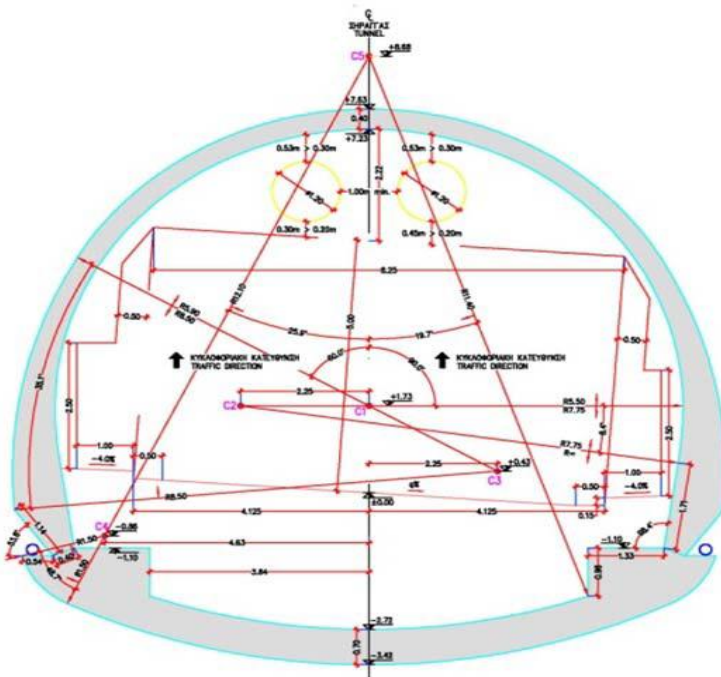


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ



ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ
ΠΑΤΕΑΣ ΣΩΤΗΡΗΣ
ΠΙΤΣΙΟΣ ΛΑΜΠΡΟΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΣΑΡΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΠΑΤΡΑ- 2013

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή μας κ.Σαραντόπουλο Ανδρέα, επιβλέπων της πτυχιακής εργασίας, για το θέμα που μας ανέθεσε, καθώς και για την υποστήριξη, την καθοδήγηση, τις πολύτιμες συμβουλές και γνώσεις που μας προσέφερε καθ'όλη τη διάρκεια σύνταξής της.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Σκοπιμότητα κατασκευής ενός υπόγειου έργου.....	6
1.2 Είδη σηράγγων.....	6
1.3 Ιστορική αναδρομή.....	12

Κεφάλαιο 2: Αρχές και κριτήρια σχεδιασμού

2.1 Κατηγορίες υπόγειων έργων και κριτήρια επιλογής της διατομής αυτών.....	15
2.2 Αρχές και κριτήρια σχεδιασμού.....	19
2.3 Τεχνική διάρκεια ζωής οδικών σηράγγων.....	23
2.4 Κανονισμοί μελέτης Οδικών σηράγγων.....	24
2.5 Τεχνικές θεωρήσεις.....	26
2.6 Πρόγραμμα ενόργανης παρακολούθησης.....	33

Κεφάλαιο 3: Απαιτούμενες γεωλογικές και γεωτεχνικές μελέτες και έρευνες στην περιοχή των σηράγγων

3.1 Γεωλογικά στοιχεία.....	35
3.2 Γεωτεχνικά στοιχεία.....	36
3.3 Γεωλογική μελέτη.....	36
3.4 Σχεδιασμός μέτρων υποστήριξης με εμπειρικές μεθόδους.....	37
3.4.1 Η ταξινόμηση του Terzaghi.....	37
3.4.2 Ταξινόμηση κατά Lauffer.....	39
3.4.3 Ταξινόμηση του Bieniawski.....	43

Κεφάλαιο 4: Γεωμετρικός σχεδιασμός

4.1 Γενικά.....	50
4.2 Γεωμετρική Θεώρηση.....	50
4.3 Τυπική Διατομή.....	55
4.4 Εσοχές έκτακτης στάθμευσης.....	60
4.5 Έξοδοι διαφυγής πεζών.....	61
4.6 Προσέγγιση οχημάτων έκτακτης ανάγκης –έξοδοι διαφυγής οχημάτων.....	64
4.7 Πεζοδρόμια.....	68
4.8 Έλεγχος ύψους οχημάτων.....	69
4.9 Κυκλοφοριακοί περιορισμοί.....	69

Κεφάλαιο 5: Υποστήριξη διανοιγόμενης σήραγγας

5.1 Προήγηση των στοιχείων της άμεσης υποστήριξης.....	72
5.2 Εκτοξευμένο σκυρόδεμα- Αγκύρια βράχου.....	76
5.3 Εκτοξευμένο σκυρόδεμα- μεταλλικά πλαίσια.....	77
5.4 Στεγανοποιητικός Φορέας της σήραγγας.....	78
5.4.1 Υδρομαστευτική στρώση.....	79
5.4.2 Στεγανοποιητική μεμβράνη.....	80
5.4.3 Αποστράγγιση υπόγειου ανοίγματος κατά τη φάση της όρυξης.....	82
5.4.4 Άντληση υπόγειου ύδατος.....	84
5.4.5 Υδρομάστευση σε περιοχές μεγάλης υδροφορίας.....	84
5.4.6 Στεγάνωση μετώπων της σήραγγας.....	85
5.5 Αερισμός της σήραγγας κατά τη διάνοιξη αυτής.....	85
5.5.1 Αερισμός κατά την εκσκαφή με συμβατικά μέσα.....	87
5.5.2 Αερισμός κατά την εκσκαφή με μηχανικά μέσα.....	88
5.6 Υπολογισμός απαιτούμενης παροχής.....	89
5.7 Υπολογισμός πτώσης πίεσης.....	89

5.8 Υπολογισμός της δυναμικής πίεσης.....	89
5.9 Υπολογισμός της απαιτούμενης ισχύς.....	89
5.10 Βοηθητικές κατασκευές της σήραγγας.....	90

Κεφάλαιο 6: Μέθοδοι Διάνοιξης σήραγγας

6.1 Διάνοιξη με τη μέθοδο NATM.....	91
6.1.1 Χαρακτηριστικά.....	91
6.1.2 Πλεονεκτήματα.....	94
6.1.3 Φάσεις εκσκαφής.....	94
6.1.4 Μέτρα άμεσης υποστήριξης.....	94
6.1.5 Παρακολούθηση συμπεριφοράς σηράγγων.....	96
6.1.6 Μέτρηση μετακινήσεων.....	96
6.2 Μέθοδος ανοιχτού ορύγματος (Cut and Cover)	98
6.2.1 Μειονεκτήματα Cut and Cover	98
6.2.2 Μεθοδολογία κατασκευής.....	98
6.2.3 Στάδια κατασκευής.....	98
6.2.4 Σειρά εργασιών.....	100
6.3 Μέθοδος Cover and Cut.....	100
6.3.1 Στάδια Κατασκευής.....	100
6.4 Μέθοδος διάνοιξης με TBM.....	101
6.4.1 Είδη μηχανών TBM.....	102
6.5 Διάνοιξη σηράγγων με εκρηκτικές ύλες.....	102
6.5.1 Χρησιμοποιούμενη εκρηκτική ύλη.....	103
6.5.2 Διάνοιξη σηράγγων με εκρηκτικές ύλες σε κατοικημένες περιοχές.....	103

7. Συμβουλές ασφάλειας κ οδήγησης μέσα στη σήραγγα

7.1 Υπερβολική ταχύτητα.....	106
7.2 Υπολογισμός απόστασης ασφαλείας	107
7.3 Τηλέφωνα επείγουσας ειδοποίησης.....	108

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπιμότητα κατασκευής ενός υπόγειου έργου

Με τον όρο σήραγγα εννοούμε εκείνο το τεχνικό έργο το οποίο κατασκευάζεται με διάτρηση υπό μορφή υπόγειου ορύγματος σε πάρα πολύ μεγάλα βάθη σε σχέση με την επιφάνεια του εδάφους.

Το συγκεκριμένο κατασκευαστικό έργο υποδομής, φέρει μια είσοδο και μια έξοδο που καθορίζονται από τη φορά χιλιομέτρησης του βασικού άξονα οδοποιίας και κατασκευάζονται καθαρά για λόγους αντιστήριξης των πρανών αυτής. Ο κάθε κλάδος, όμως, έχει τη δική του είσοδο και έξοδο, όπου το κριτήριο για τον καθορισμό του καθενός αποτελεί η φορά κατεύθυνσης των οχημάτων.

Ο σκοπός που εξυπηρετεί μια σήραγγα συνοψίζεται κυρίως στα ακόλουθα:

Τη σοβαρή βελτίωση της χάραξης τόσο οριζοντιογραφικά για τη σημαντική μείωση του μήκους του έργου όσο και υψομετρικά για τη σημαντική βελτίωση της μηκοτομής.

Την αποφυγή και παράκαμψη μεγάλων φυσικών εμποδίων, συνηθέστερα ορεινοί όγκοι και σπανιότερα υδάτινα εμπόδια.

Σε μεγάλα υδραυλικά έργα, όπου χρησιμοποιούνται αγωγοί, η κατασκευή κατά μεγάλα τμήματα ή τμήματα του κύριου αγωγού ύδρευσης, μεγαλύτερου μήκους από τη σήραγγα, μπορεί να οδηγήσει σε λύσεις μεγάλου περιορισμού του ολικού του μήκους και συνεπώς στην οικονομικότερη κατασκευή του έργου.

1.2 Είδη σηράγγων

Σήραγγες κατασκευάζονται σε:

- Οδικά και σιδηροδρομικά συγκοινωνιακά δίκτυα
- Για διάβαση ορεινών όγκων
- Για παράκαμψη δυσμενών γεωλογικών συνθηκών όπως κατολισθήσεων ή ρηξιγενών ζωνών
- Για περιβαλλοντικούς λόγους
- Αστικά συστήματα μαζικής μεταφοράς (μετρό)

Οι γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες έχουν μελετηθεί και διερευνηθεί σε βάθος για την κατασκευή του έργου. Το μετρο έχει μελετηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να αντιμετωπίζει τις επιπτώσεις ακόμα και των πιο δυσμενών σεισμικών δραστηριοτήτων. Πριν την κατασκευή του έργου πραγματοποιούνται ένα σύνολο μελετών:

- Έρευνα των γεωλογικών και γεωτεχνικών συνθηκών με ένα σύνολο γεωτρήσεων, οι περισσότερες από τις οποίες έγιναν με συνεχή πυρηνοληψία δειγμάτων από έδαφος και πέτρωμα, ενώ μερικές χρησιμοποιήθηκαν για διεξαγωγή επι τόπου δομικών για να διερευνηθούν καλύτερα οι συνθήκες που επικρατούν στις στάθμες όπου κατασκευάζεται το έργο, αλλά και για την εγκατάσταση ειδικών οργάνων γεωτεχνικής παρακολούθησης.

- Γεωφυσικές έρευνες, χρησιμοποιώντας ποικίλες τεχνικές, όπως ραντάρ εδάφους που διαπερνά το έδαφος εντοπίζοντας θαμμένα στοιχεία, υπόγειους ποτάμιους διαύλους, δίκτυα οργανισμών κοινής ωφέλειας και μεγάλα αρχαιολογικά στοιχεία.
- Μέτρηση στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα κατά μήκος της χάραξης της σήραγγας για να υπολογισθεί η γενική διεύθυνση της ροής των υδάτων εδάφους.
- Ανάπτυξη βασικών παραμέτρων αντοχής του εδάφους και του πετρώματος για να χρησιμοποιηθούν για την μελέτη των κατασκευών του έργου. Οι παράμετροι βασίζονται σε αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών διεγμάτων εδάφους και βράχου και σε άλλα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν με επιτόπου δοκιμές.
- Εκτεταμένο πρόγραμμα γεωτεχνικής παρακολούθησης πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την διεξαγωγή των εργασιών εκσκαφής εκτελείται τόσο για την ασφάλεια των υπερκείμενων ή/και των παρακείμενων κτισμάτων και κατασκευών, όσο και για την επιβεβαίωση των παραδοχών σχεδιασμού του έργου.

- Υδραυλικά έργα

- Υδραγωγεία

Ονομάζεται το τεχνικό κανάλι που κατασκευάζεται για να μεταβιβάσει νερό από μια περιοχή στην άλλη. Η ύπαρξη ενωτικών υδραγωγείων επιτρέπει τον έλεγχο, τη συντήρηση και την επίσκεψη των εγκαταστάσεων των δύο υδραγωγείων με τη δυνατότητα παύσης της λειτουργίας του ενός από τα δύο. Επιπλέον, παρέχουν την δυνατότητα εναλλακτικών τρόπων εκμετάλλευσης των πηγών υδροληψίας, ανάλογα με τις υδρολογικές συνθήκες και τις ανάγκες της κλατανάλωσης.

- Έργα ταμίευσης (σήραγγες εκτροπής και υπερχειλίσης φραγμάτων)
- Αποχετεύσεις και αποστραγγίσεις
- Έργα αποστράγγισης για τη βελτίωση των συνθηκών ευστάθειας πρανών



Σήραγγες οδικού δικτύου



Σιδηροδρομικές σήραγγες



Panepistimio station (7/95)
(Photo by N. Adams)



Μετρό



Σήραγγα Αποστράγγισης



Υδραυλική Σήραγγα

1.3 Ιστορική αναδρομή

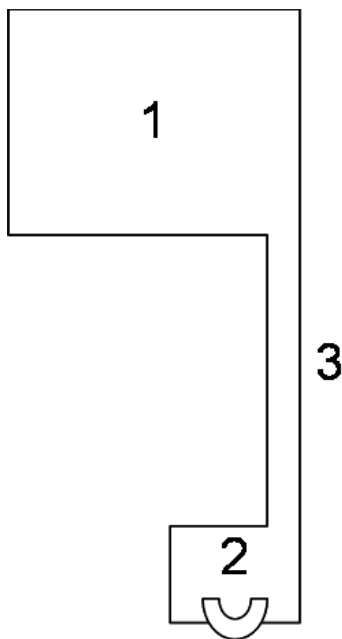
Η ανθρώπινη ιστορία έχει συνδεθεί με διάφορες φάσεις ανάπτυξης της χρήσης υπόγειου διαστήματος από την αρχή της. Είναι δυνατό να προσδιοριστεί η εποχή των τάφων στην Αίγυπτο, η οποία άρχισε 5000 χρόνια πριν, κατόπιν, η εποχή των μεταλλείων 4000 χρόνια πριν και η εποχή των καναλιών στην Ευρώπη, κατά τη διάρκεια του 1600.

Από τα πιο θαυμαστά έργα της αρχαιότητας και ίσως το σπουδαιότερο του Πολυκράτη είναι και το **Ευπαλίνειο Όρυγμα**. Πρόκειται για υδραγωγείο των παλιών χρόνων. Λεγόταν και αμφίστομο γιατί είχε δύο στόμια, ένα βόρειο κ ένα νότιο. Ο μηχανικός που το κατασκεύασε με διαταγή του Πολυκράτη ήταν ο Ευπαλίνος, απ'τον οποίον και πήρε το όνομα. Χαρακτηρίστηκε ως «θαυμαστό επίτευγμα της Μηχανικής, γιατί πέρασε μέσα από το βουνό της πόλης μια σήραγγα που είχε μήκος 1045 μέτρα. Η σήραγγα αυτή αποτελείται από ένα βαθύτερο σκάμμα, όπου έτρεχε το νερό μέσα από πήλινους σωλήνες».

Ήταν δύσκολο να κατασκευαστεί καθώς χρειάστηκαν πολλά χρόνια και χρήματα και κόποι για ένα τέτοιο μεγάλο όρυγμα. Η κατασκευή άρχισε ταυτόχρονα κι από τις δύο αντίθετες πλευρές του βουνού. Το ένα συνεργείο άρχισε να ανοίγει οπή την βορεινή πλευρά και το άλλο από τη νότια. Το ύψος του ορύγματος ήταν 2,5 μέτρα περίπου, όσο περίπου 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 σκαμμα, πλατύ ως μισό μέτρο και αρκετά βαθύ, ανάλογο με την απαραίτητη κλίση, τοποθέτησαν στη σειρά πήλινους σωλήνες, απότους οποίους περνούσε το νερό. Το σωληνωτό αυτό υδραγωγείο ήταν στην άκρη της μιάς πλευράς του ορύγματος. Το υπόλοιπο μέρος, το πιο ξέβαθο, ήταν διάδρομος στενός για τους εργάτες, όσο συνεχίζονταν οι εργασίες και για τους συντηρητές αργότερα.

Τομή που δείχνει τις δυο σήραγγες (1)-η κύρια σήραγγα, (2)-η μικρότερη 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 ηλεκτρικό ρεύμα ούτε μηχανήματα. Για πολλά χρόνια και έχοντας στη διάθεσή τους μόνο καλέμια και σφυριά, δεκάδες εργατικά χέρια πελεκούσαν την πέτρα μέσα στο στενό όρυγμα χωρίς καθαρό αέρα ή ηλεκτρικό φως. Γι αυτό άλλωστε και θεωρείται αξιοθαύμαστο μέχρι και σήμερα.



Το Ευπαλίνιο όρυγμα

Κατά των μεσαίωννα σημαντικότερες υπόγειες σήραγγες αποτελούν τα υπόγεια ορύγματα για την διανομή ανθρώπων στην περιοχή της Καππαδοκίας. Βέβαια είδη από την αρχαιότητα ήταν γνωστή η τεχνική δημιουργίας υπόγειων ορυγμάτων στα πωρολιθικά πετρώματα αυτής της μικρασιατικής επαρχίας. Ο Ξενοφών αναφέρει ότι από το 400 π.χ. υπήρχαν στην καππαδοκία τρωγλοδυτικές κατοικίες. Όμως από τα μέσα του 7ου αιώνα μ.χ. γενικεύτηκε και εντατικοποιήθηκε αυτή η τεχνική λαυξευσης ορυγμάτων, λόγω των εχθρικών επιδρομών στην περιοχή.

Αυτή η εξέλιξη οφείλεται κυρίως στην στρατιωτική επέκταση των Αράβων, οπότε οι κάτοικοι της παραμεθόριας πλέον Καππαδοκίας διέφυγαν στις υπόγειες σήραγγες όποτε δέχονταν επιθέσεις. Σε καίρια σημεία των στοών υπήρχαν επεξεργασμένοι ογκόλιθοι, με τους οποίους οι πολιορκούμενοι έφραζαν τα στόμια διελεύσεως. Το πλέγμα των υπόγειων στοών στην Καππαδοκία πήρε με το χρόνο μεγάλες διαστάσεις και μέχρι σήμερα διασώζεται ένα πολύπλοκο δίκτυο.

Σχετικά με την Ευρώπη, η εποχή των καναλιών το 1600, ωστόσο κατά τη διάρκεια του 19ου αιώνα, όπου εμφανίζεται ο όρος "βιομηχανική

επανάσταση” , αναπτύσσεται και ο τομέας των σιδηροδρόμων. Ο τομέας αυτός περιλαμβάνει μηχανικές μεθόδους διάνοιξης που αποτελούν καινοτομία αλλά απαιτούν κόστος. Παραδείγματα τέτοιων μεθόδων διάνοιξης είναι (Αυστριακές, Αγγλικές, Γερμανικές μέθοδοι). Έτσι έχουμε την εμφάνιση: Μηχανές ασπίδες (1818), Υδραυλικές και αεροκίνητες μηχανές και εργαλεία (1857), Έκρηξη δυναμίτη (1864), Χρήση συμπιεσμένου αέρα (1869) που αποτελούν τις κυριότερες μεθόδους.

Άλλες σημαντικές σιδηροδρομικές σήραγγες που κατασκευάστηκαν κατά το β΄ παγκόσμιο πόλεμο ήταν:

Η σήραγγα που διασχίζει τις ελβετικές Άλπεις με μήκος 15 km και δόθηκε στην κυκλοφορία στο έτος 1882.

Δύο σιδηροδρομικές σήραγγες του Σιμπούι, στις Ελβετικές Άλπεις, οι οποίες συνδέονται με την Ιταλία, έχουν μήκος 20km περίπου και παραδόθηκαν στην κυκλοφορία το 1906 και το 1922 αντίστοιχα.

Η σιδηροδρομική σήραγγα, στο Loetschberg των Ελβετικών Άλπεων, ολοκληρώθηκε το 1913 και έχει μήκος 14,6km.

Η σιδηροδρομική σήραγγα των Άπεννίνων στην Ιταλία, η οποία συνδέει την Μπολόνια με τη Φλωρεντία, έχει μήκος 18,5km και ολοκληρώθηκε το 1914.

Η πρώτη σήραγγα για κυκλοφοριακούς λόγους κάτω από ποταμό κατασκευάστηκε το έτος 1869 στο Σικάγο. Πρώτη αντίστοιχη κατασκευή στην Ευρώπη έγινε το 1911 κάτω από τον ποταμό Έλβα στο Αμβούργο. Στην κατασκευή υπόγειων σιδηροδρόμων στηρίχθηκε η δημιουργία μητροπολιτικών δικτύων σιδηροδρόμων (METRO) στις μεγάλες πόλεις των βιομηχανικών χωρών. Η σημαντικότερη, σήραγγα από ιστορικής, πολιτικής και οικονομικής σκοπιάς είναι αυτή στη θάλασσα της Μαγχης που συνδέει με τρεις σωλήνες μήκους 50km την ηπειρωτική Ευρώπη με την Αγγλία. Αυτό το έργο ολοκληρώθηκε το έτος 1994, μετά από όλες τις προσπάθειες έναρξης κατά το 19^ο και 20^ο αιώνα και διάφορες αναβολές λόγω οικονομικών, τεχνικών ή πολιτικών προβλημάτων.



Υπόγειες σήραγγες στην Καππαδοκία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΑΥΤΩΝ

Η επιλογή της διατομής, στην περίπτωση κατασκευής των οδικών σιδηρόδρομων αλλά και γενικότερα, εξαρτάται από τις ακόλουθες παραμέτρους:

- Την κατανομή των οχημάτων που θα χρησιμοποιήσουν την εν λόγω σήραγγα
- Την σταθερότητα (συνεκτικότητα) του εδάφους πάνω στο οποίο θα θεμελιωθεί το υπόγειο έργο, την εξασκούμενη πίεση και την περιεκτικότητα σε νερό του ανωτέρω εδάφους.
- Την εφαρμοζόμενη μέθοδο διάνοιξης.
- Το υλικό και την στερεότητα των τοιχωμάτων της σήραγγας καθώς από τις ενεργούσες εσωτερικές ωθήσεις του εδάφους.

