Προέγκρισης Χωροθέτησης και περιβαλλοντικοί όροι. Ο θόρυβος εκτιμάται ότι θα είναι σαφώς λιγότερος από τον σημερινό, λόγω συγκολλημένων σιδηροτροχιών, ηχοπετασμάτων όπου αυτά απαιτηθούν από τη μελέτη. Σε αυτές τις περιπτώσεις ή σε ειδικά κτίρια η μέγιστη στάθμη θορύβου μπορεί να περιοριστεί με ειδικές κατασκευές, τα αντιθορυβικά πετάσματα, τα οποία σε αντίθεση με τους αυτοκινητόδρομους μπορούν να είναι πολύ αποτελεσματικά ακόμη και με μικρό ύψος. Σημειώνεται ότι η γραμμή θα διαθέτη σύγχρονη επιδομή με συνεχώς συγκολλημένες σιδηροτροχιές, ελαστικά υποθέματα και συνδέσμους που μειώνουν τη διάδοση δονήσεων, ενώ και το τροχαίο υλικό θα είναι σύγχρονο.

Όλα τα πρανή του έργου θα φυτευτούν, ώστε το έργο να ενταχθεί στο τοπίο των περιοχών διέλευσης. Σημειώνεται τέλος ότι η Νέα Σιδηροδρομική Γραμμή θα συμβάλλει στην αποσυμφόρηση του υπερτοπικού αλλά και του τοπικού οδικού δικτύου στην ευρύτερη περιοχή και επομένως σε αντίστοιχη μείωση των τροχαίων ατυχημάτων και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Για τη κατασκευή του έργου που αναλύσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο έχουν επιλεγεί δύο μέθοδοι διάνοιξης. Η μέθοδος Cut and Cover που εφαρμόζεται σε εδαφικούς σχηματισμούς όταν το έργο είναι σε μικρό βάθος και η διάνοιξη με συμβατικές μεθόδους που εφαρμόζεται σε όλους τους τύπους εδαφών όταν το βάθος είναι σχετικά μεγάλο και σχεδόν πάντοτε όταν η διάνοιξη πρέπει να γίνει σε βραχώδες υλικό.

Στο μεγαλύτερο μήκος της κατασκευής επιλέγεται η συμβατική μέθοδος διάνοιξης, δηλαδή η χρήση μηχανικού εξοπλισμού ή χρήση εκρηκτικών υλών όταν η διάνοιξη με μηχανικά μέσα δεν είναι δυνατή.

Κατά την διάρκεια της διάνοιξης γίνεται προσπάθεια η βραχώμαζα του κελύφους να παραμένει κατά το δυνατό αδιατάρακτη. Αυτό γίνεται λόγω ότι η σύσταση του εδάφους είναι βραχώδης και η σήραγγα διέρχεται σε αρκετά μεγάλο βάθος με τα υπερκείμενα εδάφη να κυμαίνονται αναλόγως.

Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται και για έναν άλλο σημαντικό λόγο, ότι οι σήραγγες σε σημαντικό μήκος τους διέρχονται κάτω από κατοικημένες περιοχές.

Η μέθοδος Cut and Cover επιλέγεται για τμήματα μικρού μήκους και για τα μέτωπα εισόδου και εξόδου όπου τα εδάφη είναι χαλαρά, υδαρή και δημιουργούν μόνιμο πρόβλημα καταπτώσεων.

Και στις δύο μεθόδους το πρόβλημα των υπογείων υδάτων αντιμετωπίζεται με την κατασκευή στραγγιστηρίων και συγκεκριμένα με την κατασκευή δύο εξωτερικών στραγγιστηρίων (ένα από κάθε πλευρά της σήραγγας) και δύο αποχετευτικούς αγωγούς που θα συνδέονται με τα εξωτερικά στραγγιστήρια διαμέσου φρεατίων.

Στην περίπτωση Cut and Cover, όπου παρατηρούνται φαινόμενα αστάθειας του μετώπου ή της στέψης προβλέπεται ενίσχυση με την εφαρμογή δοκών, πλαισίων, τοποθέτηση πλέγματος και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Η συμβατική μέθοδος, όπου εφαρμόζεται σε βραχώδη εδάφη, πλεονεκτεί στο ότι δεν είναι αναγκαία η άμεση αντιστήριξη της διατομής της σήραγγας και κατά συνέπεια το έργο προγραμματίζεται και εκτελείται με ταχύτερους ρυθμούς. Επίσης στη περίπτωση αυτή απαιτείται η εκτέλεση τιμεντενέσεων για την σταθεροποίηση του εδάφους περιμετρικά.