Στα ακόλουθα σχήματα δίδονται οι πλεονεκτικότερες και πιο συνηθισμένες διατομές σιδηρόδρομων που χρησιμοποιούνται έως σήμερα.

Σε σιδηροδρομική σήραγγα, η διατομή σε σχήμα πέταλου είναι η πλέον διαδεδομένη και μάλιστα η διατομή αυτή είναι όρθια όταν έχουμε μια γραμμή σιδηροτροχιών όπως φαίνεται και στα παρακάτω σχήματα.



Σιδηροδρομική σήραγγα



Σιδηροδρομική σήραγγα



Σήραγγα ροής νερού με ελεύθερη επιφάνεια νερού

Στις περιπτώσεις κατασκευής γαλαριών-σηράγγων ροής νερού, με ελεύθερη επιφάνεια νερού (σχήμα άνω δεξιά) η διατομή τους είναι πέταλο, ενώ στην περίπτωση γαλαριών με νερό υπό πίεση οι διατομές είναι ως επί το πλείστον κυκλικές διατομές.



Γαλαρία νερού υπό πίεση

Χαρακτηριστικό προφίλ των ναυτιλιακών σηράγγων είναι εκείνο της διατομής σκάφης.

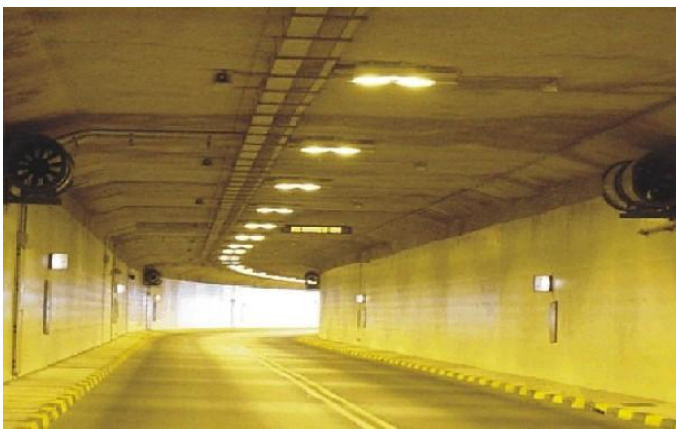


Οι σήραγγες για πεζούς και οι γαλαρίες αποχετεύσεων έχουν ορθογώνια ή κυκλική διατομή ανάλογα εάν κατασκευάζονται αμέσως κάτω από το κατάστρωμα του δρόμου ή τοποθετούνται βαθύτερα και ενδεχομένως, κάτω από τη στάθμη ροής του υπόγειου νερού.



Σήραγγες πεζών με ορθογώνια και κυκλική διατομή

Εν αντιθέσει των υπολοίπων σηράγγων, οι οδικές σήραγγες ποικίλουν των σχημάτων των διατομών που δύναται να λάβουν. Οι σήραγγες αυτές είναι υπερυψωμένες διότι οι απαιτήσεις αερισμού σε αυτές είναι μεγαλύτερες έναντι των υπολοίπων ειδών σηράγγων.



2.2 ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.

Τα παρακάτω κριτήρια σχεδιασμού αποτελούν τις απαιτήσεις που θα να ικανοποιήσει η μελετητική διαδικασία. Ο εργοδότης μπορεί να προβεί σε προσθήκες ή και σε αφαιρέσεις ανάλογα με τις ιδιαίτερες συνθήκες του έργου.

- Τεχνική διάρκεια ζωής του έργου 100 έτη.
- Οι λειτουργικές και λοιπές απαιτήσεις.
- Ο γεωλογικός σχεδιασμός της σήραγγας θα ανταποκρίνεται στα αναφερόμενα.
- Η ταχύτητα κυκλοφορίας της μελέτης θα καθορίζεται από τον εργοδότη με βάση τα αναφερόμενα και μετά από σχετική πρόταση των μελετητών οδοποιίας και σήραγγας.
- Ικανοποίηση των απαιτήσεων και περιορισμών που προκύπτουν από την μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- Η προκύπτουσα προς κατασκευή τεχνική λύση να ικανοποιεί τους χρονικούς περιορισμούς που θέτει ο εργοδότης για την υλοποίησή της.
- Να ενσωματώνονται χωρίς επικαλύψεις με το περιτύπωμα κυκλοφορίας ο απαιτούμενος Η/Μ εξοπλισμός, εγκαταστάσεις κάθε είδους και η σήμανση.
- Ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στην κοινωνική ζωή και δραστηριότητες από την κατασκευή και λειτουργία του έργου.
- Ικανοποίηση ενός καθορισμένου (από τον εργοδότη) επιπέδου επιτρεπόμενων διαφορικών ή απολύτων καθιζήσεων για την επίτευξη αποδεκτών επιδράσεων σε υπερκείμενες ή παρακείμενες κατασκευές. Εφόσον δεν έχει καθοριστεί επίπεδο επιτρεπόμενων καθιζήσεων ως ανωτέρω ο μελετητής θα διερευνήσει το όλο πρόβλημα των επιδράσεων στις υπερκείμενες ή παρακείμενες κατασκευές θεωρώντας τις παρακάτω οριακές καταστάσεις εν όλω ή εν μέρει:
 - Οριακή κατάσταση αστοχίας, όταν διακυβεύεται η δομοστατική ακεραιότητα υπερκείμενης ή παρακείμενης κατασκευής.
 - Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας, όταν κάποιες βασικές κανονικές χρήσεις βρίσκονται σε διακινδύνευση.
 - Οριακή κατάσταση «ρηγμάτωσης», όταν εμφανίζονται ορατές ρωγμές, αλλά οι βασικές λειτουργίες της κατασκευής δεν επηρεάζονται.
 - Οριακή κατάσταση απουσίας κάθε επίδρασης σε υπερκείμενη ή παρακείμενη κατασκευή. Η τελική απόφαση των οριακών καταστάσεων μετά την διερεύνηση ανήκει στον εργοδότη.
- Απαιτήσεις στεγανότητας.
Δεν επιτρέπεται η εμφάνιση και εισροή νερού πάνω από το οδόστρωμα κυκλοφορίας έστω και υπό μορφή σταγόνων, καθ' όλη την τεχνική ζωή του έργου. Η απαίτηση αυτή, αν άλλοι λόγοι δεν επιβάλλουν διαφορετικά, μπορεί να μην ισχύει για τις σήραγγες διαφυγής και λοιπα συνοδευτικά έργα.
Ο εργοδότης, υπο προϋποθέσεις από πλευράς λειτουργικότητας ή ανθεκτικότητας, είναι δυνατόν να αποδεχθεί κάποια ελεγχόμενη

εισροή νερού και ασφαλή απαγωγή του στο αποχετευτικό σύστημα εφόσον η προσέγγιση επίτευξης απόλυτης στεγάνωσης είναι τεχνικά και οικονομικά προβληματική.

Η κύρια επιλογή μεθόδου επίτευξης στεγανότητας είναι η τοποθέτηση κατάλληλης στεγανωτικής μεμβράνης. Υπό προϋποθέσεις μπορεί να εξεταστεί η κατασκευή σκυροδέματος αποδεκτά χαμηλής υδροπερατότητας. Στην τελευταία αυτή περίπτωση το βάθος διείσδυσης του νερού θα είναι μικρότερο από 30χιλ. ενώ το χαρακτηριστικό εύρος ρωγμών θα είναι μικρότερο από 0,15 χιλ. Για τους διάφορους αρμούς θα δίδονται οι απαραίτητες στατικές και κατασκευαστικές διαρρυθμίσεις ώστε να εξασφαλίζεται η στεγανότητα έναντι της αναμενόμενης υδροστατικής πίεσης και τον γενικότερων υδρογεωλογικών συνθηκών, ενώ θα προβλέπεται διπλή διάταξη στεγανοποίησης των αρμών.

- Διάταξη αποτόνωσης πίεσης – αποστράγγισης βραχομάζας.

Με βάση τα διατιθέμενα από τις γεωλογικές, υδρολογικές μελέτες και γεωτεχνικές έρευνες θα εκτιμηθεί, μέσω κατάλληλων διαδικασιών, το υπόγειο υδρικό καθεστώς που αναμένεται κατά την τεχνική ζωή του έργου. Για την αποφυγή ανάπτυξης σημαντικών υδροστατικών φορτίων επί της τελικής επένδυσης της σήραγγας θα προβλεφθεί, αν άλλοι λόγοι δεν το αποκλείουν, διάταξη αποτόνωσης της πίεσης θα πρέπει να μπορεί να λειτουργεί κάτω από το προβλεπόμενο εντατικό πεδίο. Η μελέτη θα πρέπει να προβλέψει σενάριο αντιμετώπισης για όλη τη διάρκεια της τεχνικής ζωής του έργου εξασφαλίζοντας την διακινδύνευση του συστήματος έναντι έμφραξης.

- Αποχέτευση – αποστράγγιση καταστρώματος.

Το σύστημα αποχέτευσης θα είναι ανθεκτικό και πλήρως συντηρήσιμο καθ'ολη την τεχνική ζωή του έργου. Θα πρέπει να προσφέρει τη δυνατότητα επιθεώρησης και καθαρισμού για να μην φράσσεται από ιλύ, ασβεστούχες ή άλλες εναποθέσεις.

Κατά την μελέτη αποχέτευσης – αποστράγγισης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

- Όμβρια νερά από τα ανοικτά τμήματα δεν πρέπει να απορρέουν επιφανειακά εντός της σήραγγας και να αποχετεύονται από τα αποχετευτικά στόμια αυτής. Για το σκοπό αυτό πρέπει να προβλεφθούν κατάλληλες διατάξεις υδροσυλλογής κατά μήκος χαμηλότερων οριογραμμών. Σε περίπτωση που η αποχέτευση των ομβρίων είναι ανάντη του μετώπου είναι ανέφικτη ή εξαιρετικά δαπανηρή τότε θα προβλέπεται ιδιαίτερος αποχετευτικός αγωγός μεταφοράς που δεν θα συνδέεται με το δίκτυο αποχαιτέυσης των επιφανειακών νερών και υγρών της σήραγγας. Σε ότι αφορά τις επιφανειακές κατακρημνίσεις θα ληφθεί περίοδος επαναφοράς 1:50 έτη.
- Γενικά το σύστημα αποχέτευσης – αποστράγγισης της σήραγγας θα είναι σχεδιασμένο ώστε να διαχωρίζει πλήρως τα υπόγεια νερά που εισρέουν από το σύστημα αποτόνωσης της πίεσης, από τα νερά και άλλα υγρά του καταστρώματος. Τα υγρά και τα νερά του καταστρώματος που προέρχονται από διάφορες πηγές (όπως όμβρια από τις περιοχές των στομιών, όμβρια που παρασύρονται από οχήματα ,υγρά και διαλύματα καθαρισμού διαφόρων εγκαταστάσεων και της ίδιας τελικής επένδυσης, καύσιμα που διέφυγαν λόγω ατυχήματος και τα υγρά για την απόπλυση ,υγρά από λειτουργία του

συστήματος πυρόσβεσης ή τυχηματική διάρρηξη του, διάφορα υγρά που μεταφέρονται από οχήματα και μπορούν να διαφύγουν λόγω ατυχήματος) θα καταλήγουν στον εγκεκριμένο τελικό αποδέκτη μετά από διαδικασίες καθαρισμού συμβατές με τους σχετικούς καθαρισμούς. Σε περιπτώσεις όπου οι ποσότητες των νερών της βραχομάζας είναι αποδεκτό ενοποιημένο σύστημα αποχέτευσης. Το σύστημα αποχέτευσης των νερών του οδοστρώματος θα πρέπει να προβλέπει κατάλληλες διατάξεις για την μη μετάδοση φωτιάς από εύφλεκτα υγρά στον κεντρικό τελικό αγωγό. Η απαγωγή των νερών του οδοστρώματος θα γίνεται μέσω ρείθρου σχισμής στην ταπεινωμένη οριογραμμή της σήραγγας με παροχευτική ικανότητα 200 m³/l. Για την αποχέτευση σήραγγας ισχύει και η σχετική οδηγία για την αποχέτευση – αποστράγγιση οδών.

- Για την άμεση υποστήριξη είναι αποδεκτή για τα αγκύρια πλήρης διαρροή ενός ποσοστού μέχρι 20% των συνολικώς τοποθετούμενων.
- Στις επιμέρους δράσεις επί της άμεσης υποστήριξης θα λαμβάνονται υπόψη: α)τα φορτία που σχετίζονται με την συμπεριφορά του γεωυλικού με εκτίμηση του ρυθμού και χρόνου επιβολής τους, β)τα φορτία που σχετίζονται με διαχρονική συμπεριφορά του γεωυλικού και μέχρι την εκτινόμενη ενεργοποίηση της μόνιμης επένδυσης, γ)τα τυχόν υδραυλικά φορτία, δ)τα φορτία που προκύπτουν από κατασκευαστικές δραστηριότητες, όπως διακίνηση εξοπλισμού, εκτέλεση τσιμεντενέσεων κ.λ.π.) ε) τα φορτία από ύπαρξη κατασκευών ή δραστηριοτήτων στην επιφάνεια.

Στις επιμέρους δράσεις επί της τελικής επένδυσης λαμβάνονται υπόψη:

A. Μόνιμες δράσεις: το ίδιο βάρος της επένδυσης, Κάθε άλλη πρόσθετη κατασκευή που θα παραμένει μόνιμα στο έργο (π.χ. μόνιμω αναρτημένα στην επένδυση στοιχεία, επίχωση ανάστροφου πυθμένα, ωθήσεις από το περιβάλλον την σήραγγα γεωυλικό, υδροστατική πίεση, εφόσον η σήραγγα μέσα στον υδροφόρο ορίζοντα και δεν προβλέπεται διάταξη αποτόνωσης, φορτία από υπερκείμενες οι παρακείμενες κατασκευές που υφίστανται ή είναι δυνατόν να υπάρξουν στο μέλλον. *Σημείωση:* Μολονότι ο χαρακτήρας των τριών τελευταίων δράσεων είναι μόνιμος, εν τούτοις η τιμή τους είναι δυνατό μεταξύ ακρότατων ορίων, είτε λόγω αβεβαιοτήτων (πχ συντελεστής οριζόντιων ωθήσεων K) είτε λόγω εποχιακής διακύμανσης (π.χ. σταθμη υπογείου υδροφόρου ορίζοντα) είτε λόγω πιθανής ανέγερσης ή κατεδάφισης. Προτείνεται επομένως κατά τους συνδυασμούς φορτίσεων να λαμβάνονται αυτές είτε με τις δυσμενέστερες για την κατασκευή δράση τους (εφόσον είναι γνωστές) είτε με τις ακρότατες τιμές διακύμανσής τους.

B. Μεταβλητές δράσεις: Κινητά φορτία λειτουργίας που θα αντιστοιχούν σε οχήματα SLW60 όσα και ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας, όταν κατασκευάζεται ανάστροφος πυθμένας, συστολή ξύρασης. Η επίδραση της συστολής ξήρασης επιτρέπεται να λαμβάνεται κατά τους υπολογισμούς σύμφωνα με την παράγραφο 6.3.2.6 του ΕΚΩΣ 2000, ως ομοιόμορφη πτώση θερμοκρασίας. Ομοιόμορφη μεταβολή θερμοκρασίας θα λαμβάνεται, σύμφωνα με την παράγραφο 6.3.2.6 του

ΕΚΩΣ 2000 $dt_u=(2/3)*20=\pm 13^\circ\text{C}$ λόγω του υπόγειου χαρακτήρα του έργου. Σαν μεση θερμοκρασία κατασκευής μπορεί, ελλείψει ακριβέστερων στοιχείων, να ληφθεί $t_m=+10^\circ\text{C}$.

Τυχόν φορτία από κατασκευαστικές δραστηριότητες, Τυχόν φορτία από δραστηριότητες στην επιφάνεια.

Γ. Τυχηματικές δράσεις:

Έκρηξη. Μπορεί να συμβεί μέσα στη σήραγγα κατά την διέλευση εκρηκτικών υλών. Για την περίπτωση αυτή είναι αποδεκτή η τοπική βλάβη της τελικής επένδυσης από τη δράση του εκρηκτικού φορτίου υπό την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχει κίνδυνος αλυσιδωτής κατάρρευσης του θόλου και είναι αποδεκτή η εκ των υστέρων δοκιμή αποκατάσταση της βλάβης. Σαν δράση σχεδιασμού θα ληφθεί πίεση 100 kN/m^2 μειούμενη στο 0 σε ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου.

Πρόσκρουση οχήματος (χωρίς πρόκληση βλάβης) με επιβολή φορτίου 60kN/m^2 κατανεμημένο σε πλάτος 1.5m και ύψος 1.5m πάνω από τη στάθμη του οδοστρώματος.

Υδροστατική πίεση: το φορτίο αυτό αφορά σήραγγες οι οποίες προστατεύονται από υδροστατική πίεση με σύστημα αποστράγγισης. Η πιθανή παροδική έμφραξη του συστήματος αποστράγγισης, προτείνεται να λαμβάνεται υπόψη ως υδροστατική πίεση. Σε περίπτωση που δεν προτείνεται διαφορετικά από τον μελετητή, είναι δυνατό να θεωρείται ως ομοιόμορφα κατανεμημένη και κάθετη στο φορέα, ίση με 50kPa .

Περίπτώσεις στις οποίες δύναται να απαιτείται. α) στις περιοχές των στομιών β) σε σήραγγες όπου το ύψος υπερκειμένων δεν ξεπερνά το μισό της ισοδύναμης διαμέτρου της διατομής εκσκαφής γ) σε σήραγγες εντός κλιτύων εφόσον αναγνωρισθεί κίνδυνος εμφάνισης μηχανισμού γενικευμένης αστάθειας, δ)σε περιοχές διέλευσης της σήραγγας που χαρακτηρίζονται από την παρουσία πιθανών ενεργών σεισμικών ρηγμάτων, ε)σε σήραγγες εντός ιδιαίτερα μαλακών ή χαλαρών εδαφικών σχημάτων ζ) σε θέσεις διασταυρώσεων σηράγγων που βρίσκονται πλησίον σημαντικών ενεργών σεισμικών ρηγμάτων. Ο έλεγχος θα πραγματοποιείται σύμφωνα με την παράγραφο 10.8.4. Οι στατικοί υπολογισμοί, για το κύριο σώμα της σήραγγας δύναται προτείνεται να ακολουθούν τις οδηγίες της "seismic analysis of underground structures", λαμβάνοντας υπόψη τον καταναγκασμό σε παραμόρφωση του φορέα σήραγγας. Ειδικότερα δύναται να παραλείπεται, εφόσον έχουν προβλεφθεί προς τούτο κατάλληλοι κατασκευαστικοί αρμοί ανάληψης των παραμορφώσεων.

Δ. Τυχόν άλλες μόνιμες, μεταβλητές ή τυχηματικές δράσεις.

Οι συνδυασμοί δράσεων θα γίνονται σύμφωνα με τον ΕΚΩΣ2000, πριν δε τη διενέργεια των υπολογισμών θα υπόκεινται στην έγκριση από τον εργοδότη.

- **Απαιτήσεις στεγανότητας :** Δεν επιτρέπεται η εμφάνιση και εισροή νερού πάνω από το οδόστρωμα έστω και υπό μορφή σταγόνων, καθ' όλη την τεχνική ζωή του έργου. Η απαίτηση αυτή, αν άλλοι λόγοι δεν επιβάλλουν διαφορετικά, μπορεί να μην ισχύει για τις σήραγγες διαφυγής και λοιπά συνοδευτικά υπόγεια έργα. Ο εργοδότης, υπό προϋποθέσεις από πλευράς λειτουργικότητας ή ανθεκτικότητας, είναι δυνατόν να αποδεχθεί

κάποια ελεγχόμενη εισροή νερού και ασφαλή απαγωγή του στο αποχετευτικό σύστημα εφόσον η προσέγγιση επίτευξης απόλυτης στεγάνωσης είναι τεχνικά και οικονομικά προβληματική. Η κύρια επιλογή μεθόδου επίτευξης στεγανότητας είναι η τοποθέτηση κατάλληλης στεγανωτικής μεμβράνης. Υπό προϋποθέσεις μπορεί να εξεταστεί η κατασκευή σκυροδέματος αποδεκτά χαμηλής υδροπερατότητας. Στην τελευταία αυτή περίπτωση το βάθος διείσδυσης του νερού θα είναι μικρότερο από 30 χιλ. ενώ το χαρακτηριστικό εύρος ρωγμών θα είναι μικρότερο από 0,15 χιλ. Για τους διάφορους αρμούς θα δίδονται οι απαραίτητες στατικές και στεγανότητα έναντι της αναμενόμενης υδροστατικής πίεσης και των γενικότερων υδρογεωλογικών συνθηκών, ενώ θα προβλέπεται διπλή διάταξη στεγανοποίησης των αρμών.

- Διάταξη αποτόνωσης πίεσης – αποστράγγισης βραχομάζας. Για τις σήραγγες διαφυγής και λοιπά συνοδευτικά έργα η τελική επένδυση μπορεί να γίνει από εκτοξευμένο σκυρόδεμα ελάχιστου πάχους 20 εκ.

2.3 ΤΕΧΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΟΔΙΚΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Το τελικό δομικό σύστημα της σήραγγας θα μελετάται έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η αντοχή, λειτουργικότητα και ανθεκτικότητά του καθ' όλη την τεχνική διάρκεια ζωής του έργου, η οποία ορίζεται συμβατικά σε 100 έτη. Κατά την σύνταξη της μελέτης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το αποτέλεσμα κάθε φαινομένου που είναι πιθανό να συμβεί στην κατά τα ανωτέρω οριζόμενη περίοδο και να επιρεάσει δυσμενώς τη σήραγγα. Τα είδη και τα μεγέθη τους θα καθορίζονται από τον εργοδότη, τις λοιπές μελέτες ή τον ίδιο το μελετητή.

Ο εργοδότης θα καθορίζει τις ιδιαίτερες απαιτήσεις τις οποίες πρέπει να καλύψει η μελέτη. Ενδεικτικά τέτοιες απαιτήσεις είναι :

- Οι σήραγγες και άλλες υπόγειες κατασκευές δεν θα απαιτούν δομική συντήρηση καθ' όλο το χρονικό διάστημα της τεχνικής ζωής του έργου ή του δομικού στοιχείου. Με τον όρο δομική συντήρηση εννοείται η ανακατασκευή του δομικού συστήματος της σήραγγας. Η απαίτηση αυτή δεν ισχύει για την περίπτωση έκρηξης στην σήραγγα. Ο εργοδότης είναι δυνατόν να καθορίσει διαφορετικές απαιτήσεις συνεκτιμώντας τις ιδιαίτερες τεχνικές και οικονομικές συνθήκες.
- Οι σήραγγες και άλλες υπόγειες κατασκευές θα βρίσκονται σε λειτουργία καθ' όλο το χρονικό διάστημα της τεχνικής ζωής του έργου, χωρίς οι ματαιήσεις συντήρησης και θα προτείνει

εναλλακτικά σενάρια αντιμετώπισης ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη διάρκεια τεχνικής ζωής του έργου.

Εφόσον τηρηθούν τα αναμενόμενα στο παρόν τεύχος σε ότι αφορά τη μελετητική προσέγγιση, γίνει επιτυχής επιλογή υλικών και κατασκευαστικών διαδικασιών κατά την φάση της υλοποίησης και εφαρμοστεί κατάλληλο συνολικό σύστημα διασφάλισης ποιότητας, θεωρείται ότι εξασφαλίζεται η απαιτούμενη τεχνική διάρκεια ζωής του τελικού δομικού συστήματος της σήραγγας με καθορισμένο αποδεκτώσ χαμηλό κόστος συντήρησης και επισκευών. Ειδικότερα οι συνθήκες περιβάλλοντος που θα επικρατούν κατά τον σχεδιασμό έτσι ώστε να είναι δυνατή η αξιολόγηση της σπουδαιότητάς τους σε σχέση με την ανθεκτικότητα και προβλέπονται τα κατάλληλα μέτρα. Ο εργοδότης μπορεί να απαιτεί σε περιπτώσεις πολύ διαβρωτικών συνθηκών περιβάλλοντος την απόδειξη της ικανοποίησης της απαίτησης για την τεχνική ζωή του τελικού δομικού συστήματος της σήραγγας. Ως βάση για την προσέγγιση αυτή θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι αρχές σχεδιασμού για την λειτουργική ζωή του έργου. Ο μελετητής θα προτείνει και ο εργοδότης θα αποφασίσει για τις οριακές καταστάσεις που προκύπτουν από απαιτήσεις ανθεκτικότητας, κατατάσσοντας αυτές σε οριακές καταστάσεις αστοχίας ή λειτουργικότητας, προτείνοντας αντίστοιχους δείκτες αξιοπιστίας και την απαιτούμενη επιτελεστικότητα της κατασκευής.

2.4 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ ΟΔΙΚΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Ελληνικοί κανονισμοί (περιλαμβάνουν των Π.Δ., οδηγιών, υπουργικών αποφάσεων και εγκυκλίων)

- Διατάξεις τοθ Π.Δ. 696/74 περί αμοιβών μηχανικών για σύνταξη μελετών Κ.λ.π., και σχετικών προδιαγραφών μελετών, μόνο σε σχέση με τα τεχνικά πρότυπα.
- Πρότυπες Τεχνικές Προδιαγραφές (ΠΤΠ), του ΥΠΕΧΩΔΕ Συμπεριλαμβανομένων των ΠΤΠ-Τ110, ΠΤΠ-0155, ΠΤΠ-Χ1, ΠΤΠ-Α260, ΠΤΠ-Α265 (όπως τροποποιήθηκαν - συμπληρώθηκαν), και άλλα.
- Τεχνικές Οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (Τ.Ο - Τ.Ε.Ε.), όπως εγκρίθηκαν από το ΥΠΕΧΩΔΕ και δημοσιεύθηκαν στην εφημερίδα της τότε κυβέρνησης.
- Διατάξεις του Π.Δ. 1073/16.09.81 περί «Μέτρα ασφαλείας σε εργοτάξια κατά την εκτέλεση εργασιών πολιτικού μηχανικού».
- Οι διατάξεις του Π.Δ. 252/89 «Περί Υγιεινής και Ασφάλειας στα Υπόγεια Έργα», ΦΕΚ 106/2-05-89.
- Ο Ελληνικός Κανονισμός Μεταλλευτικών και Λοιμικών εργασιών του Υπουργείου Βιομηχανίας και Ενέργειας, ΦΕΚ 931Β/31-12-84.
- Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (Ε.Α.Κ. - 2000), ΦΕΚ 2184Β'/20.12.1999.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., Γενική Γραμματεία Δημόσιων Έργων. Διεύθυνση Μελετών Οδοποιίας . Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων , Τεύχος 2, Διατομές ,2001.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., Γενική Γραμματεία Δημόσιων Έργων . Διεύθυνση Μελετών Οδοποιίας . Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων , Τεύχος 3, Χαράξεις ,2001.

- Ελληνικός Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος, ΦΕΚ 966B/09.05.85.
- Κανονισμός ελέγχου ποιότητας υλικών και έργων ΦΕΚ/332/β/29.03.01
- Τσιμέντα για την κατασκευή έργων από σκυρόδεμα ΦΕΚ/927/β/17.07.01,
- Σκυρόδεμα : Προδιαγραφές - συμπεριφορά / επιδόσεις - παραγωγή και κριτήρια συμμορφώσεως Ευρωπαϊκό Πρότυπο : ΕΛΟΤ EN 206 -1 (Δεκέμβριος 2000)
- Τσιμέντα (Προδιαγραφές – Μέθοδοι δοκιμών) - Ευρωπαϊκό Πρότυπο : ΕΛΟΤ EN 197-1,ΕΛΟΤ EN 197 -2.
- Σχέδιο προδιαγραφής για το εκτοξευμένο σκυρόδεμα.

Γερμανικοί Κανονισμοί

- DIN 18312 Γενικοί τεχνικοί κανονισμοί για υπόγειες κατασκευές .
- Γερμανικοί κανονισμοί για τον εξοπλισμό και τη λειτουργία οδικών σηράγγων
- DIN 1045 Άοπλο και Οπλισμένο σκυρόδεμα –Υπολογισμός και
- DIN 4030 Εκτίμηση , υγρών στερεών και αερίων που προσβάλλουν το σκυρόδεμα
- DIN 4225 Πρόχυτα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα
- DIN 4226 Αδρανή για σκυρόδεμα
- DIN 4227 Προεντεταμένο σκυρόδεμα
- DIN 18551 Εκτοξευμένο σκυρόδεμα-παραγωγή και επιθεώρηση
- DIN 488 χάλυβας οπλισμού σκυροδέματος
- DIN 1880 χαλύβδινες κατασκευές υπολογισμός – κατασκευή
- DIN 4099 Συγκόλιση οπλισμού σκυροδέματος
- DIN 1055 Φορτίσεις εδαφών και φορτία εδαφικών ωθήσεων
- DIN 1072 Οδογέφυρες και πεζογέφυρες , φορτία υπολογισμού(Στατική φόρτιση)
- DIN 18218 Ώθηση νωπού σκυροδέματος σε κατακόρυφα καλλούπια(τύπους)
- DIN 804 Διατάξεις σιγηροδρομικών γεφυρών και λοιπών τεχνικών έργων των Γερμανικών Σιδηροδρόμων
- DIN 1054 Υπέδαφος : Επιτρεπόμενη φόρτιση υπεδάφους (θεμελιώσεις)
- DIN 1055 Φορτία υπολογισμού για κτίρια , αποθηκευμένα υλικά και δομικά στοιχεία, νεκρά φορτία και γωνία εσωτερικής τριβής
- DIN 4014 Έγχυτοι πάσσαλοι συμβατικού τύπου - διαδικασία κατασκευής, σχεδιασμός και επιτρεπόμενα φορτία
- DIN 4014 Έγχυτοι πάσσαλοι συμβατικού τύπου - διαδικασία κατασκευής, σχεδιασμός και επιτρεπόμενα φορτία
- DIN 4014 Έγχυτοι πάσσαλοι μεγάλης διαμέτρου – διαδικασία κατασκευής , σχεδιασμός και επιτρεπόμενα φορτία
- DIN 4015 Εδαφομηχανική και μηχανική θεμελιώσεων
- DIN 4026 Εμπιγνύομενοι πάσσαλοι – διαδικασία κατασκευής, σχεδιασμός και επιτρεπόμενα φορτία
- DIN 4093 Μηχανική θεμελιώσεων, ενέσεις σε υπέδαφος και κατασκευές. Οδηγίες προγραμματισμού και εκτέλεσης
- DIN 4107 Υπέδαφος – παρακολούθηση υποχωρήσεων κατά και μετά τη διάρκεια κατασκευής τεχνικών έργων

- DIN 4123 Εξασφάλιση κτιρίων στην περιοχή εκσκαφών, θεμελιώσεων και υποστώσεων
- DIN 4124 Εκσκαφές και τάφροι - πρηνή, πλάτος χώρου εργασίας , αντιστήριξη
- DIN 4125 Αγκύρια εδάφους και βράχου –μόνιμα αγκύρια εδάφους – υπολογισμός, στατικός σχεδιασμός και δομικές
- DIN 4125 Αγκύρια εδάφους και βράχου –προσωρινά αγκύρια εδάφους – υπολογισμός σχεδιασμός και δομικές
- DIN 4128 Ενέσυμοι πάσσαλοι μικρής διαμέτρου (έγχυτοι και σύνθετοι)
- DIN 21521 -1, 2 Αγκυρώσεις εδάφους για κατασκευές μεταλλείων και σιηράγγων
- DIN 18195 Συγκόλληση μεμβράνων στεγανοποίησης
- DIN 18200 Δοκιμές υλικών στεγανοποίησης
- DIN 53370 Δοκιμές συνθετικών μεμβράνων
- DIN 1052 Ξύλινες κατασκευές
- DIN 4420 Ικριώματα εργασίας και προστασίας
- DIN 4421 Φέροντα ικριώματα

2.5 ΓΕΝΙΚΕΣ ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ

- Ο μελετητής πρέπει να αναγνωρίσει τις υπάρχουσες αβεβαιότητες και θα προσπαθήσει σε όλα τα στάδια και φάσεις της μελέτης να τα διαχειριστεί κατάλληλα.
- Ο μελετητής θα θεωρήσει το σύστημα σήραγγας ως ενιαίο σύνολο, δηλαδή θα λάβει υπόψη ότι η διαστασιολόγηση της άμεσης υποστήριξης και τελικής επένδυσης είναι στενά συνδεδεμένες με την μέθοδο εκσκαγής και τον χρόνο τοποθέτησής τους.
- Θα υιοθετούνται μέθοδοι που ελαχιστοποιούν τη διαταραχή και τις επιρροές στο γεωπεριβάλλον ενώ γενικά θα επιδιώκεται η ενεργοποίηση στο μέγιστο βαθμό της υποστηρικτικής ικανότητας και συνεισφοράς του γεωυλικού στην ευστάθεια του συστήματος.
- Η μελέτη θα περιλαμβάνει και θα αναπτύσει με επάρκεια τη μεθοδολογία υλοποίησής της , με ειδικότερη αναφορά στην επιλογή των μέτρων άμεσης υποστήριξης κατά την εκσκαφή της σήραγγας.
- Για τον σχεδιασμό χωροθέτησης και διάταξης των στομιών εισόδου και εξόδου των οδικών σιηράγγων θα λαμβάνονται υπόψη τα
 - Η οριζόντια και κατακόρυφη χάραξη της σήραγγας και της ανοικτής οδού.
 - Το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής.
 - Οι ιδιότητες των γεωυλικών που δομούν τις περιοχές των στομιών.

- Η ευστάθεια των πρανών πριν και μετά την κατασκευή των στομιών.
 - Οι υδραυλικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή.
 - Οι απαιτήσεις των περιβαλλοντικών μελετών και όρων.
 - Παράγοντες διαμόρφωσης τοπίου και ανάδειξης αρχιτεκτονικών ή φυσικών χαρακτηριστικών.
 - Απαιτήσεις της μελέτης του υπόγειου ανοίγματος για την ύπαρξη ενός ελάχιστου πάχους υπερκείμενων από την οροφή της σήραγγας.
 - Λειτουργικές και κυκλοφοριακές απαιτήσεις διασύνδεσης της ανοιχτής οδού με τη σήραγγα.
 - Οι κλιματολογικές και περιβαντολογικές συνθήκες της περιοχής.
 - Η δυνατότητα απόληψης θετικής συνεισφοράς στο σύστημα αερισμού από το φυσικό ελκυσμό.
- Ο μελετητής θα εξετάζει όλα τα θέματα που σχετίζονται με το πρόγραμμα υλοποίησης του έργου που υιοθετείται από τον εργοδότη. Αυτό το θέμα θα εξετάζεται ιδιαίτερα όταν ο δεύτερος κλάδος μιας δίδυμης σήραγγας πρόκειται να κατασκευαστεί σε μεταγενέστερο χρόνο. Σε τέτοιες περιπτώσεις θα ληφθούν υπόψη οι επιπτώσεις της σταδιακής κατασκευής συμπεριλαμβάνοντας ενδεικτικά τα εξής:στόμια, εκσκαφές, εξωτερική αποστράγγιση, υπόγειες υδραυλικές συνθήκες και σύστημα αποστράγγισης σήραγγας, διάδρομη προσπέλασης προσωπικού, διασυνδέσεις οδοστρωμάτων για οχήματα, σχεδιασμός συστήματος αερισμού τόσο για την «προσωρινή» όσο και για μόνιμη κατάσταση και διάταξη.
 - Διατομή εκσκαφής σήραγγας:
Το εσωράχιο της τελικής επένδυσης θα σχεδιάζεται έτσι ώστε να συμπεριλαμβάνει και να ενσωματώνει την τυπική διατομή χρήσης, η οποία περιλαμβάνει τον ελεύθερο εμποδίων χώρο και τον χώρο τοποθέτησης Η/Μ εγκαταστάσεων και σήμανσης.η μελέτη θα εξασφαλίζει ότι η τελική επένδυση και όλες οι εγκαταστάσεις του Η/Μ εξοπλισμού και σήμανσης δεν τέμνονται οι εμπλέκονται με το προτινόμενο περιτύπωμα κυκλοφορίας υπο οιοδήποτε αναμενόμενο παραμορφωσιακό καθεστώς, τις προδιαγραφόμενες κατασκευαστικές ανοχές των επι μέρους στοιχείων της κατασκευής καθώς και τις ειδικές απαιτήσεις του εργοδότη. Για τον προσδιορισμό της διατομής εκσκαφής πέρα από το εσωράχιο της τελικής επένδυσης προστίθενται το πάχος αυτής, οι αναμενόμενες συγκλίσεις, άλλες μετατοπίσεις (π.χ. καθιζήσεις), οι κατασκευαστικές ανοχές σαφώς προσδιοριζόμενες από τις τεχνικές κατασκευής και στατικώς απαιτούμενο πάχος των στοιχείων της άμεσης υποστήριξης. Η γραμμή που προκύπτει από την πρόθεση των ανωτέρω μεγεθών ονομάζεται γραμμή Α(γραμμή της ελάχιστης δυνατής εκσκαφής). Στη μελέτη θα καθορίζεται και η απόσταση μεταξύ της ελάχιστης γραμμής εκσκαφής Α και μιας γραμμής Β που καλείται γραμμή πληρωμής με βάση: 1) το προκύπτον από την διαμορφωθείσα κατασκευαστική διαδικασία βήμα εκσκαφής, 2) την μέθοδο εκσκαφής 3) τον εξοπλισμό που απαιτείται για

την εκσκαφή και διάνοιξη σήραγγας, 4) το επιθυμητό και επιδιωκόμενο ποιοτικό επίπεδο της εργασίας εκσκαφής της σήραγγας, 5) τις επικρατούσες γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες. Το σχήμα της διατομής της σήραγγας να επιλέγεται έτσι ώστε να ικανοποιεί τις παρακάτω γενικές αρχές:

- Να ενεργοποιεί και εκμεταλλεύεται την αυτοϋποστηρικτική ικανότητα του γεωυλικού.
 - Να εξασφαλίζει την ασφαλή θεμελίωση και λειτουργία τόσο της άμεσης υποστήριξης όσο και της τελικής επένδυσης.
 - Να αποφεύγεται η ενσωμάτωση απολύτως ευθύγραμμων τμημάτων και οξειών γωνιών.
 - Να διατηρείται στο απολύτως ελάχιστο όρια το συνολικό εμβαδόν της διατομής.
-
- Θεώρηση σεισμικών δράσεων.
Η μελέτη θα αναγνωρίσει την αναγκαιότητα εκτέλεσης ελέγχου των αποτελεσμάτων των αναμενόμενων σεισμικών δράσεων. Προς τούτο θα χρησιμοποιηθεί κατ' αρχάς η υφιστάμενη διεθνής εμπειρία και οι παρακάτω παρατηρήσεις που έχουν γίνει για την επιτελεσματικότητα των σηράγγων σε σεισμική δράση.
 - Οι υπόγειες κατασκευές παρουσιάζουν σημαντικά μικρότερη τρωτότητα από τις επιφανειακές κατασκευές.
 - Οι παρατηρηθείσες ζημιές μειώνονται με την αύξηση του βάθους των υπερκείμενων γεωυλικών.
 - Οι υπόγειες κατασκευές που διανοιχθήκαν σε εδαφικά υλικά παρουσίασαν περισσότερες ζημιές σε σχέση με αντίστοιχες κατασκευές σε υγίες βραχομάζες.
 - Οι σήραγγες με τελική επένδυση σε βραχομάζες είναι ασφαλέστερες από αντίστοιχες ανεπένδυτες.
 - Η κατασκευαστική εξασφάλιση ικανοποιητικής επαφής μεταξύ γεωυλικού και στοιχείων άμεσης υποστήριξης και τελικής επένδυσης μειώνει την παρουσία ζημιών.
 - Οι παρατηρηθείσες ζημιές φαίνονται να συσχετίζονται με τη μέγιστη επιτάχυνση και ταχύτητα δόνησης του γεωυλικού και τη διάρκεια της σεισμικής δόνησης.
 - Οι κινήσεις υψηλής συχνότητας μπορεί να προκαλέσουν αποφλοίωση του σκυροδέματος ή της βραχομάζας κατά μήκος επιπέδων μειωμένων μηχανικών χαρακτηριστικών. Επειδή τέτοιες συχνότητες κατά κανόνα εξασθενούν με την απόσταση, αντίστοιχες ζημιές αναμένονται σε μικρές αποστάσεις από το γενεσιουργό ρήγμα.

- Η δόνηση του γεωυλικού μπορεί να ενισχυθεί στην περιοχή της σήραγγας όταν το μήκος κύματος είναι μεταξύ μιας και τεσσάρων διαμέτρων αυτής.

- Οι ζημιές στα στόμια μπορεί να είναι σημαντικές κυρίως λόγω αστάθειας του πρανούς. Τα αποτελέσματα των σεισμικών δράσεων στις σήραγγες θα ομαδοποιούνται σε δύο κατηγορίες.
 - Δονήσεις του γεωυλικού, δηλαδή παραμορφώσεις που προκαλούνται από την διάδοση των σεισμικών κυμάτων στο γήινο φλοιό. Οι κύριοι παράγοντες που επιρεάζουν το μέγεθος των ζημιών από τις δονήσεις είναι: το σχήμα, οι διαστάσεις και το βάθος της σήραγγας, οι ιδιότητες του γεωυλικού, οι ιδιότητες της κατασκευής και τα χαρακτηριστικά της δόνησης.

 - Αστοχία του γεωυλικού, π.χ. πειστοποίηση, μετατοπίσεις ρηγμάτων, αστάθεια πρανών.

Για τις περισσότερες σήραγγες η αδράνεια του περιβάλλοντος γεωυλικού είναι μεγάλη συγκρινόμενη με αυτή της επένδυσής τους. Γι' αυτό η απόκριση της σήραγγας εξαρτάται κυρίως από την απόκρουση του πρώτου και όχι από την αδράνεια της επένδυσης. Ο σχεδιασμός επομένως έναντι σεισμικής καταπόνησης εστιάζεται στην παραμόρφωση ελεύθερου πεδίου του περιβάλλοντος γεωυλικού και στην αλληλεπίδρασή του με το φορέα της σήραγγας. Γενικά, εφόσον η σήραγγα δύναται να αναλάβει τις παραμορφώσεις του ελεύθερου πεδίου ελαστικά, δεν απαιτούνται περαιτέρω μέτρα για την αντιμετώπιση της δόνησης του σεισμού. Αυτή η μέθοδος ελέγχου της συμπεριφοράς της σήραγγας βάσει της παραμόρφωσης του ελεύθερου πεδίου αποτελεί εύχριστο και αποτελεσματικό εργαλείο όταν η σήραγγα είναι εύκαμπτη και οι παρακαλούμενες εντάσεις στην επένδυση λόγω σεισμού είναι μικρές. Σε αντίθετη περίπτωση θα πρέπει να αρθούν κάποιες από τις απλοποιήσεις προκειμένου να προσεγγισθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η πραγματική ένταση της σήραγγας. Συνηθέστερα, αίρεται η απλοποίηση της τελείως εύκαμπτης σήραγγας, και υπολογίζεται η αλληλεπίδραση περιβάλλοντος γεωυλικού και κατασκευής. Η σχετική ευκαμψία της σήραγγας ως προς το περιβάλλον πέτρωμα εκφράζεται από τους λόγους συμπίεστότητας C και ιδίως ευκαμψίας F που δίνονται από τις σχέσεις:

$$C = [E_m (1 - \nu_l^2) R] / E_{lt} (1 + \nu_m) (1 - 2 \nu_m) \quad \text{σε αξονική καταπόνηση}$$

$$F = E_m (1 - \nu_l^2) R^3 / 6 E_l (1 + \nu_m) \quad \text{σε καμπτική καταπόνηση}$$

Όπου : E_m = μέτρο παραμορφωσιμότητας του γεωυλικού, I = ροπή αδράνειας της επένδυσης της κυκλικής σήραγγας με μοναδιαίο πλάτος,

R = ακτίνα της επένδυσης, ν_l = λόγος Poisson του υλικού της επένδυσης και ν_m = ο λόγος Poisson του γεωυλικού.

Σπανιότερα αίρεται και η παραδοχή της πλήρους επαφής σηράγγων και περιβάλλοντος γεωυλικού, με την παραδοχή ολίσθησης στην επιφάνεια της μεμβράνης στεγάνωσης ή επένδυσης – γεωυλικού. Σε αυτή την περίπτωση, η οριακή αντίσταση τριβής καθίσταται μία από τις βασικές παραμέτρους σχεδιασμού, και υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις ιδιότητες του γεωυλικού, όσο και τον τρόπο κατασκευής της σήραγγας.