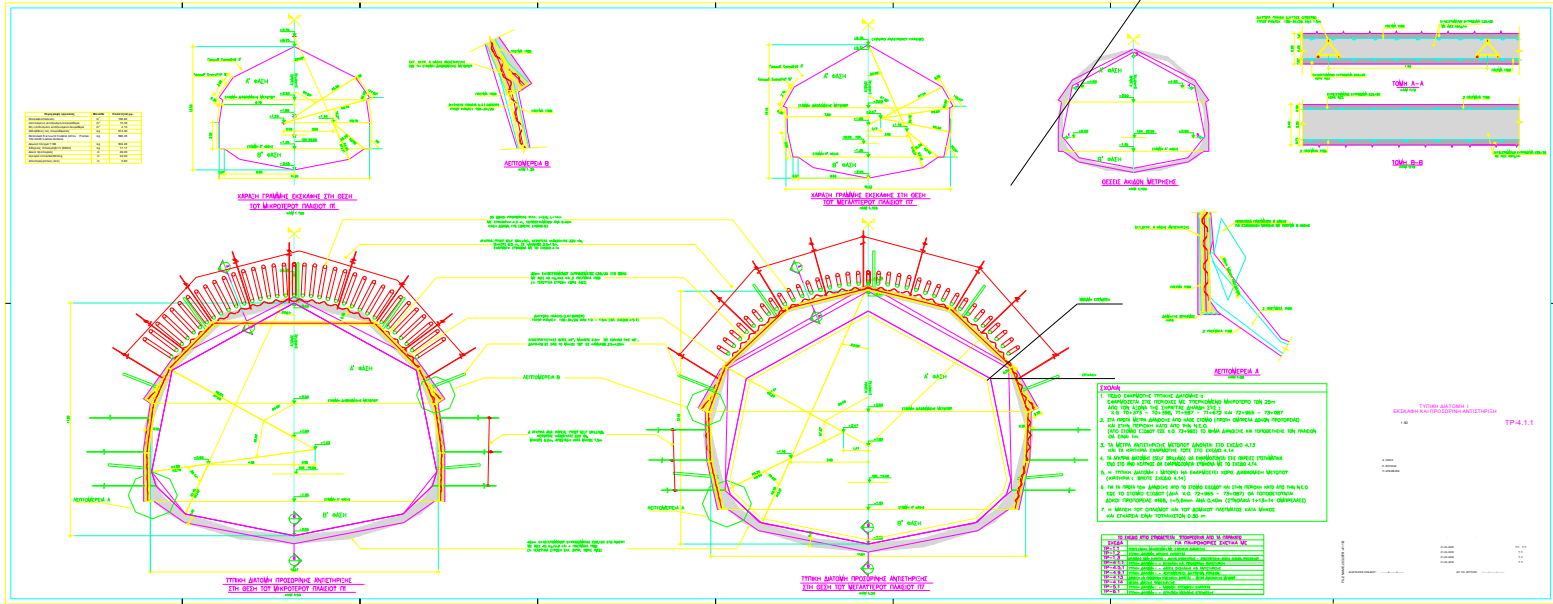
Στην περίπτωση κατασκευή σήραγγας με την συμβατική μέθοδο λαμβάνεται σοβαρά υπόψη η απορροή των υπογείων υδάτων εκτός της σήραγγας και αυτό επιτυγχάνεται με την διατήρηση της ερυθράς πάντα σε υψηλότερη στάθμη. Ακόμα πρέπει να δώσουμε προσοχή στη τοποθέτηση του εξαερισμού ώστε να μειώνεται σημαντικά ο κίνδυνος από εύφλεκτα και δηλητηριώδη αέρια.