Οι συνηθέστεροι τύποι παραμορφώσεων – μετατοπίσεων που αντιστοιχούν στην απόκριση της σήραγγας σε σεισμική δράση και για τις οποίες κατ' ελάχιστον θα γίνεται θεώρηση, αν αναγνωρισθεί η αναγκαιότητα εκτέλεσης αναλύσεων είναι :

- Αξονικός εφελκυσμός – θλίψη. Από τις συνιστώσες των σεισμικών κυμάτων προκαλούνται κινήσεις παράλληλες προς τον άξονα της σήραγγας με αποτέλεσμα εναλλασσόμενη θλίψη και εφελκυσμό.
- Διαμήκης κάμψη που προξενείται από τις συνιστώσες των σεισμικών κυμάτων που επιφέρουν κινήσεις κάθετες στον διαμήκη άξονα της σήραγγας.
- Παραμόρφωση (στρέβλωση) του σχήματος της διατομής της σήραγγας που παρατηρείται όταν διατμητικά κύματα διαδίδονται σχεδόν κάθετα στον άξονα.

Η μελετητική προσέγγιση του προβλήματος των επιδράσεων των σεισμικών δράσεων στις σήραγγες θα περιλαμβάνει τρία κύρια βήματα :

- Καθορισμός του σεισμικού περιβάλλοντος και απόληψη των σεισμικών παραμέτρων και χαρακτηριστικών που απαιτούνται για τις αναλύσεις. Αυτά θα πραγματοποιούνται κατά το στάδιο της προκαταρκτικής μελέτης.
- Εκτίμηση της απόκλισης του γεωυλικού στην σεισμική δράση με θεώρηση αστοχίας και παραμορφώσεων του. Αυτή θα πραγματοποιείται κατά την προκαταρκτική μελέτη και θα περιλαμβάνεται σε ειδικό κεφάλαιο της σχετικής τεχνικής έκθεσης.
- Εκτίμηση της συμπεριφοράς της σήραγγας υπό τις συνθήκες της σεισμικής δράσης. Αυτή θα πραγματοποιείται στο στάδιο της οριστικής μελέτης και θα περιλαμβάνεται σε ειδικό κεφάλαιο της τεχνικής έκθεσης.

Η μελέτη στις αντίστοιχες εκθέσεις εκτίμησης έργου, θα δώσει πλήρη περιγραφή των μεθόδων τις οποίες θα χρησιμοποιήσει για να διαπραγματευθεί και προσεγγίσει τα ανωτέρω θέματα ενσωματώνοντας τις πλέον εξελιγμένες και διεθνώς αποδεκτές.

- Ο σχεδιασμός αντιμετώπισης της δράσης του σεισμού πραγματοποιείται σε ένα οι δύο επίπεδα. Το επίπεδο 1 αφορά μέγιστες δράσεις με μικρή πιθανότητα υπερβασής. Ο έλεγχος του επιπέδου αυτού πραγματοποιείται μόνον εφόσον το ζητήσει ο κύριος του έργου. Το επίπεδο 2 αφορά δράσεις μικρότερης έντασης και μεγαλύτερης πιθανότητας υπέρβασής. Η συμπεριφορά της σήραγγας και το μέγεθος της δράσης κάθε επιπέδου έχουν ως εξής.

Επίπεδο 1. Σημαντικές βλάβες μπορεί να συμβούν. Μερικά από τα στόμια των σηράγγων μπορεί να εμφραχθούν, αλλά δίοδοι διαφυγής θα είναι διαθέσιμες λόγω του σχεδιασμού πολλαπλών εξόδων. Η πιθανότητα κατάρρευσης τμήματος της τελικής επένδυσης της σήραγγας πρέπει να είναι επαρκώς μικρή και να συνδυάζεται με διατήρηση της ακεραιότητας και επαρκούς παραμένουσας μετά τη λήξη της σεισμικής ακολουθίας. Οι βλαφθείσες κατασκευές θα είναι περιορισμένες και επιδιορθώσιμες, και ο αυτοκινητόδρομος θα μπορεί να διατεθεί σε λειτουργία σε λίγους μήνες, ο μελετητής θα προτείνει και ο εργοδότης θα αποφασίζει για τα χαρακτηριστικά του σεισμού. Ενδεικτικά προτείνεται πιθανότητα υπέρβασής 5% στα 100 έτη που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς για περίπου 2000 έτη.

Επίπεδο 2. Μικρές βλάβες μπορεί να συμβούν για τις κυρίως σήραγγες, τα στόμια και τις λοιπές υπόγειες κατασκευές. Οι βλάβες θα είναι δυνατόν να επισκευαστούν σε μερικές ημέρες. Ο αυτοκινητόδρομος μπορεί να χρειασθεί να κλείσει για αυτές τις επισκευές. Ο μελετητής θα προτείνει και ο εργοδότης θα αποφασίζει για τα χαρακτηριστικά του σεισμού σχεδιασμού. Ενδεικτικά προτείνεται πιθανότητα υπέρβασής 10% στα 50 έτη που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς για περίπου 500 έτη.σε ορισμένες περιπτώσεις μετά από απαίτηση του κύριου έργου, είναι δυνατό να εκτελείται ένας μόνο έλεγχος για μέγιστο σεισμό επιπέδου 1 με απαίτηση συμπεριφοράς επιπέδου 2.

Τα χαρακτηριστικά του σεισμού σχεδιασμού κάθε επιπέδου δίνονται να λαμβάνονται με κατάλληλη κρίση από τον ΕΑΚ 2000 ή από ειδικά συνταγμένη μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας.

- Γενικές οδηγίες για την αποχέτευση – αποστράγγιση.
Η μελέτη θα εξετάσει την αποχέτευση και τα λοιπά υδραυλικά θέματα της σήραγγας και των στομών και θα προτείνει έργα (οχετούς, αγωγούς, τάφρους) ή θα ενσωματώσει την λειτουργία έργων που προτάθηκαν από την αντίστοιχη υδραυλική μελέτη αποχέτευσης της οδού :
Θα λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα

- Να εξετάζονται τα ρέματα που περνούν μπροστά από τα στόμια των σηράγγων και των οποίων η ροή πρέπει ή να εκτραπεί ή να διευθετηθεί ή εγκιβωτιστεί σε οχετό. Τα ρέματα αυτά πιθανό να είναι αποδέκτες της απορροής της ευρύτερης περιοχής της κάθε

σήραγγας ή της απορροής από το εσωτερικό της και συνεπώς συνίσταται η διερεύνηση των συνθηκών ροής τους αλλά και των περιβαλλοντικών θεμάτων που σχετίζονται με την προστασία τους. Για το θέμα αυτό θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι υπάρχουσες υδραυλικές μελέτες.

- Να διευρύνονται με επιτόπου επίσκεψη τα ρέματα που διέρχονται από την ευρύτερη περιοχή εισόδου/εξόδου των σηράγγων, καθώς επίσης και από την περιοχή του ορεινού όγκου πάνω από τη σήραγγα ώστε να εκτιμηθεί ο κίνδυνος πιθανών εισροών υπογείων νερών στο εσωτερικό της σήραγγας μέσω της διήθησης. Θα πρέπει να προληφθεί επίσης η διήθηση από τους τάφρους προς το εσωτερικό των σηράγγων.
- Οτι τα προτεινόμενα έργα των ρεμάτων καθώς επίσης και τάφροι ή οχετοι ή άλλα έργα σύνδεσης μπορεί να επιδράσουν σοβαρά στον σχεδιασμό της περιοχής των στομιών. Δεν πρέπει να αποκόπτεται οριστικά η συνέχεια της ροής ρεμάτων ένεκα της κατασκευής των σηράγγων και η γεωμετρία των φυσικών υδατορευμάτων δεν πρέπει να αλλάξει κατ' ουδέν τρόπο. Συνεπώς θα πρέπει να εξασφαλίζεται:
 - Ότι οι διευθετήσεις συνδέονται κατάλληλα με αντιπλημμυρικά μέτρα.
 - Ότι οι συσχετιζόμενες με την κοίτη των υδατορευμάτων και των οχετών ανάντη και κατόντη των οδών πρόσβασης στις σήραγγες ή της περιοχής πάνω από τις σήραγγες έχουν πλήρως ενσωματωθεί στη μελέτη.
 - Ότι η ροή ή η χάραξη των υπάρχοντων ρεμάτων θα διατηρηθεί όπου είναι δυνατό. Αυτό υπονοεί την ανάγκη να μη μεταβληθεί η ταχύτητα της ροής, στην φυσική κοίτη ανάντη, μέσω του διευθετημένου τμήματος και προς τα κατόντη με σκοπό να προληφθούν αποθέσεις ή διαβρώσεις.
- Να προβλέπονται έργα για την αναχαίτηση της επιφανειακής απορροής από τον περιβάλλοντα χώρο κατά τη διάρκεια της κατασκευής και κατά τη διάρκεια της λειτουργίας των σηράγγων. Αυτό πιθανό απιατεί εργασίες διευθέτησης και μέτρα προστασίας από τη διάβρωση. Επίσης θα πρέπει ο μελετητής να αναπτύξει τη μελέτη αποχέτευσης και αποστράγγισης της περιοχής πάνω από τμήματα εκσκαφής και επανεπίχωσης των σηράγγων σε συμφωνία με την υπηρεσία. Δεν πρέπει να αποκόπτεται οριστικά η συνέχεια της ροής ρεμάτων ένεκα της κατασκευής των σηράγγων και των στομιών τους. Πρέπει επίσης να εξασφαλίζονται να μην εισέρχονται στην γύρω περιοχή των στομιών.
- Να μελετώνται όλα τα απαραίτητα έργα τάφρων, ρειθρών κλπ στην περιοχή των στομιών για :

- Προστασία από τη διάβρωση των πρανών, ιδιαίτερα από συγκεντρωμένες ροές υδατορευμάτων.
 - Την πρόληψη της πιθανής πλημμύρας της σήραγγας από εξωτερικές ροές και την πλημμύρα από τις εσωτερικές ροές υδατορευμάτων.
 - Την πρόληψη της πιθανής πλημμύρας της σήραγγας από εξωτερικές ροές και την πλημμύρα από εσωτερικές ροές της σήραγγας.
 - Την αναχαίτηση της υπόγειας ροής και της διήθησης ειδικά στην περιοχή των επιχωμάτων και των πρανών.
- Να εξετάζονται τα υπάρχοντα ή μελετηθέντα αποχετευτικά έργα της οδού στην περιοχή των εισόδων/εξόδων ώστε να χρησιμοποιηθούν ορθώς σαν αποδέκτες. Τα αποχετευτικά έργα της κάθε σήραγγας κατά περίπτωση θα πρέπει να διαταχθούν έτσι ώστε να είναι συμβατά με τα αποχετευτικά συστήματα της οδού.
 - Θα εφαρμοστούν υπάρχουσες υδρολογικές σχέσεις που θα δοθούν στον εργοδότη.

2.6 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ

Η μελέτη θα καθορίζει λεπτομερειακά το πρόγραμμα ενόργανης παρακολούθησης, τόσο για την διάρκεια κατασκευής όσο και λειτουργίας του έργου. Τα θέματα που η μελέτη πρέπει να διερευνήσει και καθορίσει είναι τα εξής :

- Καθορισμό του σκοπού για τον οποίο σχεδιάζεται το πρόγραμμα ενόργανης παρακολούθησης και ερωτήματα στα οποία καλείται να δώσει απαντήσεις. Κάθε επιμέρους τμήμα του συστήματος ενόργανης παρακολούθησης πρέπει να επιλέγεται και να τοποθετείται ώστε να παράσχει στοιχεία που θα βοηθήσουν την απάντηση ενός συγκεκριμένου ερωτήματος. Έτσι πριν την επιλογή του συστήματος θα πρέπει να προετοιμάζεται ένας κατάλογος θεμάτων και ερωτημάτων που είναι πιθανόν να αντιμετωπιστούν κατά την κατασκευή ή και λειτουργία της σήραγγας.
- Επιλογή των μεγεθών που πρέπει να παρακολουθούνται. Τέτοια μεγεθών που απαιτούν κατά περίπτωση παρακολούθηση είναι :
 - Συγκλίσεις
 - Ανύψωση πυθμένα και καθίζηση οροφής
 - Χωρικές μετατοπίσεις του γεωυλικού
 - Φορτία αγκυρίων και πλαισίων
 - Εξωτερικές πιέσεις και τάσεις στις από εκτοξευμένο σκυρόδεμα επενδύσεις
 - Παραμορφώσεις πλαισίων

- Πίεση νερού στο περιβάλλον τη σήραγγα γεωυλικό ή και την ευρύτερη περιοχή
 - Πίεση νερού που δρά πάνω στην επένδυση
 - Επιφανειακές καθιζήσεις
 - Κατακόρυφες και οριζόντιες μετατοπίσεις του γεωυλικού από την επιφάνεια μέχρι την σήραγγα.
 - Κατακόρυφες και οριζόντιες μετατοπίσεις υπερκείμενων ή παρακείμενων κατασκευών
 - Μέτρηση των δονήσεων από την κατασκευαστική διαδικασία
- Καθορισμός της λειτουργίας των οργάνων και της απαιτούμενης ευαισθησίας και ακρίβειας με βάση την όλη εικόνα των αποτελεσμάτων των αριθμητικών μεθόδων. Συνήθως μια εκτίμηση της αναμενόμενης μέγιστης πιθανής τιμής ή της μέγιστης τιμής ενδιαφέροντος καθορίζει το απαιτούμενο εύρος λειτουργίας του οργάνου ενώ η ελάχιστη τιμή ενδιαφέροντος την ακρίβεια και ευαισθησία του.
 - Επιλογή θέσεων τοποθέτησης οργάνων παρακολούθησης. Η μελέτη θα καθορίζει τις θέσεις τοποθέτησης των οργάνων, βασιζόμενη κυρίως στην αναμενόμενη συμπεριφορά του συστήματος από τα αποτελέσματα των αριθμητικών μεθόδων. Παράλληλα θα καθορίζεται και ο χρόνος λήψεως των μετρήσεων.
 - Επισήμανση των παραγόντων που ενδέχεται να επιρεάζουν τις μετρήσεις και σύνταξη καταλόγου των απαιτούμενων προς τήρηση στοιχείων.
 - Διαδικασίες συλλογής και διαχείρισης μετρήσεων. Στην μελέτη θα δίνονται προτάσεις για διαδικασίες και χρόνους συλλογής, καταγραφής, επεξεργασίας, παρουσίασης των μετρήσεων.
 - Καθορισμός επιπέδων προειδοποίησης και συναγερμού. Συνιστάται η υιοθέτηση της έννοιας πράσινου, κίτρινου και κόκκινου επιπέδου για την σχηματική και εύχρηστη διαχείριση των μετρήσεων επί τόπου.
 - Καθορισμός σενάριων δράσης σε σχέση με τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Η μελέτη θα καθορίζει με σαφήνεια τις δράσεις που θα πρέπει να αναλαμβάνονται από το επί τόπου προσωπικό σε σχέση με τις απολαμβανόμενες μετρήσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ.

Οι αναγκαίες γεωλογικές και γεωτεχνικές μελέτες και έρευνες στα πλαίσια της εκπόνησης μελέτης σήραγγας, κατανεμημένες στα διάφορα στάδια εκπόνησης της μελέτης οδοποιίας, είναι οι εξής:

Στο στάδιο της αναγνωριστικής μελέτης οδοποιίας όταν στις προτεινόμενες εναλλακτικές χαράξεις περιλαμβάνεται και σήραγγα, εκπονούνται γεωλογικές και γεωτεχνικές έρευνες και μελέτες στην περιοχή της σήραγγας. Στόχος της γεωλογικής και γεωτεχνικής διερεύνησης είναι να εξασφαλίσει την εφικτότητα των προτεινόμενων εναλλακτικών χαράξεων με ταυτόχρονη τεκμηρίωση της βέλτιστης τεχνικοοικονομικής λύσης εντοπίζοντας παράλληλα τους πιθανούς κινδύνους.

Οι γεωλογικές και γεωτεχνικές έρευνες και μελέτες θα περιλαμβάνουν εξής

3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- Συγκέντρωση και αξιολόγηση όλων των υφιστάμενων στοιχείων, Ερμηνεία αεροφωτογραφιών.
- Εκπόνηση διεξοδικής γεωλογικής αναγνώρισης στην ευρύτερη περιοχή της σήραγγας
- Γεωλογική χαρτογράφηση και σύνταξη γεωλογικού χάρτη σε κλίμακα 1/5000 το συνολικό εύρος εξαρτάται από την μορφολογία του ανάγλυφου (πεδινή η ορεινή περιοχή και εκτείνεται από 1χλμ περίπου σε πεδινά τμήματα, ενώ σε περιοχές με έντονο μορφολογικό ανάγλυφο μπορεί να είναι μεγαλύτερο μετά από αιτιολογημένη πρόταση του μελετητή και έγκριση του εργοδότη. Η χαρτογράφηση θα εκτείνεται σε μήκος 500 μέτρων από πιθανολογούμενα στόμια.
- Σύνταξη γεωλογικών μηκοτομών στην κλίμακα της γεωλογικής χαρτογράφησης.
- Σύνταξη γεωλογικών εγκάρσιων τομών στην κλίμακα της γεωλογικής χαρτογράφησης, σε χαρακτηριστικές θέσεις τεχνικού και γεωλογικού ενδιαφέροντος και στις θέσεις των γεωτρήσεων (προηγούμενων η αυτών της παρούσας φάσης μελέτης).
- Χάρτης τεχνικής γεωμορφολογίας και προβληματικών περιοχών που καλύπτει όλη την παραπάνω έκταση της γεωλογικής χαρτογράφησης και στην ίδια κλίμακα.
- Απογραφή όλων των σημείων εμφάνισης υπόγειου νερού και μετρήσεις στάθμης ή παροχών και καταγραφή σε ειδικά δελτία.
- Καταγραφή σε ειδικά απογραφικά δελτία των υφιστάμενων πρηνών στην ευρύτερη περιοχή της χάραξης με στόχο την διερεύνηση των συνθηκών της ευστάθειας τους. Τα στοιχεία καταγραφής αποτελούν τη βάση για γεωτεχνική αξιολόγηση και γεωτεχνικούς ευστάθειας πρηνών.
- Τεχνική περιγραφή ασυνεχειών και καταγραφή σε ειδικά απογραφικά δελτία. Σύνταξη τεκτονικών διαγραμμάτων σε αντιπροσωπευτικές θέσεις.

- Τεχνική περιγραφή γεωλοϋλικών και καταγραφή σε ειδικά απογραφικά δελτία.
- Τεχνική γεωλογική έκθεση στην οποία θα περιλαμβάνεται και κατάλογος αναμενόμενων κινδύνων

3.2 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- Εκτέλεση περιορισμένου προγράμματος γεωερευνητικών εργασιών που θα παρέχει τα αναγκαία στοιχεία και πληροφορίες στα πλαίσια κυρίως της γεωλογικής μελέτης.
- Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων αυτού του περιορισμένου ερευνητικού προγράμματος σε συνδυασμό και με την γεωλογική διερεύνηση και πρόταση για το αντίστοιχο πρόγραμμα του σταδίου της προκαταρκτικής μελέτης σήραγγας.
- Γεωλογικά και γεωτεχνικά στοιχεία στα πλαίσια εκπόνησης της προκαταρκτικής μελέτης σήραγγας.

3.3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Στόχος της γεωλογικής μελέτης είναι η συγκέντρωση, καταγραφή, ανάλυση και σύνθεση όλων των στοιχείων που είναι απαραίτητα για την δόμηση του γεωϋλικού προσομοιώματος της περιοχής διέλευσης της σήραγγας, με την επιστημονικά και οικονομικά επιτυχή προσομοίωση των επικρατούσων γεωλογικών συνθηκών. Τα γεωλογικά στοιχεία που απαιτούνται στην προκαταρκτική μελέτη της σήραγγας, η οποία συντάσσεται από τον γεωλόγο μελετητή της ομάδας μελέτης, είναι:

- Συγκέντρωση αξιολόγηση όλων των υφισταμένων στοιχείων.
- Γεωλογική χαρτογράφηση της ευρύτερης περιοχής διέλευσης της σήραγγας σε κλίμακα 1/2000 ή μεγαλύτερη. Στις περιοχές στομίων του υπογείου έργου η χαρτογράφηση γίνεται σε κλίμακα 1/500 ή μεγαλύτερη. Το εύρος της χαρτογράφησης δεν πρέπει να είναι μικρότερο των 500 μέτρων εκατέρωθεν του άξονα, ενώ θα εκτείνεται και κατά 500 μέτρα τουλάχιστον από τις θέσεις των στομίων. Ως τοπογραφικό υπόβαθρο για την διενέργεια της γεωλογικής χαρτογράφησης εκτός περιοχής στομίων είναι δυνατή η αναπαραγωγή των σχετικών διαγραμμάτων από τα ψηφιακά διατιθέμενα της κλίμακας 1/5000.
- Γεωλογική μηκοτομή στην ίδια κλίμακα. Πραμόρφωση υψών θα γίνεται αποδεκτή μόνο μετά από αιτιολογημένη πρόταση του μελετητή και αποδοχή του εργοδότη.
- Εγκάρσιες γεωλογικές τομές και διατομές στις θέσεις των στομίων και σε επιλεγμένες θέσεις οπωσδήποτε δε στις θέσεις των γεωτρήσεων σε κατάλληλη κλίμακα.

Τεχνική περιγραφή ασυνεχειών και σύνταξη σχετικών τεκτονικών διαγραμμάτων. Μικροτεκτονικές αναλύσεις και δυναμικές αστοχίες

3.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕ ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ.

Η θεωρητική προσέγγιση της συμπεριφοράς ενός υπόγειου ανοίγματος σε ένα τόσο σύνθετης δομής φυσικό υλικό όπως είναι ο βράχος είναι δύσκολη. Η ανισοτροπική δομή του υποδηλώνει ότι θα έχουμε σημαντικές αποκλίσεις του δευτερογενούς τασικού πεδίου από τα θεωρητικά μοντέλα που αποσκοπούν στην προσεγγισή του. Τα διαθέσιμα υπολογιστικά μοντέλα –ακόμη και τα πιο «ολοκληρωμένα»- στηρίζονται σε απλοποιήσεις και δεν είναι σε θέση να λάβουν υπόψη τους όλο το πλήθος των αλληλεπιδράσεων που υπάρχουν. Αποκλίσεις μεταξύ της θεωρητικής και της πραγματικής συμπεριφοράς –μεγάλες πολλές φορές –είναι λοιπόν αναμενόμενες και συχνές και δεν είναι λίγοι οι κατασκευαστές που βλέπουν με δισταγμό τις θεωρητικές μεθόδους.