Τέλος για το έργο που χρησιμοποιήθηκε ως μελέτη – περίπτωση (case study) η ολοκλήρωση του θα έχει τα εξής οφέλη για την Εθνική Οικονομία και το κοινωνικό σύνολο:

- ◆ Μείωση χρόνων διαδρομής
- ◆ Αύξηση της ασφάλειας μεταφοράς και βελτίωση της άνεσης
- ◆ Αύξηση αξιοπιστίας δρομολογίων
- ◆ Συνδυασμός του σιδηροδρόμου με άλλα μέσα μεταφοράς, όπως τα αεροπλάνα και τα πλοία
- ◆ Εκτροπή μεταφορικού έργου προς οικολογικότερα μέσα με αποτέλεσμα την προστασία του περιβάλλοντος και την εξοικονόμηση ενέργειας
- ◆ Νέες δυνατότητες ανάπτυξης για την περιφερειακή οικονομία και τις τοπικές κοινωνίες
- ◆ Αποσυμφόρηση του οδικού δικτύου
- ◆ Ανάπτυξη των διεθνών διασυνδέσεων της χώρας για την εξυπηρέτηση της διαρκώς αυξανόμενης μεταφορικής ζήτησης
- ◆ Ανάπτυξη εσωτερικών διασυνδέσεων της χώρας με στόχο την περιφερειακή ανάπτυξη και την οικονομική συνοχή

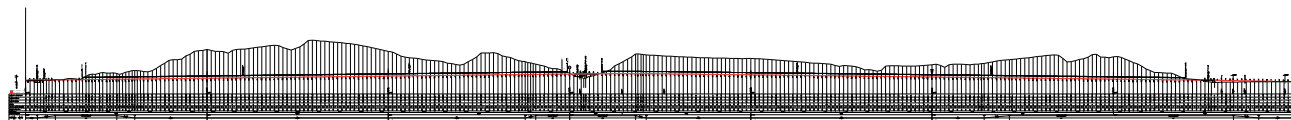
9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

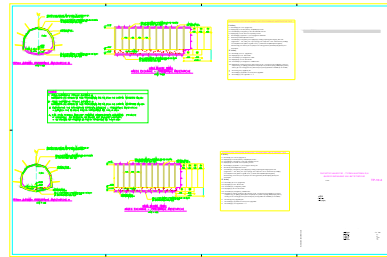
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΕΔΙΩΝ	
ΣΧΕΔΙΟ 1	Τυπική Διατομή Προσωρινής Αντιστήριξης I Πλατάνου
ΣΧΕΔΙΟ 2	Τυπική Διατομή Προσωρινής Αντιστήριξης II Πλατάνου
ΣΧΕΔΙΟ 3	Τυπική Διατομή Προσωρινής Αντιστήριξης III Πλατάνου
ΣΧΕΔΙΟ 4	Τυπική Διατομή Προσωρινής Αντιστήριξης IV Πλατάνου
ΣΧΕΔΙΟ 5	Μηκοτομή Σηράγγων Διαφυγής ΟΧ-1 και ΟΧ-2
ΣΧΕΔΙΟ 6	Μηκοτομή Σηράγγων Διαφυγής ΣΔ-1 και ΣΔ-2
ΣΧΕΔΙΟ 7	Τυπική Διατομή Χρήσης Σήραγγας Πλατάνου
ΣΧΕΔΙΟ 8	Τυπική Διατομή Χρήσης Σήραγγας Τράπεζας
ΣΧΕΔΙΟ 9	Τυπική Διατομή Προσωρινής Αντιστήριξης I Τράπεζας
ΣΧΕΔΙΟ 10	Μηκοτομή
ΣΧΕΔΙΟ 11	Τυπική Διατομή Προσωρινής Αντιστήριξης II Τράπεζας
ΣΧΕΔΙΟ 12	Τυπική Διατομή Σηράγγων Διαφυγής G και H
ΣΧΕΔΙΟ 13	Τυπική Διατομή Σηράγγων Διαφυγής F1 και F2
ΣΧΕΔΙΟ 14	Μόνιμη Επένδυση Σηράγγων Διαφυγής



ΣΧΕΔΙΟ 1 ΚΑΙ 2

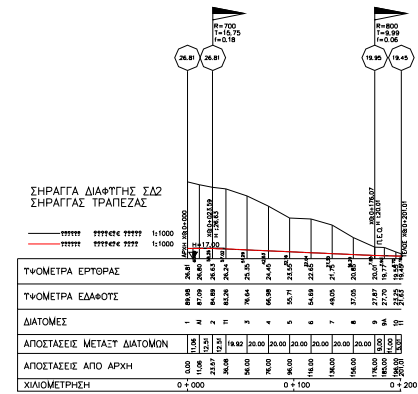
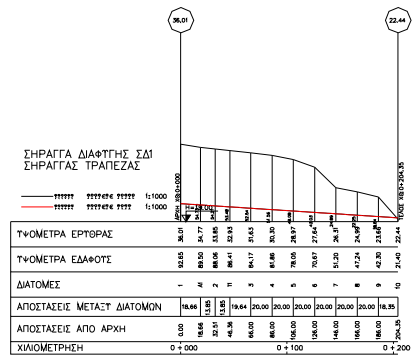
ΣΧΕΔΙΟ
3



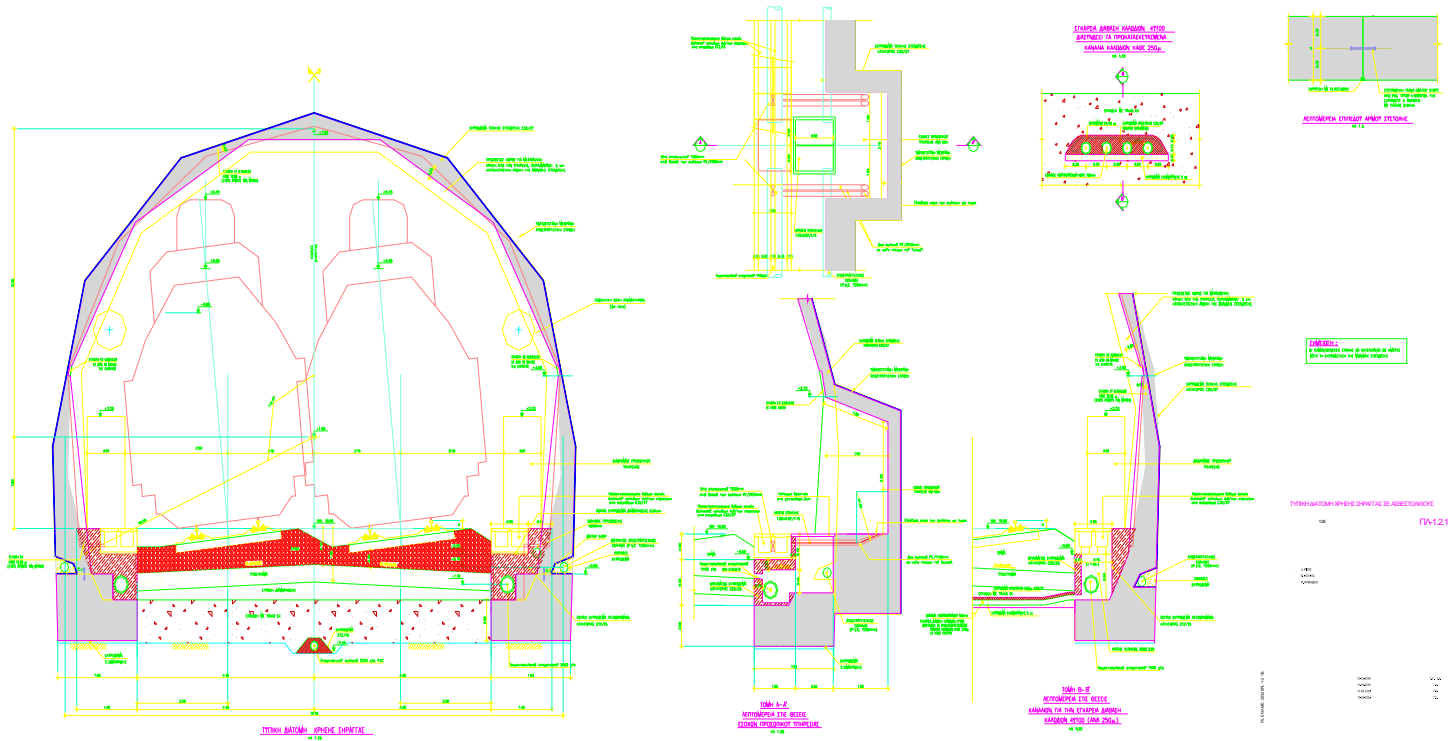


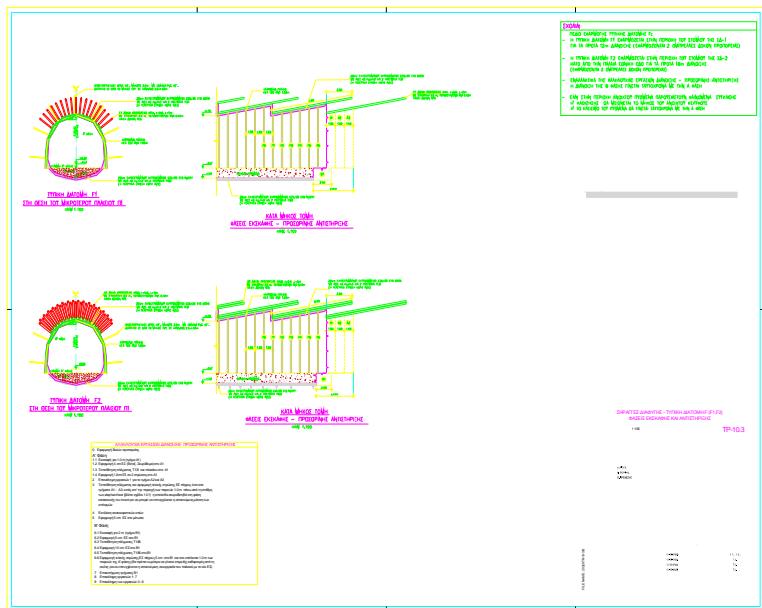