Είναι βέβαιο ότι θα κατασκευάσουμε ένα υπόγειο έργο πολύ πιο εύκολα, αν στον ίδιο βράχο και στο ίδιο καθεστώς τάσεων έχουμε ήδη κατασκευάσει ένα ανάλογο έργο. Θα είμαστε σε θέση να σχεδιάσουμε οικονομικά και με ασφαλή τρόπο τα μέτρα υποστήριξης, να γνωρίζουμε τη χρονική διάρκεια στην οποία η υπόγεια εκσκαφή μπορεί να διατηρηθεί χωρίς υποστήριξη.

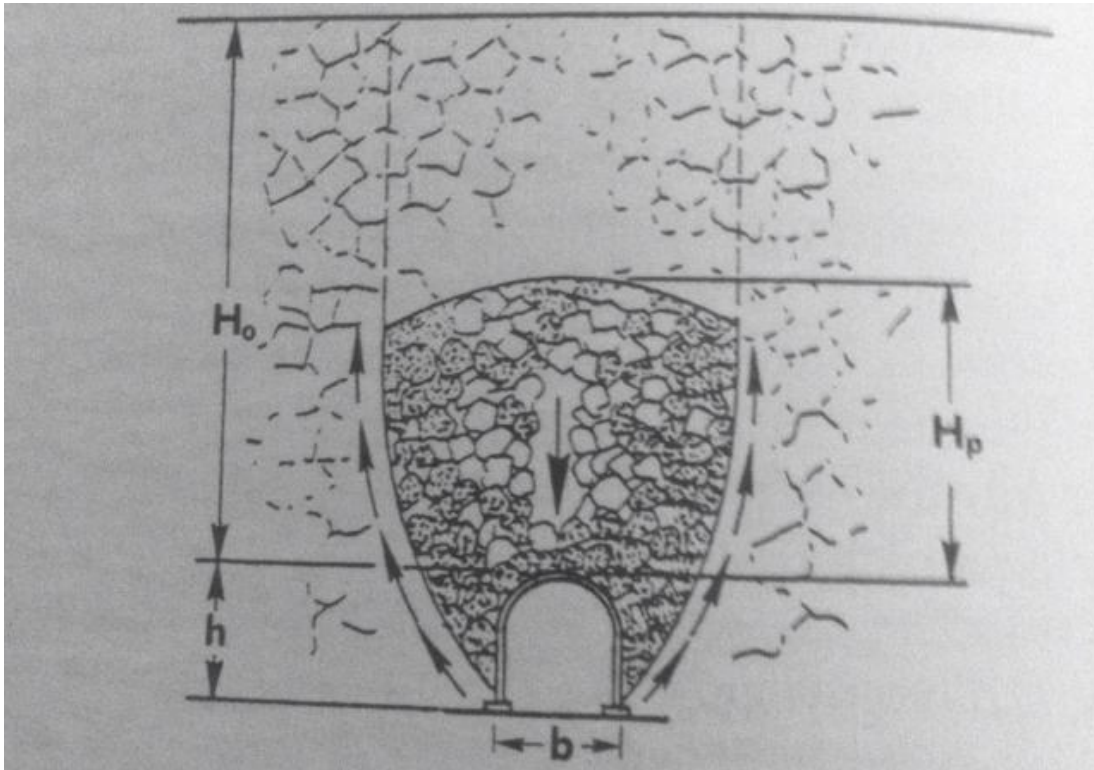
Η λογική αυτή οδήγησε στην ανάπτυξη των εμπειρικών μεθόδων. Με αυτές μεταφέρεται συγκεντρωθεί και αξιολογηθεί συστηματικά. Χαρακτηριστικό των μεθόδων αυτών είναι η ταξινόμηση σε κατηγορίες ενός ευρύτατου φάσματος ποιοτήτων βράχου και η αντιστοίχιση σε κάθε μία από τις κατηγορίες αυτές μέτρων υποστήριξης. Κατά τις ταξινομήσεις αυτές συνεκτιμούνται ο τρόπος διάνοιξης της εκσκαφής, η παρουσία υπόγειου νερού και το καθεστώς των τάσεων.

Η προσφορά αυτών των μεθόδων είναι πολύτιμη. Δεν πρέπει όμως οι εμπειρικές μέθοδοι να εφαρμόζονται ξεκομμένα από τις εωρτικές μεθόδους ή να υποβαθμίζουν τη σημασία τους, κάτι που συναντούμε συχνά να γίνεται από μηχανικούς που δεν έχουν την απαιτούμενη θεωρητική κατάρτιση. Ο κατασκευαστής υπόγειων έργων χρειάζεται θεωρητική γνώση ώστε να μπορεί αξιοποιεί σωστά τα εμπειρικά στοιχεία. Με αυτό το πρίσμα πρέπει να δούμε τις εμπειρικές μεθόδους που περιγράφονται στο κεφάλαιο αυτό.

3.4.1 Η ταξινόμηση του Terzaghi

Τα πρώτα εμπειρικά στοιχεία υπόγειων κατασκευών τα παρουσίασε ο Terzaghi, στο άρθρο του «rock defects and loads on tunnel supports» το οποίο δημοσιεύτηκε το 1946 είχε επισημάνει τη σχέση ανάμεσα στην «ποιότητα»(βαθμός κερματισμού, βαθμός αποσάθρωσης, σύστημα διακλάσεων) του βράχου και στο μέγεθος των φορτίων που θα ασκηθούν στην υποστήριξη ενός υπόγειου ανοίγματος. Υποδιαιρώντας ένα μεγάλο φάσμα «ποιοτήτων» σε ομάδες όρισε –για κάθε μία από αυτές –το μέγεθος των φορτίων που θα πρέπει να περιμένουμε ότι θα αναπτυχθούν στην υποστήριξη της οροφής μιας σήραγγας.

Η ταξινόμηση του Terzaghi παρουσιάζεται στο πίνακα 4-1. Περιλαμβάνει εννέα κατηγορίες βράχου και δύο κατηγορίες βράχου και δύο κατηγορίες εδαφικών σχηματισμών. Τα φορτία είναι συνάρτηση της ποιότητας του βράχου και των διαστάσεων b και h της σήραγγας και εκφράζονται με το ισοδύναμο ύψος H_p



Η κατακόρυφη γεωστατική τάση σ_v που θα φορτίσει την οροφή της υποστήριξης είναι ίση με $H_p \cdot \gamma_r$. Το ισοδύναμο ύψος, H_p συνεκτιμούνται οι αντιστάσεις του βράχου σε ολίσθηση οι οποίες αναπτύσσονται κατά την υποχώρηση της υποστήριξης οι οποίες μεώνουν το υπερκείμενο βάρος.

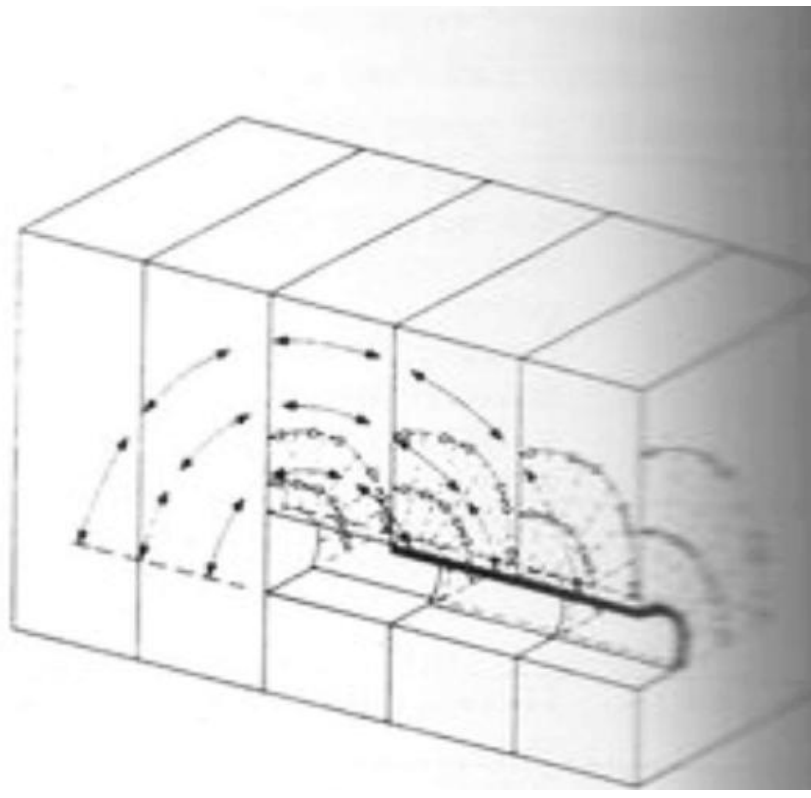
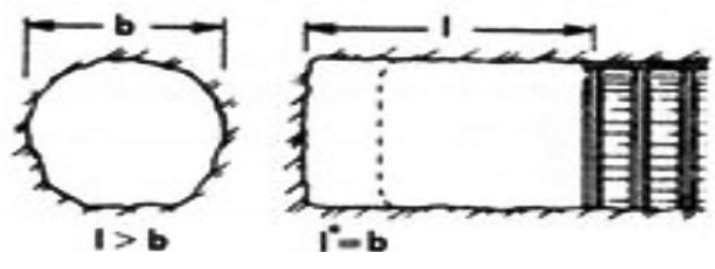
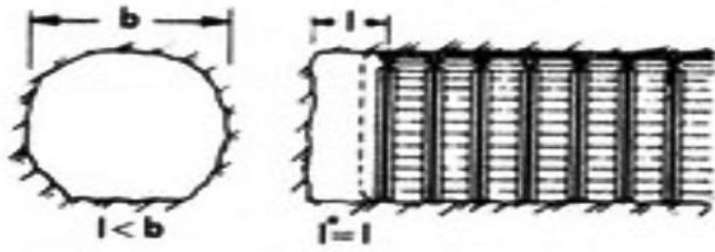
Ο πίνακας 4-1 ισχύει για υπόγειες σήραγγες οι οποίες κατασκευάζονται σε βάθη μεγαλύτερα από $1,5(b+h)$ και αναφέρεται σε εμπειρίες σιδηροδρομικών σιδηροδρόμων των Άλπεων οι οποίες υποστηρίχθηκαν με χαλύβδινα πλαίσια. Για κατασκευές με σύγχρονα μέτρα υποστήριξης (εκτοξευμένο σκυρόδεμα, αγκύρια) τα οποία εξασφαλίζουν σε όλη την περιφέρεια του εξωτερικού δακτύλιου καλή πρόσφυση σε βράχο.

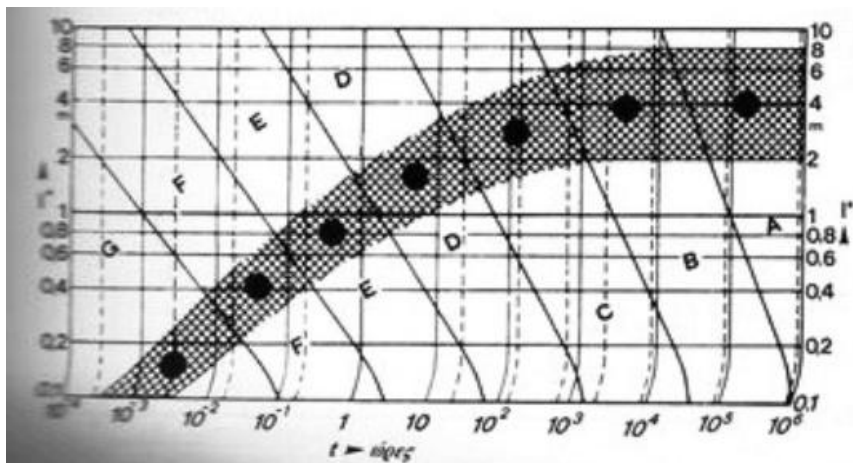
Κατηγορία	Ιδιότητες του βράχου	Ισοδύναμο ύψος H_p [m]	Παρατηρήσεις
1	Συμπαγής, υγιής	0	Ελαφριά επένδυση· αναγκαία μόνο όταν παρατηρούνται απολεπίσεις ή βίαιες εκτινάξεις θραυσμάτων (=πλήγματα οροφής, πλήγματα παρειών)
2	Συμπαγής, στρωσιγενής ή σχιστολιθικός	0 – 0,5b	Ελαφριά επένδυση. Οι γεωπιέσεις μεταβάλλονται ακανόνιστα από θέση σε θέση
3	Συμπαγής, μέτρια διακλασμένος	0 – 0,25b	
4	Μέτρια κατατιμημένος σε συμπαγείς όγκους (blocky and seamy)	0,25b-0,35(b+h)	Δεν παρατηρούνται πλευρικές πιέσεις
5	Ισχυρά κατατιμημένος σε συμπαγείς όγκους (very blocky and seamy)	(0,35-1,1)(b+h)	Μικρές ή καθόλου πιέσεις στις παρειές
6	Κερατισμένος χωρίς χημικές αλλοιώσεις	1,1(b+h)	Ισχυρές πλευρικές πιέσεις. Η μαλακτική επίδραση νερού που κατασταλάζει στο δάπεδο της σήραγγας κάνει απαραίτητη την επένδυση και του δαπέδου ή την κατασκευή επένδυσης κλειστής κυκλικής διατομής (προσωρινής και μόνιμης)
7	Βράχος που ασκεί πιέσεις (squeezing rock)· αβαθείς σήραγγες	(1,1 – 2,1)(b + h)	Ισχυρές πλευρικές πιέσεις. Απαραίτητη η κατασκευή ανεστραμμένου τόξου στον πυθμένα. Συνιστάται επένδυση κλειστής κυκλικής διατομής
8	Βράχος που ασκεί πιέσεις (squeezing rock)· σήραγγες σε μεγάλο βάθος	(2,1 – 4,5)(b + h)	
9	Διογκούμενος βράχος (swelling rock)	έως 80m, άσχετα με την τιμή (b+h)	Επιβάλλεται κλειστή κυκλική διατομή. Σε δύσκολες περιπτώσεις τοποθέτηση εύκαμπτης προσωρινής επένδυσης
10	Πυκνές αποθέσεις άμμου	(0,62-1,38)(b+h)	
11	Χαλαρές αποθέσεις άμμου	(1,08-1,38)(b+h)	

Παρατηρήσεις: Ο πίνακας ισχύει για βάθη σήραγγας μεγαλύτερα από $1,5(b+h)$. Οι τιμές του H_p αφορούν περιπτώσεις σήραγγων που βρίσκονται κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα. Σε περίπτωση που η σήραγγα βρίσκεται πάνω από τον υπόγειο ορίζοντα οι τιμές του H_p μειώνονται από 1-5 με 6 αναλόγως για μειωθέν ύψος και κατά 50%.

3.4.2 Η ταξινόμηση κατά Lauffer

Σύμφωνα με το Lauffer ο χρόνος ο οποίος μεσολαβεί από τη διάνοιξη μιας υπόγειας εκσκαφής μέχρι την κατάρρευση της εξαρτάται από την ποιότητα του βράχου και από το άνοιγμα της εκσκαφής.





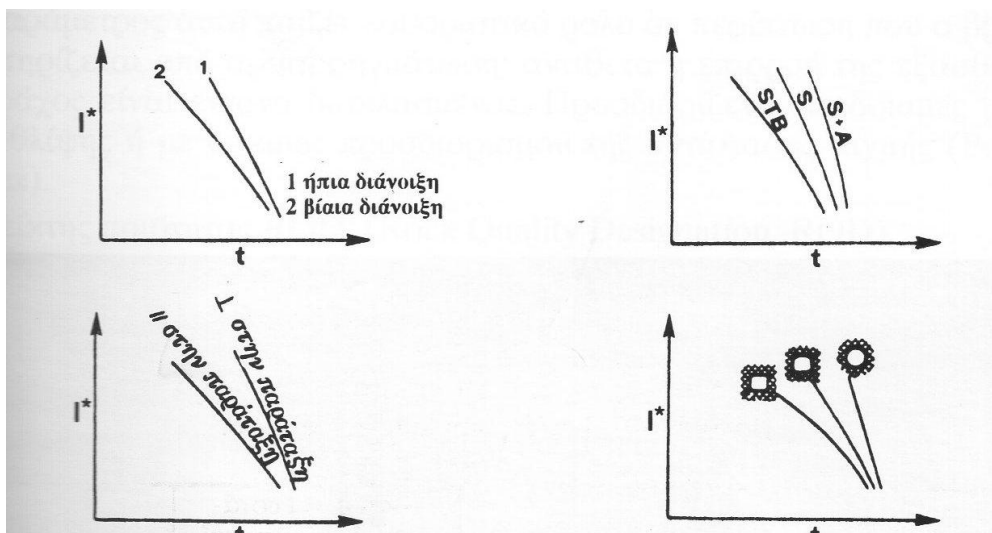
Βασιζόμενος στα στοιχεία που συγκέντρωσε κατά την κατασκευή μιας προσαγωγού σήραγγας μήκους 12,5 km και διαμέτρου 6km, παρουσίασε το διάγραμμα του σχήματος 4-3. Για διαφορετικές κατηγορίες βράχου, ο Lauffer συσχετίζει το διάγραμμα αυτό τη χρονική διάρκεια κατά την οποία ένα ανυποστήρικτο τμήμα μιας σήραγγας είναι σε θέση να διατηρηθεί -χωρίς να καταρρεύσει (stand up time) με το ενεργό άνοιγμα I^* (active span) του τμήματος αυτού. Σαν ενεργό άνοιγμα I^* ορίζει τη μέγιστη απόσταση του μετώπου της σήραγγας από το τελευταίο υποστήριγμα ή το μέγιστο πλάτος της σήραγγας ανάλογα με το κατά πόσο ο φυσικός θόλος που δημιουργείται γύρω από αυτή διατάσσεται στην εγκάρσια διεύθυνση ή στη διεύθυνση του άξονα της. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε $I < b, I^* = I$ ενώ

Για δεδομένη ποιότητα βράχου ο χρόνος που το ανυποστήρικτο τμήμα της σήραγγας μπορεί να διατηρηθεί θα νείναι μεγαλύτερος όσο μικρότερο θα είναι το ενεργό άνοιγμα. Η παράσταση σε διλογαριθμικό διάγραμμα της σχέσης ενεργού ανοίγματος –χρόνου διατήρησης της εκσκαφής είναι μια ευθεία γραμμή. Ο Lauffer ταξινομεί το βράχο σε επτά κατηγορίες και συναρτά για κάθε μία από αυτές τα όρια μέσα στα οποία η εκσκαφή μπορεί να παραμείνει ανυποστήρικτη με το ενεργό ανοιγματά της. Το διαγραμμισμένο τμήμα του διαγράμματος αναφέρεται στην περιοχή η οποία συνήθως εφαρμόζεται στην πράξη, τα γεωμετρικά κέντρα των διαγραμμισμένων επιμέρους περιοχών των κατηγοριών ορίζουν για κάθε κατηγορία τις μέσες τιμές του ενεργού ανοίγματος και της χρονικής διάρκειας κατά την οποία το ανυποστήρικτο τμήμα μπορεί να διατηρηθεί. Οι μέσες αυτές τιμές και η περιγραφή των κατηγοριών παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα(σκαναρισμα).

Το διάγραμμα του Lauffer συμπληρώνεται με διορθωτικές καμπύλες οι οποίες χρησιμοποιούνται για να συνεκτιμηθούν οι επιρροές της στρωματογραφίας των γεωλογικών σχηματισμών, του σχήματος της σήραγγας, του τρόπου διάνοιξης και του είδους των μέτρων υποστήριξης. Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται ενδεικτικά οι επιρροές των παραπάνω παραμέτρων.

Η ταξινόμηση του Lauffer βρίσκει σήμερα συχνά εφαρμογή, συνδέει δύο πολύ βασικά για τον κατασκευαστή μεγέθη –το χρόνο ευστάθειας και το μέγεθος της εκσκαφής –με τα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά του βράχου. Δείχνει στον κατασκευαστή το χρόνο που έχει στη διαθεσή του για να υποστηρίξει τη σήραγγα ή τις διαστάσεις που πρέπει να τηρήσει ώστε να έχει το χρόνο που χρειάζεται για να ολοκληρώσει τις εργασίες υποστήριξης.

Κατηγορία	Περιγραφή του βράχου	Διάρκεια ευστάθειας χωρίς υποσπίριξη	Ενεργό άνοιγμα
A	Συμπαγής βράχος (εκρηξιγενή πετρώματα, συμπαγή παχυστρωματώδη ιζηματογενή, συμπαγής γνεύσιος)	20 a	4 m
B	Διακλασμένος βράχος (διακλασμένα εκρηξιγενή, λεπτοστρωματώδη ιζηματογενή, μεταμορφωμένα πετρώματα με χαρακτηριστική τη σχιστότητα)	0,5 a	4 m
C	Πολύ διακλασμένος βράχος (πολύ διακλασμένα εκρηξιγενή, αργιλικόι σχιστόλιθοι και μικρότερης αντοχής μεταμορφωμένα πετρώματα)	7 d	3 m
D	Μαλακά πετρώματα, αργιλικόι σχιστόλιθοι, διαταραγμένα και εν μέρει αποσαθρωμένα σκληρά πετρώματα	5 h	1,5 m
E	Πιο μαλακά πετρώματα, περισσότερο διαταραγμένα και αποσαθρωμένα σκληρά πετρώματα	20 min	0,8 m
F	Αποσαθρωμένοι και διαταραγμένοι αργιλικόι σχιστόλιθοι, καλής συνεκτικότητας εδάφη, άμμοι και κροκάλες με φυσική υγρασία	2 min	0,4 m
G	Συνεκτικά εδάφη μικρής-μέσης συνεκτικότητας, κορεσμένες άμμοι, κροκάλες, οργανικά εδάφη	10 sec	0,15 m



3.4.3 Η ταξινόμηση του BIENIAWSKI

Η ταξινόμηση αυτή στηρίζεται σε εμπειρίες σύγχρονων τρόπων κατασκευής των υπόγειων έργων και εφαρμόζεται σήμερα ευρύτατα στο στάδιο του σχεδιασμού και της προκοστολόγησης τους.

Στο σύστημα αυτό η κατάταξη του βράχου σε κατηγορίες και η σύνδεση της ποιότητας του με τα αναγκαία μέτρα υποστήριξης γίνεται με τη βοήθεια ποσοτικών παραμέτρων οι οποίες μπορούν να προσδιοριστούν με μετρήσεις επιτόπου του έργου.

Οι παράμετροι αυτοί είναι:

- Η αντοχή σε απλή θλίψη του μονολιθικού πετρώματος που συνθέτει το βράχο.

Η παράμετρος αυτή παίζει καθοριστικό ρόλο σε περίπτωση που ο βράχος χαρακτηρίζεται από αραιή ρηγμάτωση, αντίθετα η επιρροή της εξασθενεί όταν ο βράχος είναι έντονα διακλασμένος. Προσδιορίζεται σε δοκιμές μονοαξονικής θλίψης ή σε δοκιμές προσδιορισμού της αντίστασης αιχμής.

- Ο δείκτης ποιότητας RQD
- Η πυκνότητα και ο προσανατολισμός των ασυνεχειών: διακλάσεων, επιφανειών στρώσεων ή σχιστότητας. Η μέτρηση του συστήματος των ασυνεχειών γίνεται σε επιφανειακές εμφανίσεις του βράχου, μέσα από ερευνητικές στοές ή στην υπό κατασκευή σήραγγα.
- Η κατάσταση των ασυνεχειών. Αφορά στο εύρος του κενού που υπάρχει ανάμεσα στις δύο επιφάνειες μιάς ασυνέχειας, στην τραχύτητα των επιφανειών αυτών και στα χαρακτηριστικά των υλικών που πληρούν τα κενά των ασυνεχειών..
- Το υπόγειο νερό. Η επίδραση του νερού εκτιμάται από το λόγο της πίεσης του νερού των διακλάσεων προς τη μέγιστη κύρια γεωστατική τάση ή από την εισροή του νερού ανά 10m σήραγγας ή από μία γενική περιγραφή της διάταξης των υπόγειων νερών.

Η κατάταξη του βράχου σε κατηγορίες γίνεται με βάση τις τιμές των παραπάνω παραμέτρων και κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αποδίδεται η βαρύτητα που έχει κάθε μια από αυτές στη μηχανική συμπεριφορά του.

Η κατάταξη του βράχου σε μία κατηγορία από τις πέντε γίνεται: Με τα στοιχεία των μετρήσεων και με τη βοήθεια των πινάκων, κάθε παράμετρος βαθμολογείται, η βαθμολόγηση των παραμέτρων γίνεται με διαφορετικές κλίμακες βαθμολόγησης οι οποίες καθορίζουν τη βαρύτητα των παραμέτρων. Οι βαθμοί των παραμέτρων αθροίζονται και το αθροισμά τους είναι η τιμή RMR η οποία με τη βοήθεια του αντίστοιχου πίνακα καθορίζει την κατηγορία στην οποία ανήκει ο βράχος που εξετάζεται.

Πίνακας 4-III. Ταξινόμηση του *Bieniawski* (CSIR Geomechanics Classification, 1989).

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

Πίνακας 4-III (συνέχεια). Ταξινόμηση του *Bieniawski* (CSIR Geomechanics Classification, 1989).

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

Πίνακας 4-IVa. Επιρροή της τραχύτητας, της αποσάθρωσης των υλικών πλήρωσης και του μήκους των ασυνεχειών (*Bieniawski, 1989*).

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

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

Πίνακας 4-IVβ. Επιρροή του προσανατολισμού των διακλάσεων στα υπόγεια έργα, *Bieniawski, 1989.*

Παράταξη κάθετη στον άξονα της σήραγγας				Παράταξη παράλληλη στον άξονα της σήραγγας		Ανεξάρτητα από την παράταξη
Διάνοιξη σύμφωνα με την κλίση		Διάνοιξη αντίθετα με την κλίση				
Κλίση		Κλίση		Κλίση		Κλίση
45°-90° πολύ ευνοϊκή	20°-45° ευνοϊκή	45°-90° μέτρια	20°-45° δυσμενής	45°-90° πολύ δυσμενής	20°-45° μέτρια	0°-20° μέτρια
Βαθμός		Βαθμός		Βαθμός		Βαθμός
0	-2	-5	-10	-12	-5	-10

Πίνακας 4-V. Προτάσεις συστημάτων προσωρινής υποστήριξης για αβαθείς σήραγγες διαμέτρου 5-12 m, *Bieniawski, 1974.*

Κατηγορία βράχου	Εναλλακτικά συστήματα υποστήριξης σε κατασκευές με συμβατικά μέσα		
	Κυρίως ηλώσεις (κοχλιώσεις)	Κυρίως εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	Κυρίως χαλύβδινα πλαίσια
I	Γενικά δε χρειάζεται υποστήριξη		
II	Ηλώσεις με αραιώση 1,5-2m και -κατά περίπτωση- πλέγμα στην οροφή	50 mm στην οροφή	Αντιοικονομικά
III	Ηλώσεις με αραιώση 1,0-1,5m, πλέγμα και 30 mm εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στην οροφή (όπου χρειάζεται)	100 mm στην οροφή και 50mm στις πλευρές· κατά περίπτωση πλέγμα και ηλώσεις όπου χρειάζεται	Ελαφρά με αραιώση 1,5-2 m
IV	Ηλώσεις με αραιώση 0,5-1,0m, πλέγμα και 30-50mm εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στην οροφή και στις πλευρές	150 mm στην οροφή και 100mm στις πλευρές και πλέγμα και ηλώσεις, 3m μήκους με αραιώση 1,5m	Μέσου τύπου, με αραιώση 0,7-1,5 m και 50 mm εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στην οροφή
V	Δε συνιστάται	200 mm στην οροφή και 150mm στις πλευρές, πλέγμα, ηλώσεις και ελαφρά πλαίσια	Βαριά, με αραιώση 0,7 m και ταχεία επένδυση με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 75 mm

Πίνακας 4-VI. Εμπειρική πρόταση για τον τρόπο διάνοιξης και για τη μόνιμη υποστήριξη σήραγγας πεταλοειδούς διατομής, *Bieniawski, 1979*.

Κατηγορία βράχου RMR	Τρόπος εκσκαφής	Μέτρα υποστήριξης		
		Αγκύρια Ø20 mm πακτωμένα με τσιμεντένεμα	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	Χαλύβδινα πλαίσια
I RMR: 81-100	Ολομέτωπη εκσκαφή. Προχώρηση με βήματα 3m	Γενικά δε χρειάζεται υποστήριξη. Σποραδικά αγκύρια μόνον εφόσον χρειάζονται		
II RMR: 61-80	Ολομέτωπη εκσκαφή. Προχώρηση με βήματα 1-1,5 m. Η οριστική υποστήριξη τοποθετείται σε απόσταση 20 m από το μέτωπο	Στην οροφή σποραδικά αγκύρια μήκους 3 m σε αποστάσεις 2,5m. Κατά περίπτωση χρησιμοποίηση δομικού πλέγματος στην οροφή	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 5 cm στην οροφή μόνον όταν κρίνεται αναγκαίο.	όχι
III RMR: 41-60	Τμηματική εκσκαφή σε δύο φάσεις. Προχώρηση μετώπου και βαθμίδας με βήματα 1,5-3 m. Προσωρινή υποστήριξη αμέσως μετά από την ανατίναξη. Η οριστική υποστήριξη τοποθετείται σε απόσταση 10 m από το μέτωπο	Συστηματική αγκύρωση αγκύρια μήκους 4 m ανά 1,5 έως 2 m στην οροφή και στις παρειές. Στην οροφή επιπλέον δομικό πλέγμα.	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 5-10 cm στην οροφή και στις παρειές	όχι
IV RMR: 21-40	Τμηματική εκσκαφή σε δύο φάσεις. 1η φάση: προχώρηση μετώπου με βήματα 1-1,5 m. Τοποθέτηση της υποστήριξης ταυτόχρονα με την εκσκαφή. Συμπλήρωση της υποστήριξης σε απόσταση 10 m από το μέτωπο	Συστηματική αγκύρωση αγκύρια μήκους 4-5 m, ανά 1 έως 1,5 m στην οροφή και στις παρειές. Ενίσχυση με δομικό πλέγμα.	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 10-15 cm στην οροφή και πάχους 10 cm στις παρειές.	Χαλύβδινα πλαίσια ελαφρού έως μέσου τύπου σε αποστάσεις 1,5m όπου χρειάζεται
V RMR: <20	Πολλαπλή προώθηση. Προχώρηση στο μέτωπο 0,5-1,5 m. Η υποστήριξη τοποθετείται ταυτόχρονα με τη διάνοιξη. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα όσο πιο γρήγορα γίνεται.	Συστηματική αγκύρωση αγκύρια μήκους 5-6 m, ανά 1-1,5m στην οροφή και στις παρειές. Ενίσχυση με δομικό πλέγμα. Αγκυρώσεις στο δάπεδο.	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 15-20 cm στην οροφή, πάχους 15 cm στις παρειές και πάχους 5 cm στο μέτωπο	Χαλύβδινα πλαίσια μέσου έως βαρέως τύπου σε αποστάσεις 0,75 m. Επικάλυψη με λαμαρίνες και στήριξη του μετώπου. Κλείσιμο της διατομής με ανεστραμμένο τόξο.

Παρατήρηση: Εφαρμογή της Γεωμηχανικής Ταξινόμησης του Bieniawski σε σήραγγα πεταλοειδούς διατομής, πλάτους 10 m· κατακόρυφη γεωστατική τάση ≤ 25 MPa. Η κατασκευή της σήραγγας έγινε με τη μέθοδο διάτρησης-ανατίναξης.

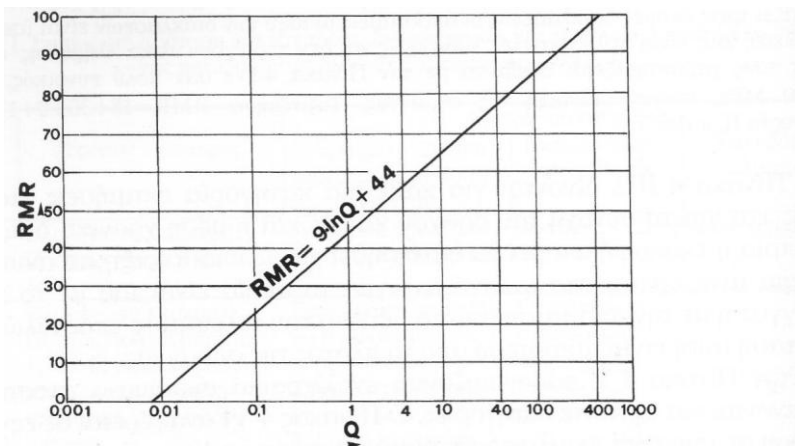
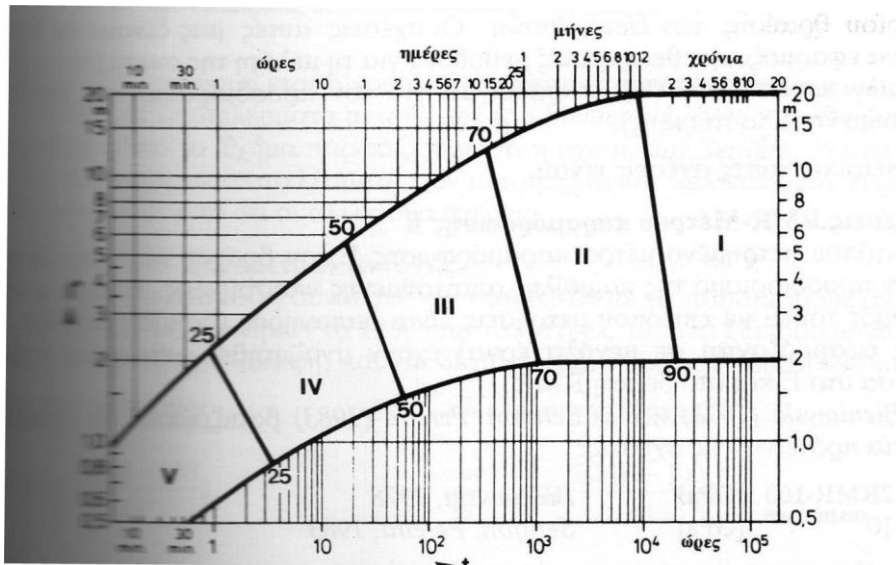
Στον πίνακα 4-III δίδονται για κάθε μία κατηγορία εκτιμήσεις για τη γωνία τριβής και για τη συνοχή του βράχου καθώς και η μέση χρονική διάρκεια κατά την οποία η εκσκαφή μπορεί να διατηρηθεί χωρίς υποστήριξη, το ανυποστήρικτο άνοιγμα αναφέρεται στο ενεργό άνοιγμα το οποίο είναι ίσο με το πλάτος της σήραγγας ή με την απόσταση από το μέτωπο του τελευταίου υποστυλώματος αν η απόσταση αυτή είναι μικρότερη από το πλάτος της σήραγγας.

Στον πίνακα 4-V παρουσιάζονται εναλλακτικά συστήματα υποστήριξης που προτείνονται για πέντε κατηγορίες. Ο πίνακας 4-VI αναφέρεται σε εφαρμογή της μεθόδου σε σήραγγα πεταλοειδούς διατομής, πλάτους 10m. Στο σχήμα 4-5 παρουσιάζεται για τις κατηγορίες I έως V η σχέση ανάμεσα στο ενεργό άνοιγμα και στη χρονική διάρκεια κατά την οποία η εκσκαφή μπορεί να διατηρηθεί χωρίς υποστήριξη.

Ο Bieniawski προτείνει και μία εμπειρική σχέση η οποία συνδέει το δείκτη RMR με τη μόνιμη πίεση η οποία θα ασκηθεί στην οροφή της υποστήριξης:

$$\Sigma_v = \{(100 - \text{RMR})/100\} \gamma_r b$$

Όπου b = πλάτος της σήραγγας, γ_r = το ειδικό βάρος του βράχου



Μια εμπειρική σχέση η οποία συνδέει το δείκτη RMR με το δείκτη ποιότητας Q , προτάθηκε το 1976 από τον Bieniawski

$$\text{RMR} = 9 \ln Q + 44$$

Πρακτικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν σχέσεις οι οποίες συνδέουν το δείκτη RMR με το μέτρο παραμόρφωσης του βράχου και τις παραμέτρους m και s του κριτηρίου Hoek, Brown. Οι σχέσεις αυτές μας δίνουν τη δυνατότητα να εφαρμόζουμε θεωρητικές μεθόδους για τη μελέτη της συμπεριφοράς των υπόγειων κατασκευών.

Οι εμπειρικές σχέσεις είναι:

✓ **Σχέσεις RMR –Μέτρου παραμόρφωσης E**

Το επιτόπου μετρημένο μέτρο παραμόρφωσης E του βράχου είναι απαραίτητο για τον προσδιορισμό της καμπύλης απαιτούμενης υποστήριξης. Επειδή ο προσδιορισμός του E με επιτόπου μετρήσεις είναι δαπανηρός έχουν αναζητηθεί εμπειρικές σχέσεις ανάμεσα στο E και στο δείκτη RMR:

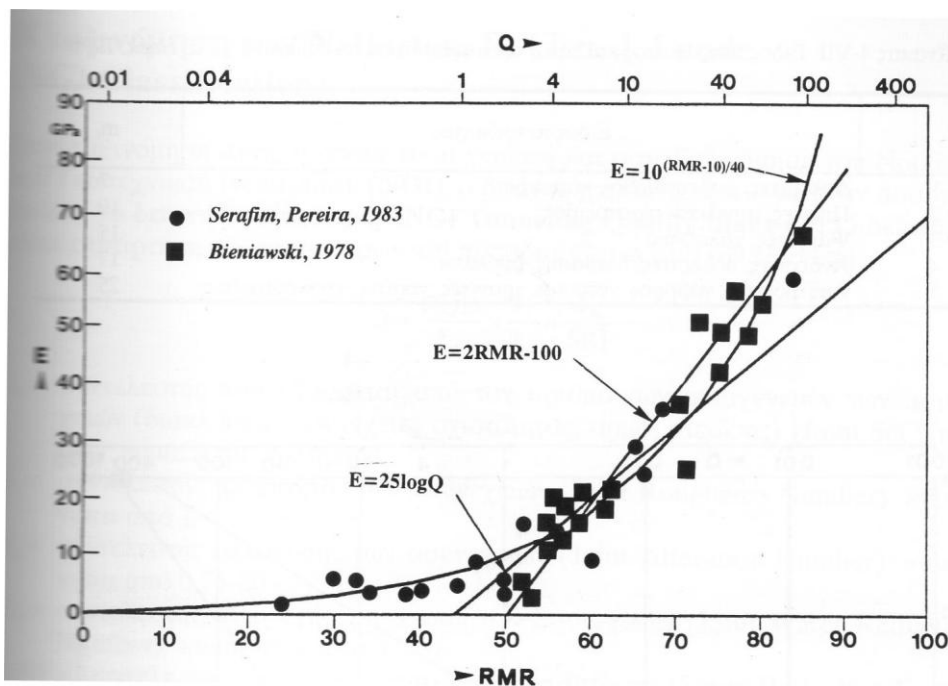
○ $E=2RMR - 100$ [GPA]

○ $E=10^{(RMR-10)/40}$

[GPA]

Μία ανάλογη σχέση ανάμεσα στο δείκτη ποιότητας και στο μέτρο E προτάθηκε από τους Barton, Crimstad:

$E=25\log Q$ [GPA]



Στο σχήμα 4-7 παρουσιάζεται η γραφική παράσταση των παρακάτω εμπειρικών σχέσεων μαζί με αποτελέσματα των μετρήσεων του BIENIAWSKI, 1978 και των Serafim, Pereira, 1983. Από το σχήμα παρατηρούμε ότι η σχέση των Serafim, Pereira προσεγγίζει καλύτερα τα αποτελέσματα των μετρήσεων και καλύπτει μια ευρύτερη περιοχή του RMR από ότι οι άλλες δύο σχέσεις.

✓ **Σχέσεις RMR-παραμέτρων αντοχής**

Αφορούν σχέσεις οι οποίες συνδέουν την τιμή RMR με τις παραμέτρους αντοχής m, s . οι σχέσεις (προτάθηκαν το 1980 από το Hoek, Brown) εξειδικεύονται για αδιατάρακτο (=ήπια εκσκαφή) και για διαταραγμένο βράχο (=βίαη εκσκαφή):

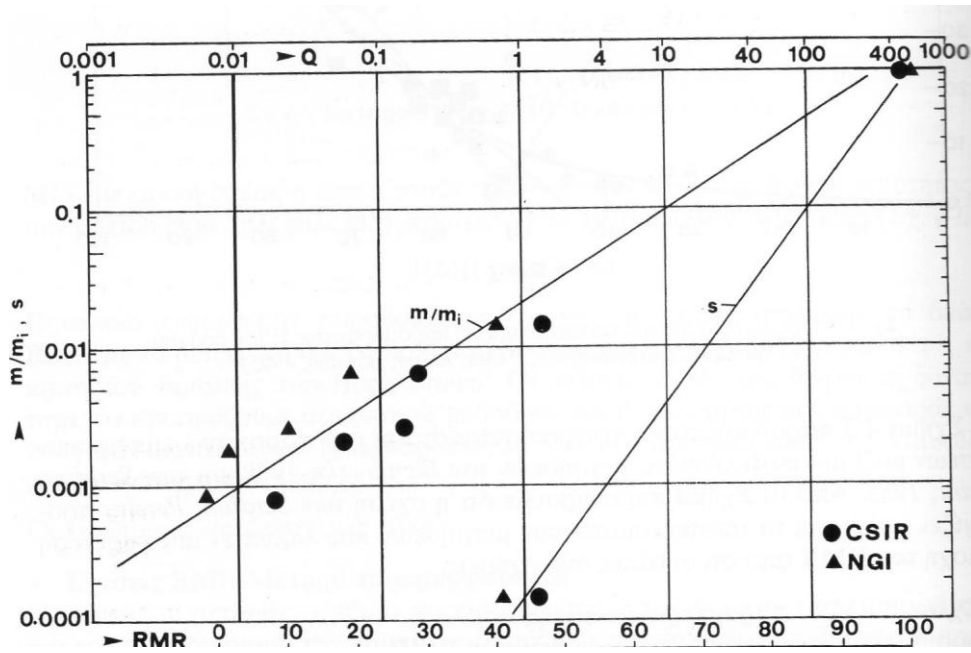
Διαταραγμένος βράχος:

$m/m_i = \exp[(RMR-100)/14]$ και $s = \exp[(RMR-100)/6]$

Αδιατάρακτος βράχος:

$m/m_i = \exp[(\rho\mu\mu-100)/28]$ και $s = \exp[(RMR-100)/9]$
(SKANEP)

Η παράμετρος m_i είναι η παράμετρος m για το συμπαγές υλικό, προσδιορίζεται με τριαξονικές δοκιμές. Όταν δεν υπάρχουν αποτελέσματα τριαξονικών δοκιμών, ο Hoek προτείνει τη χρησιμοποίηση του πίνακα 4-VII. Στο σχήμα 4-8 παροθσιάζεται για το διαταραγμένο βράχο η γραφική παράσταση των εξισώσεων ποθ συνδέουν τις παραμέτρους m, m_i και s με δείκτη RMR.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

4.1 Γενικά

Οι σήραγγες είναι τμήματα οδών, με ιδιαίτερες απαιτήσεις όσον αφορά στην ασφάλεια κυκλοφορίας και έχουν υψηλό κόστος κατασκευής, συντήρησης και λειτουργίας, πρέπει να μελετώνται με ιδιαίτερη προσοχή και επιμέλεια.

Γενικά ο γεωμετρικός σχεδιασμός οδού είναι αντικείμενο του μελετητή οδοποιίας σε συνεργασία με τους μελετητές των άλλων κατηγοριών του μελετητικού σχήματος. Ειδικότερα, όσον αφορά τον γεωμετρικό σχεδιασμό σηράγγων, η παραπάνω συνεργασία που είναι αναγκαία για την ανοικτή χάραξη επιβάλλεται να είναι σαφώς στενότερη, συνεχής και ουσιαστική.

Το παρεχόμενο επίπεδο ασφαλείας σε μια σήραγγα είναι συνάρτηση πλήθους παραγόντων οι κυριότεροι εκ των οποίων συνοψίζονται στους εξής :

- χρήστης
- γεωμετρικός – λειτουργικός σχεδιασμός
- δομική διάρθρωση καθώς και η συντήρηση
- συμμετοχή βαρέων οχημάτων στην κυκλοφορία

Σε κάθε περίπτωση, η ασφάλεια, η οποία αποτελεί άλλωστε και τον κυρίαρχο στόχο, κατά τη διαδικασία σχεδιασμού και λειτουργίας μιας σήραγγας, διαχωρίζεται σε δύο κύριους τομείς (Economic Commission for Europe, 2001) :

- πρόληψη, η οποία αφορά στην αποφυγή κρίσιμων καταστάσεων
- ελαχιστοποίηση συνεπειών σε περίπτωση αστοχίας

Στα εδάφια που έπονται, αναλύονται οι μεταβλητές που αφορούν την πρώτη περίπτωση ενώ οι ενέργειες, οι οποίες συνιστούν τη δεύτερη περίπτωση εντάσσονται σε ένα γενικότερο σχεδιασμό.