ΣΧΕΔΙΟ 4 ΚΑΙ 5

ΣΧΕΔΙΟ
6

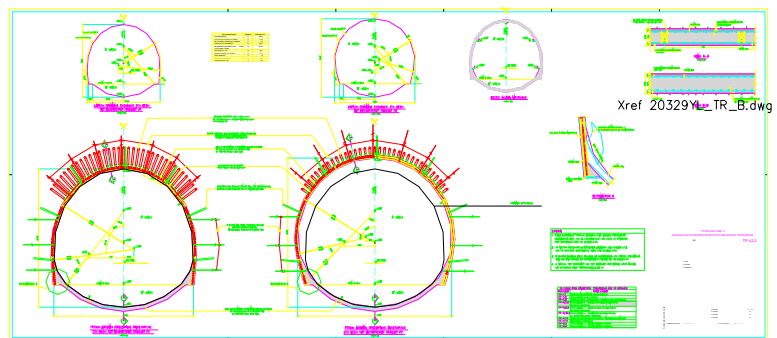


ΣΧΕΔΙΟ
7

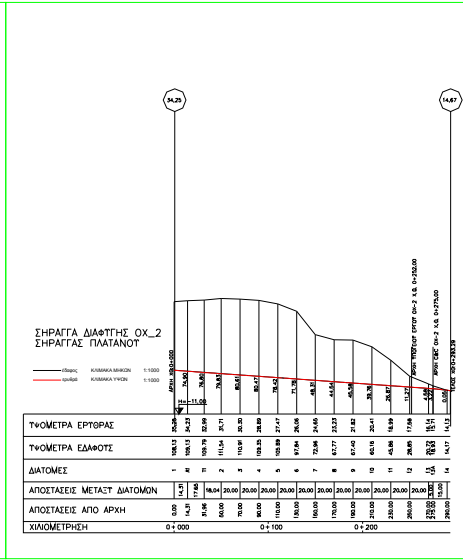
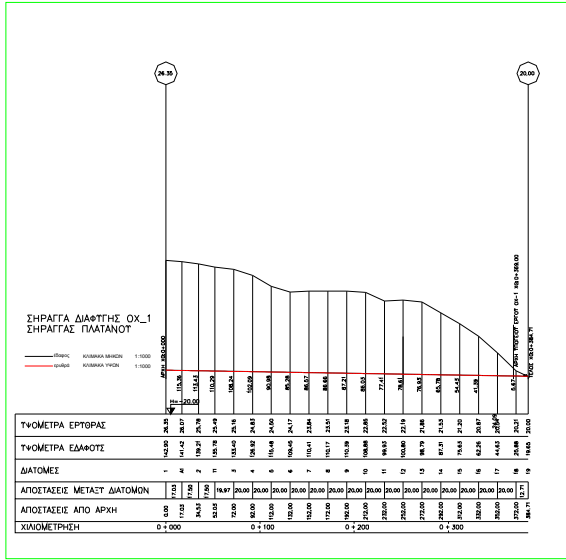




ΣΧΕΔΙΟ 8



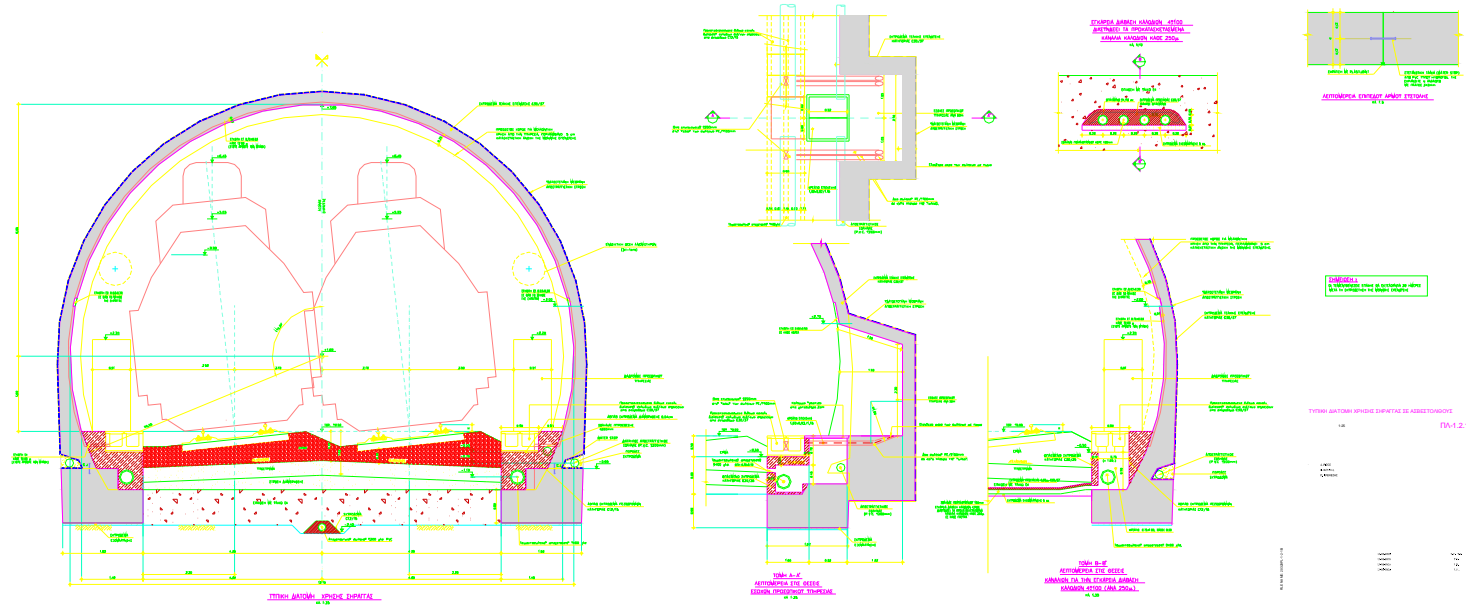
ΣΧΕΔΙΟ 9 ΚΑΙ 10



ΣΧΕΔΙΟ 11

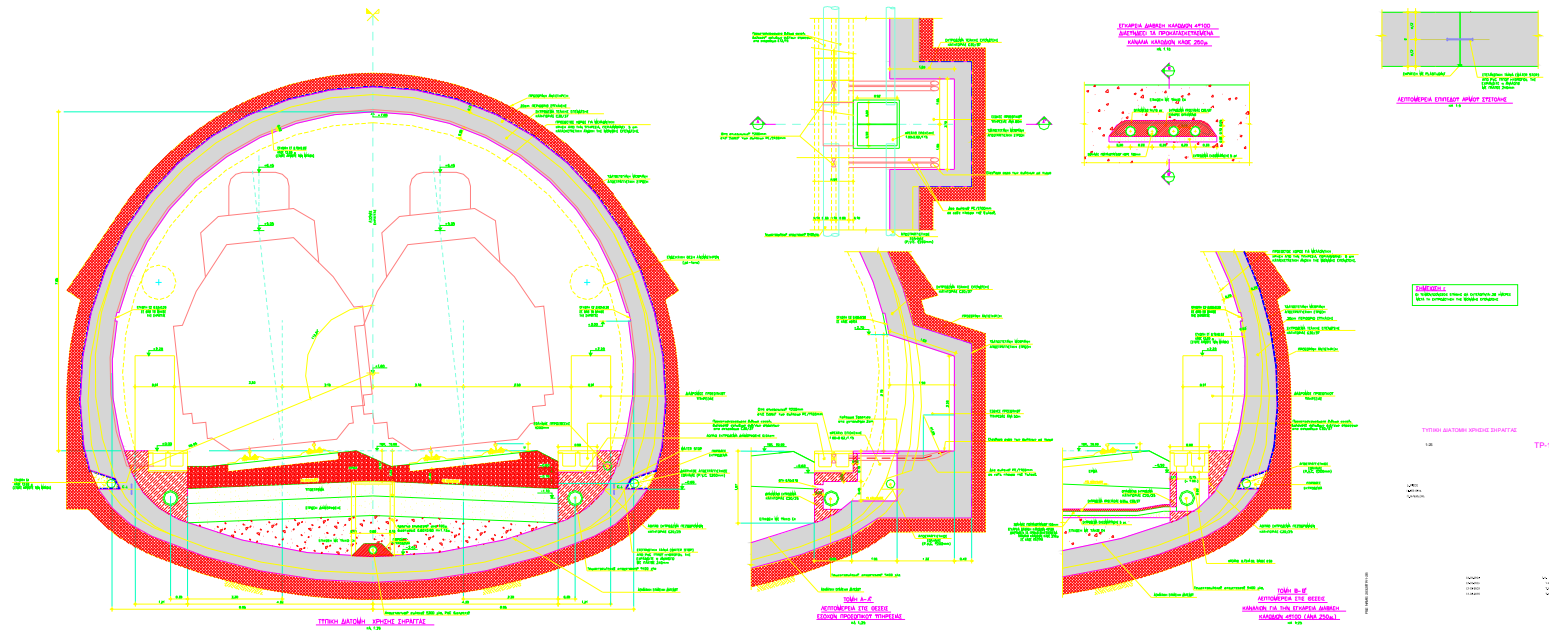
ΣΧΕΔΙΟ 12





ΣΧΕΔΙΟ 13

ΣΧΕΔΙΟ
14



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ◆ ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ «Μέθοδος Ανοιχτού Ορύγματος»
www.atticometro/inside.gr 2008
- ◆ ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ «Μηχανήματα Τύπου Ανοικτής Ασπίδας»
www.atticometro/inside.gr 2008
- ◆ Ε. ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ «Μηχανική Πετρωμάτων – Σήραγγες»
σημειώσεις Α.Τ.Ε.Ι Πάτρας 2005
- ◆ Ν. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ «Ευπαλίνειο Όρυγμα» ιστορική αναφορά 1999
- ◆ Μ. ΚΑΒΒΑΔΑΣ «Μηχανική Διάνοιξη Σηράγγων» Σειρά
Μεταπτυχιακών Διαλέξεων ΕΜΠ 2006
- ◆ Μ. ΚΑΒΒΑΔΑΣ «Τεχνική Γεωλογία και Σήραγγες» Σειρά
Ματαπτυχιακών Διαλέξεων ΕΜΠ 2007
- ◆ Χ. ΜΑΡΑΓΚΟΣ «Τεχνικά Έργα Υποδομής» σημειώσεις
σηραγγοποιίας Α.Τ.Ε.Ι. Πάτρας 2003
- ◆ Γ. ΠΟΛΥΧΡΟΝΟΠΟΥΛΟΣ «Εκρηκτικές Ύλες – Τρόποι Εξόρυξης
Πετρωμάτων» Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο 2002
- ◆ ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. «Σχεδιασμός και Μηχανική των
Σηράγγων» Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές 2002