4.2 Γεωμετρική Θεώρηση

Η μελέτη χάραξης των οδικών τμημάτων σε σήραγγα πρέπει να εκπονεύεται σύμφωνα με τις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ-Χ, 2001).

Ειδικότερα στις σήραγγες η τιμή της ταχύτητας μελέτης V_e πρέπει να εξισώνεται με το όριο ταχύτητας $V_{επιτρ}$ και την λειτουργική ταχύτητα V_{85} .

Για τον καθορισμό του ορίου ταχύτητας είναι απαραίτητη η ανάλυση των διατιθέμενων Μηκών Ορατότητας για Στάση (ΜΟΣ). Για τον υπολογισμό δε του διατιθέμενου μήκους ορατότητας ο χρόνος αντίληψης - αντίδρασης πρέπει να ληφθεί ίσος με 2sec. Εν γένει το όριο ταχύτητας σε σήραγγες κυμαίνεται από 80 km/h έως 100 km/h.

Επειδή αναμένονται μεγάλες διαφορές μεταξύ των τιμών των λειτουργικών ταχυτήτων ($\Delta V_{85} > 10\text{km/h}$) στα οδικά τμήματα που προηγούνται ή έπονται της σήραγγας και του τμήματος σε σήραγγα, και οι οποίες επιφέρουν σημαντική αύξηση της επικινδυνότητας του οδικού τμήματος στις εισόδους των σηράγγων, πρέπει να εξετάζεται η ομοιομορφία και η συνέχεια των λειτουργικών ταχυτήτων ακόμη και στους αυτοκινητόδρομους [ΟΜΟΕ-Χ, 2001, (κριτήριο ασφάλειας II)]. Η σταδιακή μείωση των επιπέδων της λειτουργικής ταχύτητας μέχρι του επιθυμητού επιτυγχάνεται

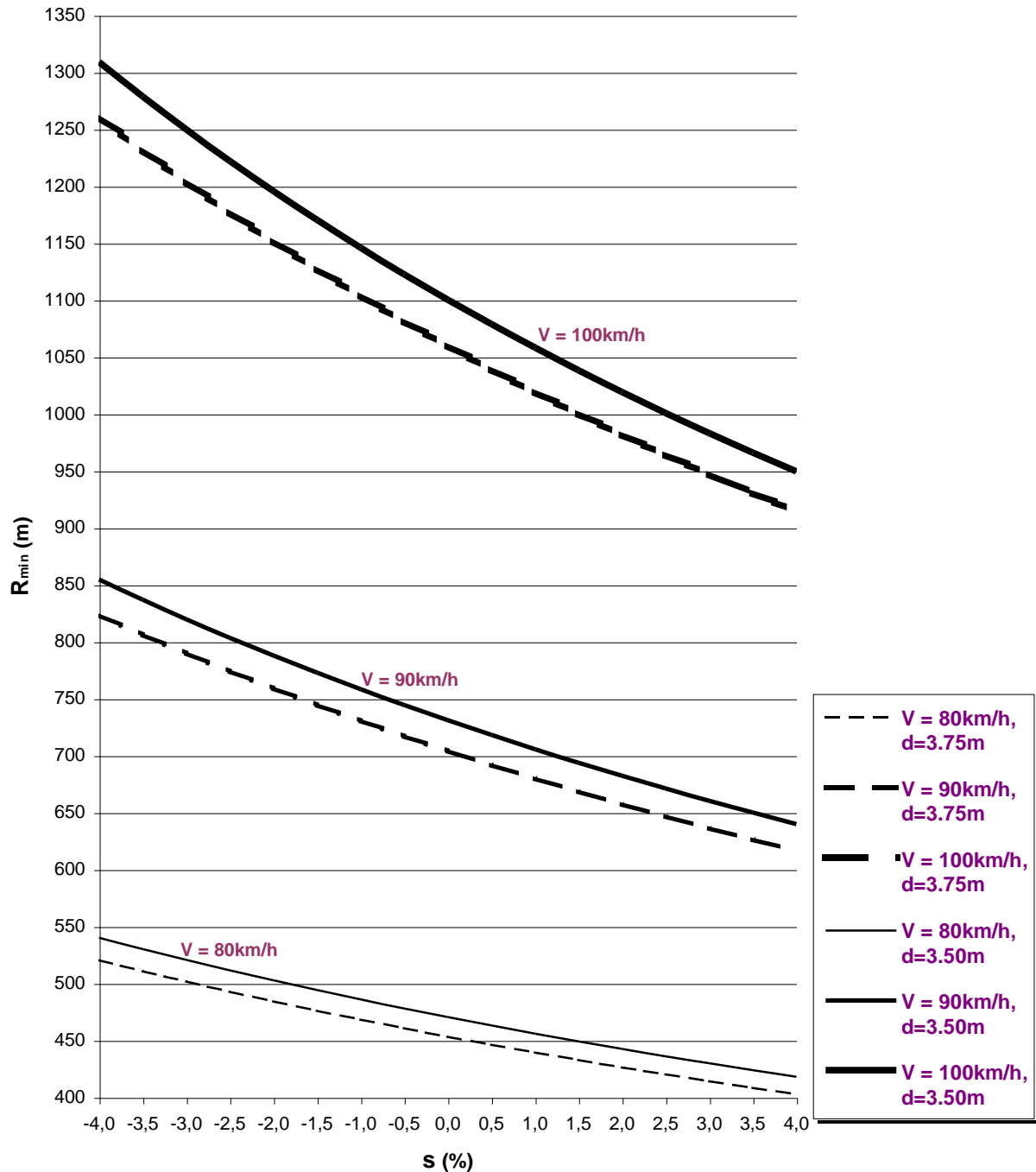
- είτε με την προσαρμογή της χάραξης, που αποτελεί τον καλύτερο και πιο αξιόπιστο τρόπο αντιμετώπισης και ταυτόχρονα υπό προϋποθέσεις μπορεί να συμβάλλει στην μείωση του κόστους του έργου
- είτε με την εφαρμογή συστήματος ειδικής σήμανσης, ιδιαίτερα έντονης και εμφανούς στον οδηγό (γέφυρες σήμανσης, VMS κλπ), η οποία θα καθοδηγεί αξιόπιστα τους οδηγούς στην επιλογή της κατάλληλης ταχύτητας κίνησης, η οποία μπορεί και να παρακολουθείται και να ελέγχεται (speed monitoring).

Στο Σχήμα 3.1 δίδονται οι προτεινόμενες ελάχιστες οριζόντιες ακτίνες σε συνάρτηση με το διαθέσιμο μήκος ορατότητας για στάση οι οποίες αναφέρονται στα στόμια των σηράγγων (υγρό οδόστρωμα). Οι αντίστοιχες οριζόντιες ακτίνες που αφορούν στεγνό οδόστρωμα, αναφέρονται στο εσωτερικό της σήραγγας και δίδονται στο Σχήμα 3.2 (βλέπε Παράρτημα Β). Στην τελευταία περίπτωση, η τιμή του διαμήκους συντελεστή πρόσφυσης με ακινητοποιημένους τροχούς ελήφθη 0.60 (Harwood et. Al., 1993).

Κατά την επιλογή της ελάχιστης οριζόντιας ακτίνας σε σήραγγα, ιδιαίτερα στην περίπτωση του στεγνού οδοστρώματος, πρέπει να εξετάζεται και η περίπτωση της ολίσθησης του οχήματος (ΟΜΟΕ-Χ, 2001) δεδομένου ότι σε ορισμένες περιπτώσεις αυτή η θεώρηση μπορεί να είναι και η κρίσιμη.

Ελάχιστες Οριζόντιες Ακτίνες σε Σήραγγες με Οριακή Επάρκεια Μήκους Ορατότητας για Στάση (υγρό οδόστρωμα)

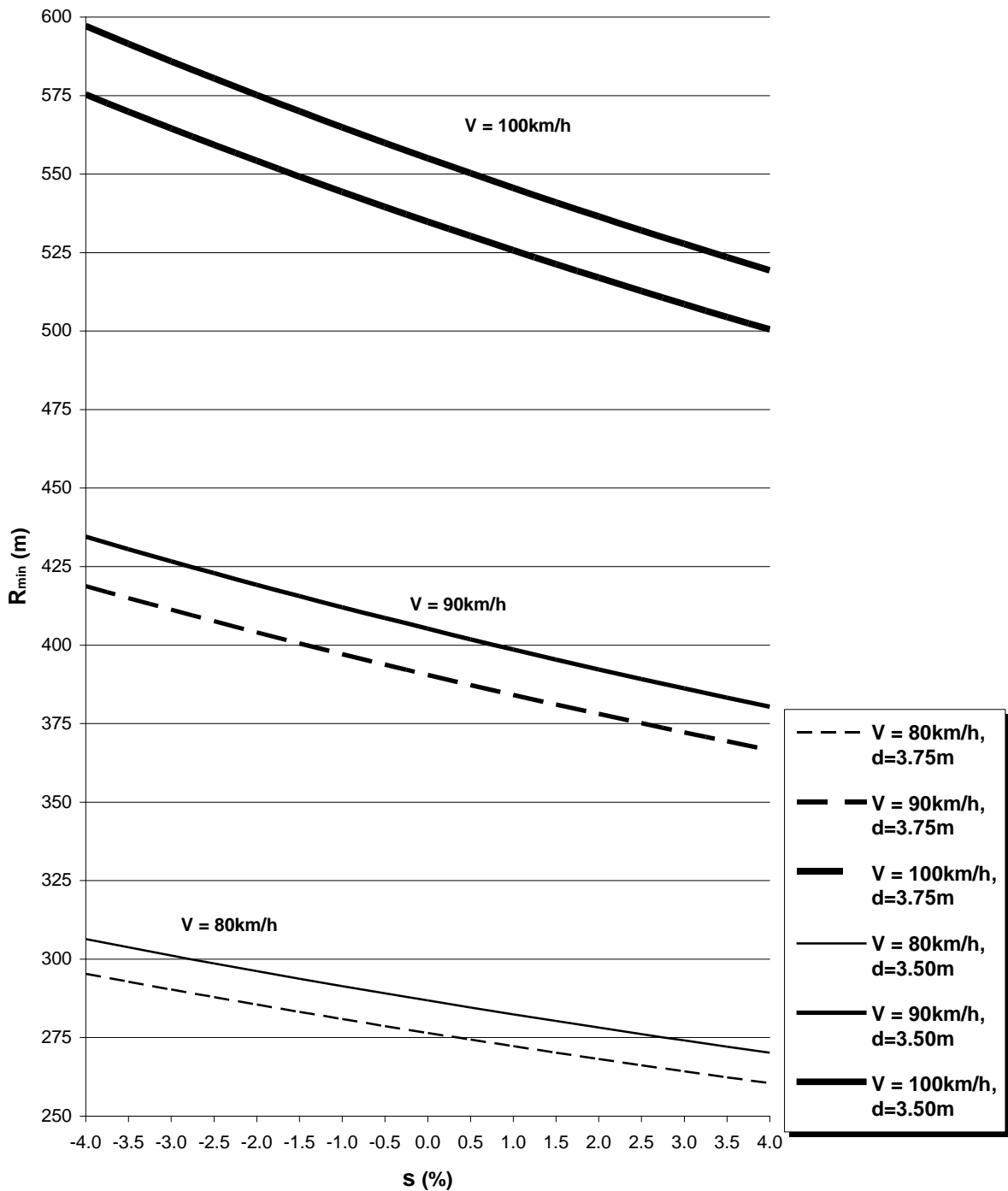
d : πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας,
πεζοδρόμιο + καθοδηγητική λωρίδα = 1.00m + 0.50m



Σχήμα 3.1. Ελάχιστη οριζόντια ακτίνα ως προς την κατά μήκος κλίση για οριακή επάρκεια ΜΟΣ (υγρό οδόστρωμα).

Ελάχιστες Οριζόντιες Ακτίνες σε Σήραγγες με Οριακή Επάρκεια Μήκους Ορατότητας για Στάση (στεγνό οδόστρωμα)

d : πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας,
πεζοδρόμιο + καθοδηγητική λωρίδα = 1.00m + 0.50m



Σχήμα 3.2. Ελάχιστη οριζόντια ακτίνα ως προς την κατά μήκος κλίση για οριακή επάρκεια ΜΟΣ (στεγνό οδόστρωμα, $f_T=0.60$).

Εντός σήραγγων σε οδούς της κατηγορίας Α οι κατά μήκος κλίσεις δεν πρέπει να υπερβαίνουν το 4%. Ιδιαίτερα σε σήραγγες μεγάλου μήκους (> 1km), πρέπει να επιδιώκεται η τιμή της μέγιστης κατά μήκος κλίσης να μην υπερβαίνει το 2.5%. Εντονότερες κατά μήκος κλίσεις έχουν τα εξής μειονεκτήματα:

- υψηλότερη ρύπανση
- μεγαλύτερη πιθανότητα ατυχημάτων
- διασπορά εύφλεκτων υλικών με μεγάλη ταχύτητα
- μείωση της ταχύτητας των βαρέων οχημάτων

Προκειμένου να μην υποβαθμίζεται το παρεχόμενο επίπεδο εξυπηρέτησης, ιδιαίτερα στις σήραγγες διπλής κατεύθυνσης, όπου απαγορεύεται η προσπέραση, πρέπει να επιδιώκεται η διαφορά ταχυτήτων μεταξύ βαρέων φορτηγών και επιβατηγών οχημάτων να μην υπερβαίνει τα 15km/h (βλέπε Παράρτημα Γ).

Στον Πίνακα 3.1 δίδεται το προτεινόμενο μέγιστο συνιστώμενο μήκος σήραγγας ως συνάρτηση της κατά μήκος κλίσης.

s (%)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
ΣΔΚ (m)	> 3000	> 3000	> 3000	1400	700	500	400	300
ΣΜΚ (m)	> 3000	> 3000	> 3000	> 3000	> 3000	> 3000	1000	600

Σημείωση: ΣΔΚ : Σήραγγα Διπλής Κατεύθυνσης
ΣΜΚ : Σήραγγα Μονής Κατεύθυνσης

Πίνακας 3.1: Μέγιστο μήκος σήραγγας ως προς την επιρροή της κατά μήκος κλίσης.

Επισημαίνεται, ότι οι τιμές του Πίνακα 3.1 έχουν προκύψει με την θεώρηση, ότι τα οχήματα κινούνται ανεμπόδιστα και δεν λήφθηκαν υπόψη οι μεταβλητές, οι οποίες αφορούν το επίπεδο εξυπηρέτησης της οδού και την οικονομική επιβάρυνση στο σύστημα αερισμού.

Με βάση τις τιμές του Πίνακα 3.1 που αναφέρονται στη Σήραγγα Διπλής Κατεύθυνσης (ΣΔΚ), είναι δυνατός ο κατ' αρχήν προσεγγιστικός προσδιορισμός της κατά μήκος κλίσης σε σχέση με το μήκος της. Αποκλίσεις από τις υπόψη τιμές πρέπει να αιτιολογούνται.

Κατά την επιλογή της κατά μήκος κλίσης και του μήκους εφαρμογής της πρέπει να

- προσδιορίζεται το επίπεδο εξυπηρέτησης και
- να εκτιμάται η οικονομική επιβάρυνση στο σύστημα αερισμού.

Η επιρροή των παραπάνω παραμέτρων πρέπει να αναλύεται σε μια εμπειριστατωμένη τεχνο-οικονομική έκθεση βάσει της οποίας δύνανται να απαιτηθεί ελάττωση των προτεινόμενων τιμών του Πίνακα 5.1.

4.3 Τυπική Διατομή

Οι παράγοντες, που επηρεάζουν την επιλογή της κατάλληλης διατομής μιας σήραγγας είναι :

- ο κυκλοφοριακός φόρτος και
- η γεωλογία της περιοχής

Εκτός όμως από τα στοιχεία του καταστρώματος μιας σήραγγας, σημαντικό ρόλο παίζουν εν προκειμένω οι διαστάσεις του περιτυπώματος και του πρόσθετου χώρου για τον λειτουργικό εξοπλισμό της σήραγγας.

Το περιτύπωμα είναι ο χώρος της διατομής της οδού, στον οποίο δεν πρέπει να υπεισέρχονται σταθερά εμπόδια. Αποτελείται από τον κυκλοφοριακό χώρο, τον άνω και τον πλευρικό χώρο ελευθερίας κινήσεων.

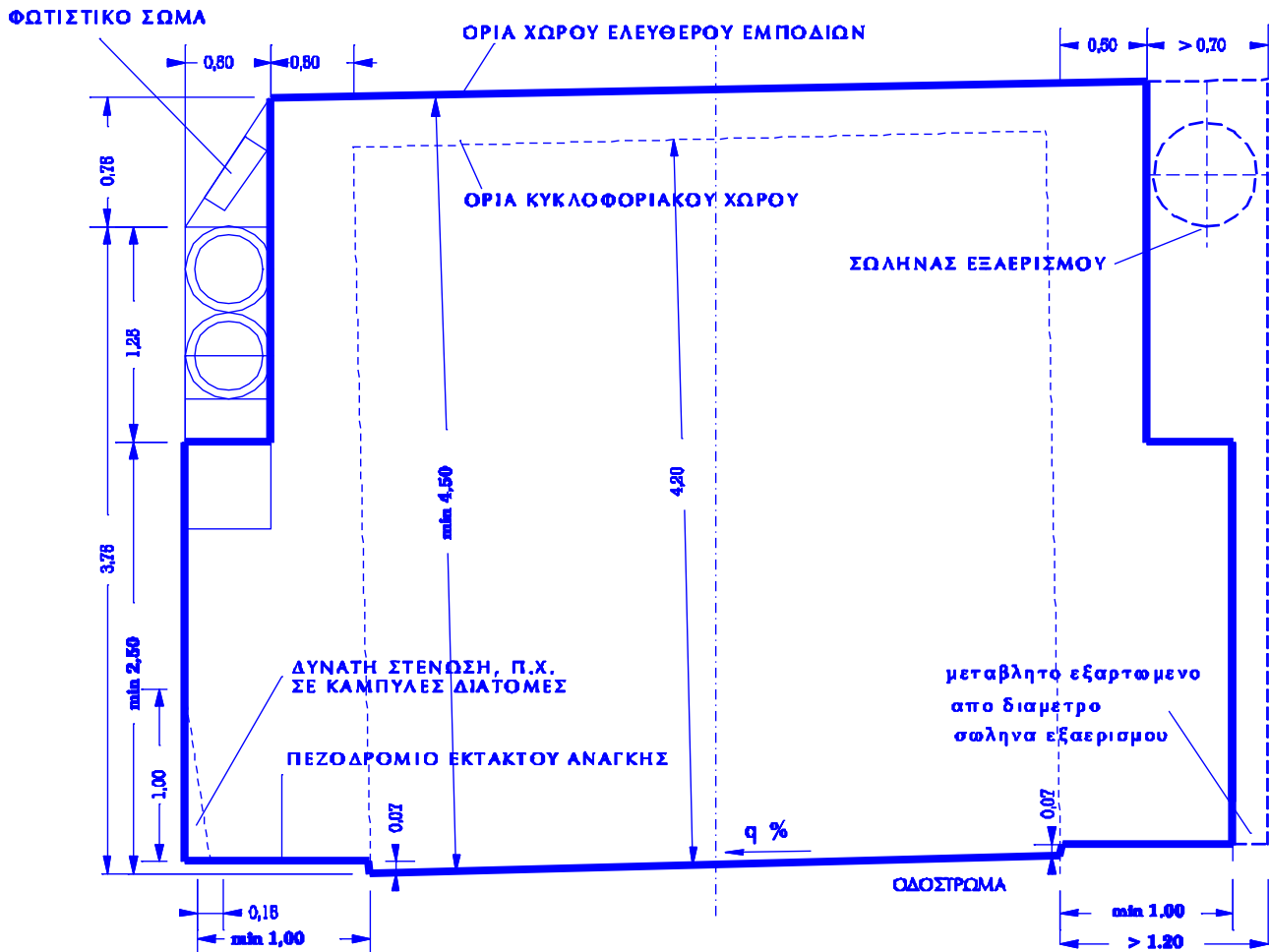
Το συνολικό πλάτος του περιτυπώματος προκύπτει από την εκάστοτε διατομή οδού της σήραγγας.

Το ελάχιστο απαιτούμενο ελεύθερο ύψος για την μηχανοκίνητη κυκλοφορία ανέρχεται σε 4,50m. Τα πλευρικά όρια του χώρου κυκλοφορίας πρέπει να είναι κάθετα στο οδόστρωμα. Έτσι σε περίπτωση εφαρμογής των μέγιστων τιμών επικλίσεων μπορεί να απαιτηθεί διαπλάτυνση του πλευρικού χώρου ελευθερίας κινήσεων, ώστε σε κάθε περίπτωση να διατίθεται ο αναγκαίος χώρος ελεύθερου εμποδίων.

Το απαιτούμενο πλάτος των λωρίδων καθοδήγησης στις ευθυγραμμίες είναι 0.25m. Στις καμπύλες κυμαίνεται από 0.25m έως 0.50m.

Στο Σχήμα 3.3 δίνονται τα όρια και οι τυπικές διαστάσεις του ελεύθερου εμποδίων χώρου μιας οδού σε σήραγγα. Τα αντικείμενα που παραμορφώνονται εύκολα, όπως οι πινακίδες σήμανσης πρέπει να τοποθετούνται σε απόσταση μεγαλύτερη των 2,50m πάνω από το πεζοδρόμιο της σήραγγας και να απέχουν από τα όρια του κυκλοφοριακού χώρου κατ' ελάχιστο 50cm. Οι απαραίτητοι για τον αερισμό ανεμιστήρες πρέπει να τοποθετούνται σε εσοχές στην οροφή της σήραγγας. Επιτρέπεται η τοποθέτηση των εύκολα παραμορφώσιμων φωτιστικών σωμάτων σε κατακόρυφη απόσταση μεγαλύτερη από 3,75m από το πεζοδρόμιο και έως 50cm από τα όρια του κυκλοφοριακού χώρου.

Σε περίπτωση που η διάμετρος των ανεμιστήρων είναι > 70cm, είναι απαραίτητη η διαπλάτυνση των πεζοδρομίων σε συνάρτηση με την διάμετρο των ανεμιστήρων.



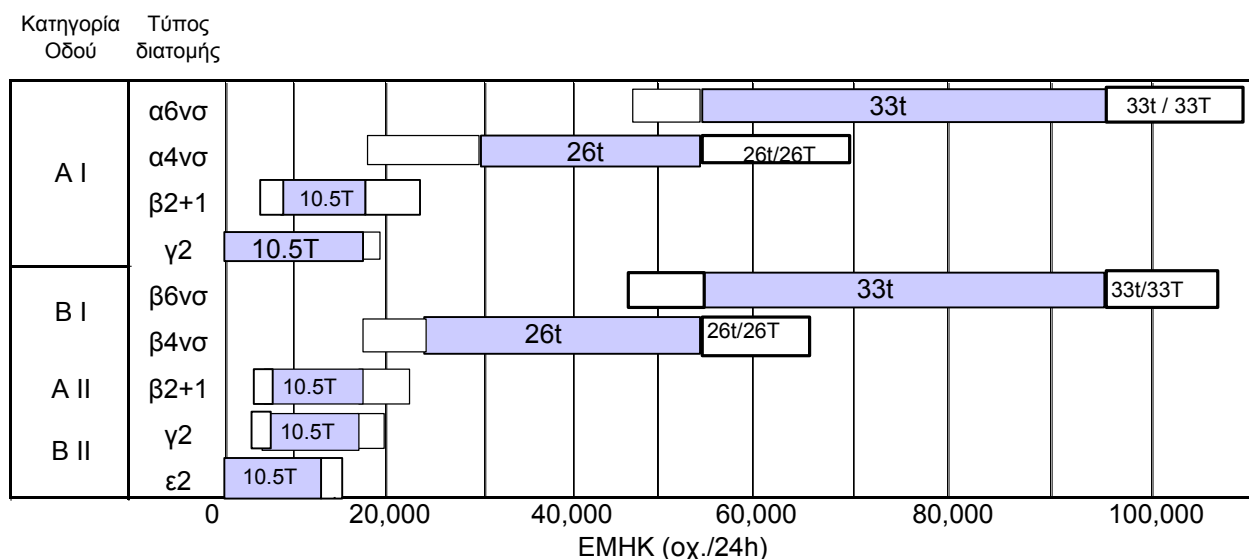
Σχήμα 3.3: Τυπικές διαστάσεις περιτυπώματος σήραγγας.

Προκειμένου να καθορισθεί η κατάλληλη διατομή μιας σήραγγας απαιτείται η εκπόνηση σχετικής ανάλυσης, στην οποία θα συνδυάζεται η διατομή της οδού σε σήραγγα με την τυπική διατομή του υπόλοιπου τμήματος της οδού με βάση τα προαναφερθέντα αφενός και την οικονομοτεχνική διάσταση του προβλήματος αφετέρου.

Κατά τον σχεδιασμό των τμημάτων οδικών σηράγγων χρησιμοποιούνται οι διατομές του υπόλοιπου τμήματος της οδού αλλά με μειωμένες διαστάσεις των επί μέρους στοιχείων της διατομής της οδού και χωρίς σταθεροποιημένο έρεισμα ή λωρίδα εκτάκτου ανάγκης (ΛΕΑ).

Στο Σχήμα 3.4 δίδεται η περιοχή εφαρμογής των διατομών οδών σε σήραγγες σε συνάρτηση με τους κυκλοφοριακούς φόρτους. Στο Σχήμα 3.5 και το Σχήμα 3.6 δίδονται οι τυπικές διατομές οδών σε σήραγγα.

Εφ' όσον κριθεί σκόπιμο να εφαρμοσθεί σε σήραγγες διατομή με λωρίδα πολλαπλών χρήσεων, πρέπει για λόγους κόστους το πλάτος της να είναι ίσο με 2,00m (διατομές 26T και 33T).



Σχήμα 3.4. Περιοχή εφαρμογής των διατομών οδών σε σήραγγες σε συνάρτηση με τους κυκλοφοριακούς φόρτους.

Η ειδική διατομή 29,5T εφαρμόζεται μόνον σε ιδιαίτερες περιπτώσεις με ασυνήθιστα οικονομικό τρόπο κατασκευής και σε σήραγγες πολύ μικρού μήκους.

Κατά την διαδικασία επιλογής της κατάλληλης διατομής σε σήραγγα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής δεδομένα:

- ο τρόπος κατασκευής της σήραγγας,
- το πλήθος των λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση,
- το προβλεπόμενο μήκος σήραγγας,
- η μέση κατά μήκος κλίση στην σήραγγα σε ανωφέρεια (0 έως 4%),
- η μέση συμμετοχή της εμπορευματικής κυκλοφορίας (0 έως 20%) και
- η Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία (ΕΜΗΚ)

ανοικτό τμήμα	αντιστοίχιση	περιγραφή
α6νσ β6νσ	33 T	τυπική λύση με ΛΕΑ(...) εφαρμόζεται μετά από αιτιολόγηση στις διατομές α6νσ
α6νσ β6νσ	33 t	τυπική λύση χωρίς ΛΕΑ(...) εφαρμόζεται μετά από αιτιολόγηση στις διατομές α6νσ
α4νσ β4νσ	26 T	τυπική λύση με ΛΕΑ (...) εφαρμόζεται μετά από αιτιολόγηση στις διατομές α4νσ
α4νσ β6νσ	26 t	τυπική λύση χωρίς ΛΕΑ(...) εφαρμόζεται μετά από αιτιολόγηση στις διατομές α4νσ

Σχήμα 3.5. Τυπικές διατομές σε σήραγγα (α).

ανοικτό μήμα	αντιστοίχιση	περιγραφή
α4νσ	29.5 T	λύση προτεινόμενη σε εξαιρετικές περιπτώσεις
β4νσ	26 Tr	λύση εναλλακτική της 26T συνιστώμενη σε εξαιρετικές περιπτώσεις
β2+1 γ2	10.5 T	τυπική λύση
ε2	10.0 T	τυπική λύση

Σχήμα 3.6. Τυπικές διατομές σε σήραγγα (β).

Λοιπά Στοιχεία Σηράγγων

Για λόγους ασφάλειας της κυκλοφορίας στην σήραγγα ενδείκνυνται τα παρακάτω κατασκευαστικά στοιχεία:

Λωρίδα πολλαπλών χρήσεων

Η εφαρμογή ή όχι λωρίδας πολλαπλών χρήσεων προκύπτει από τεχνικοοικονομική ανάλυση σε συνάρτηση με τους κυκλοφοριακούς φόρτους, το μήκος της σήραγγας και τον τρόπο κατασκευής της.

4.4 Εσοχές έκτακτης στάθμευσης

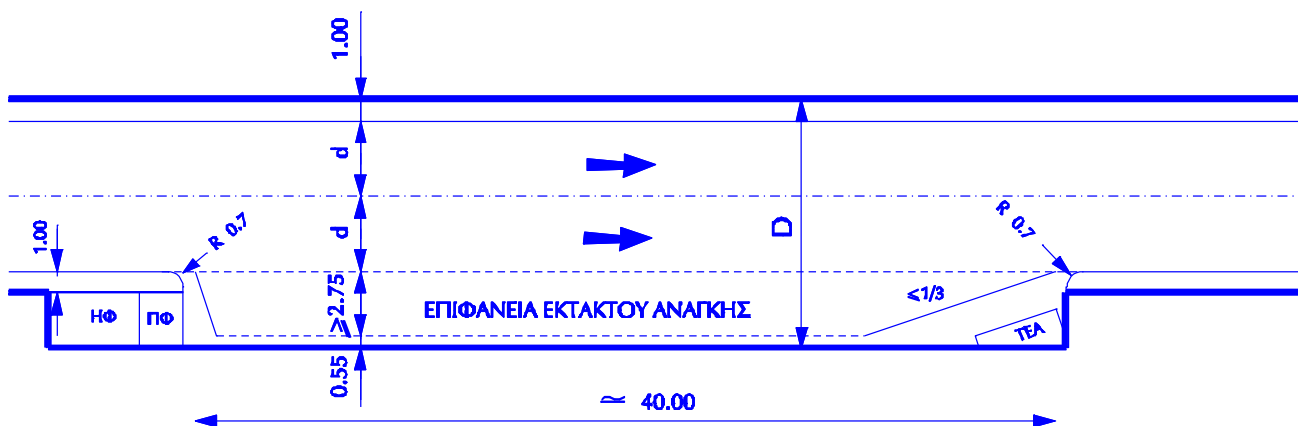
Οι εσοχές έκτακτης στάθμευσης προβλέπονται, όταν για λόγους οικονομίας δεν κατασκευάζονται λωρίδες πολλαπλών χρήσεων.

Είναι απαραίτητες όταν το μήκος της σήραγγας υπερβαίνει τα 1050m. Οι εσοχές αυτές πρέπει να απέχουν μεταξύ τους από 700m έως 1100m περίπου.

Σε σήραγγες διπλής κατεύθυνσης, οι εσοχές έκτακτης στάθμευσης πρέπει να διατάσσονται κατά το δυνατόν αντικριστά ή μία στην άλλη, ώστε να είναι δυνατή η αναστροφή οχημάτων.

Επιβάλλεται η σήμανσή τους καθώς και η ύπαρξη τηλεφώνου και πυροσβεστικού κρουνού.

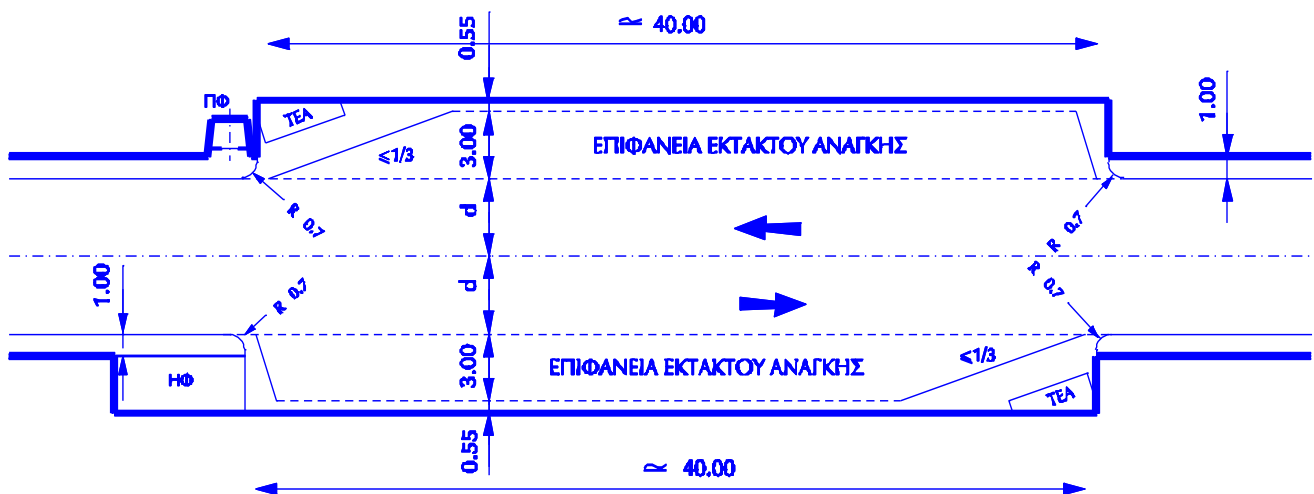
Στα σχήματα 3.7 και 3.8 απεικονίζονται οι τυπικές διαμορφώσεις μονόπλευρης και αμφίπλευρης αντίστοιχα εσοχής έκτακτης στάθμευσης.



Υπόμνημα (ενδεικτικές θέσεις) :

ΠΦ : Πυροσβεστική Φωλεά, ΗΦ : Η/Μ Φωλεά, ΤΕΑ : Τηλέφωνο Εκτάκτου Ανάγκης

Σχήμα 3.7. Τυπικές διαμορφώσεις μονόπλευρης εσοχής έκτακτης στάθμευσης.



Υπόμνημα (ενδεικτικές θέσεις) :

ΠΦ : Πυροσβεστική Φωλεά, ΗΦ : Η/Μ Φωλεά, ΤΕΑ : Τηλέφωνο Εκτάκτου Ανάγκης
Σχήμα 3.8. Τυπικές διαμορφώσεις αμφίπλευρης εσοχής έκτακτης στάθμευσης.

4.5 Έξοδοι διαφυγής πεζών

Σε σήραγγες, των οποίων το μήκος υπερβαίνει τα 700m, πρέπει να διατάσσονται εγκάρσιες έξοδοι διαφυγής περίπου ανά 350m, εφόσον το σύστημα εξαερισμού της σήραγγας σε περίπτωση πυρκαγιάς δεν παρέχει επαρκή ασφάλεια. Επιβάλλεται η σημασίη τους ανά 50m σε ύψος 1.0m – 1.5m από το πεζοδρόμιο με ένδειξη της απόστασης.

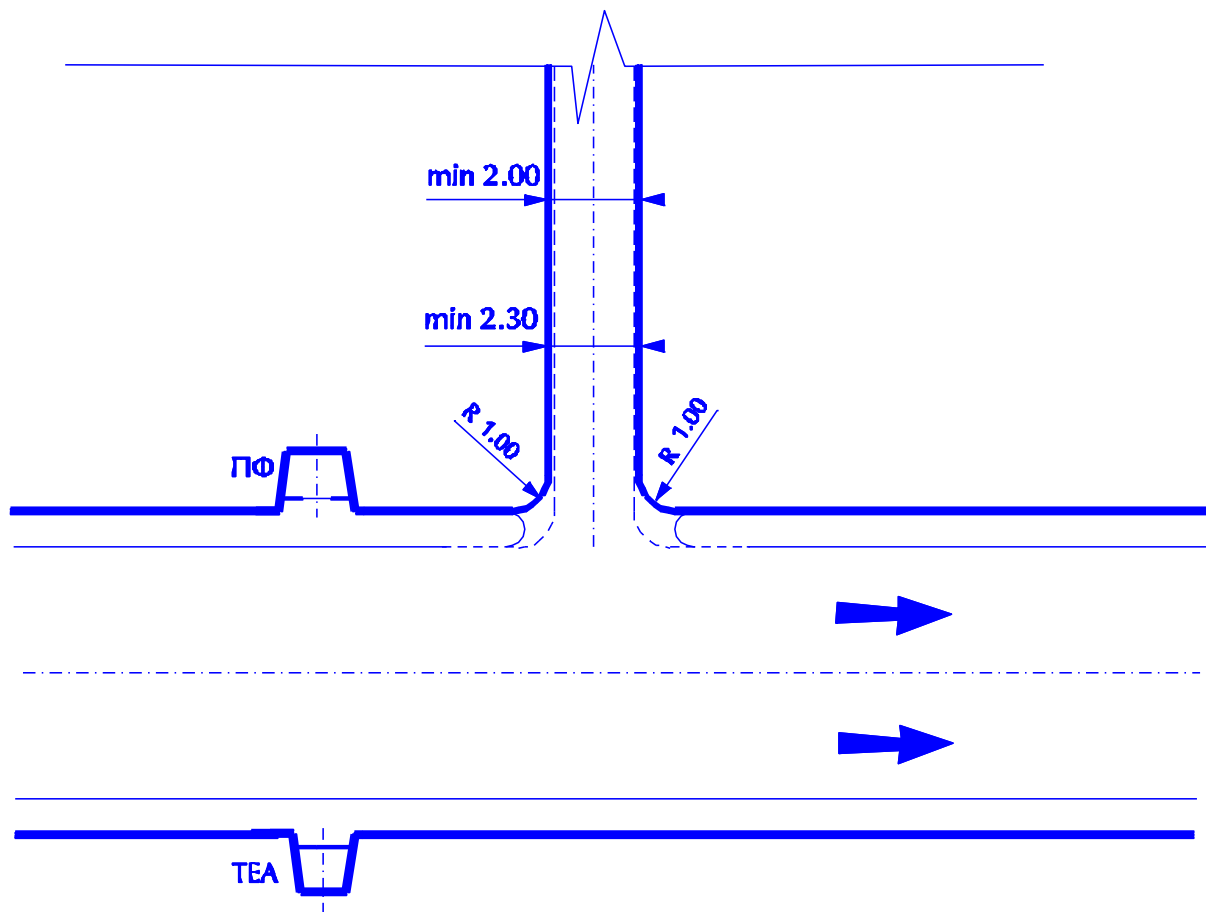
Σε σήραγγες διπλού κλάδου οι εγκάρσιες έξοδοι διαφυγής οδηγούν κατά κανόνα από την μία σήραγγα στην άλλη.

Στις μονές σήραγγες διπλής κατεύθυνσης, εφόσον δεν είναι δυνατή η επικοινωνία των εγκάρσιων σηράγγων διαφυγής με τον εξωτερικό χώρο πρέπει να προβλέπεται διαμήκης σήραγγα διαφυγής, με την οποία θα συνδέονται οι αντίστοιχες εγκάρσιες. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις μπορεί να προτείνονται και άλλοι τρόποι διαφυγής.

Οι εγκάρσιες έξοδοι διαφυγής πρέπει να κλείνουν με θύρες που να τοποθετούνται σε απόσταση περίπου 3,0m από την οριογραμμή της σήραγγας. Η περιοχή των θυρών πρέπει να διαμορφώνονται με μηδενική κατά μήκος κλίση και επίκλιση.

Στο Σχήμα 3.9 απεικονίζεται η τυπική διαμόρφωση μιας εγκάρσιας εξόδου διαφυγής πεζών. Οι διαστάσεις και τα όρια του περιτυπώματος των εγκάρσιων εξόδων διαφυγής πεζών δίδονται στο σχήμα 3.10.

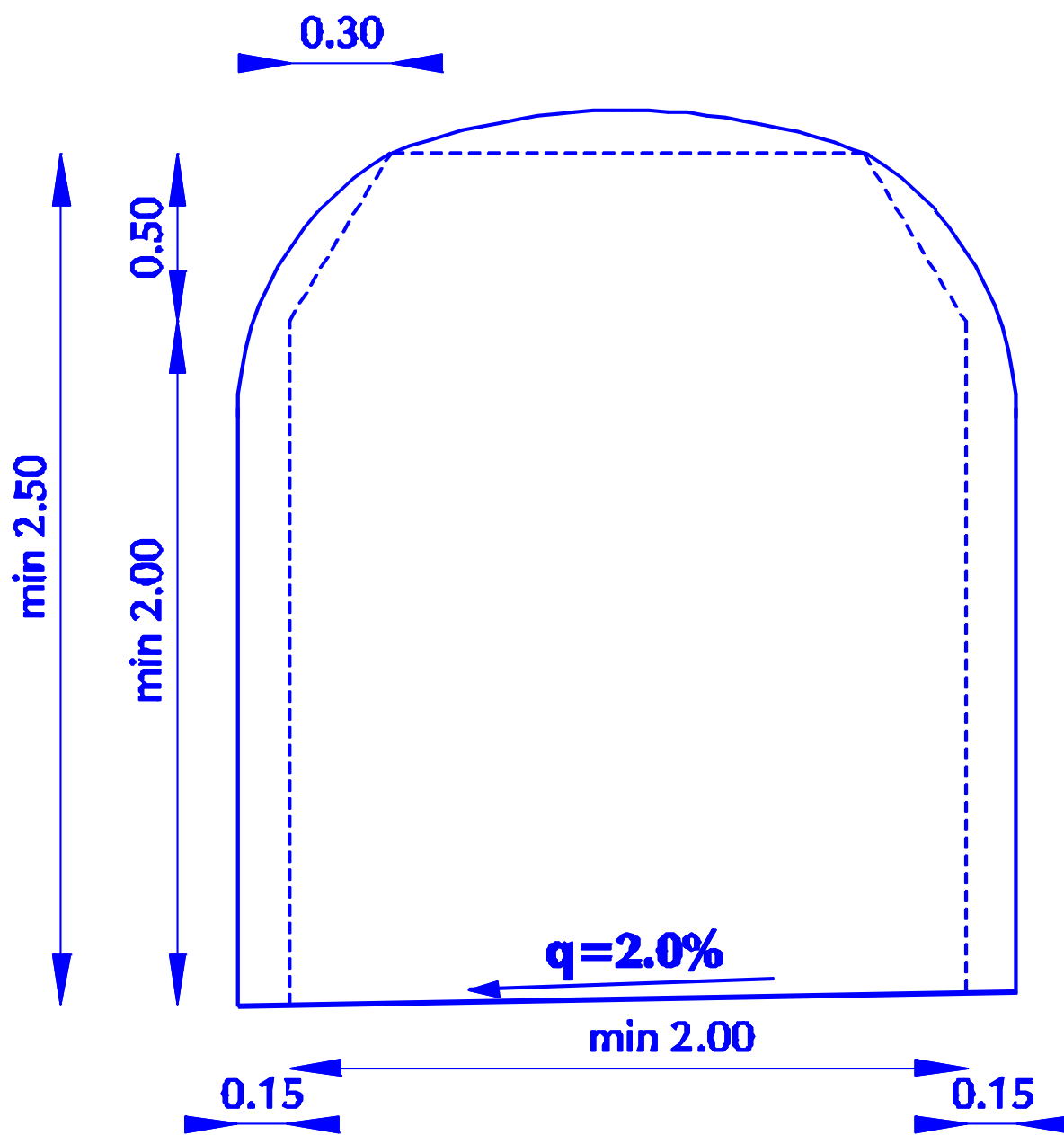
Η ελάχιστη κατά μήκος κλίση μιας εγκάρσιας εξόδου διαφυγής πεζών ανέρχεται σε 0,5% και η μέγιστη σε 10,0%. Η μηκοτομή της πρέπει να διαμορφώνεται κατά το δυνατόν με κυρτή κατακόρυφη καμπύλη. Το οδόστρωμα πρέπει να διαμορφώνεται μονοκλινές με τιμή επίκλισης ίση με 2,0%.



Υπόμνημα (ενδεικτικές θέσεις) :

ΠΦ : Πυροσβεστική Φωλεά, ΤΕΑ : Τηλέφωνο Εκτάκτου Ανάγκης

Σχήμα 3.9. Τυπική διαμόρφωση εξόδου διαφυγής πεζών (κάτοψη).



Σχήμα 3.10. Τυπική διαμόρφωση διατομής εξόδου διαφυγής πεζών.

4.6 Προσέγγιση οχημάτων εκτάκτου ανάγκης - έξοδοι διαφυγής οχημάτων

Οι εγκάρσιες έξοδοι διαφυγής ανά τρεις πρέπει να διαμορφώνονται έτσι, ώστε να είναι δυνατή η διέλευση προσέγγιση οχημάτων έκτακτης ανάγκης, όπως πυροσβεστικά οχήματα και ασθενοφόρα.

Στις υπόψη εξόδους, η επικοινωνία μεταξύ κλάδων σήραγγων θα περιλαμβάνει ξεχωριστές θύρες για την πρόσβαση οχημάτων εκτάκτου ανάγκης και διαφυγής προσώπων αντίστοιχα.

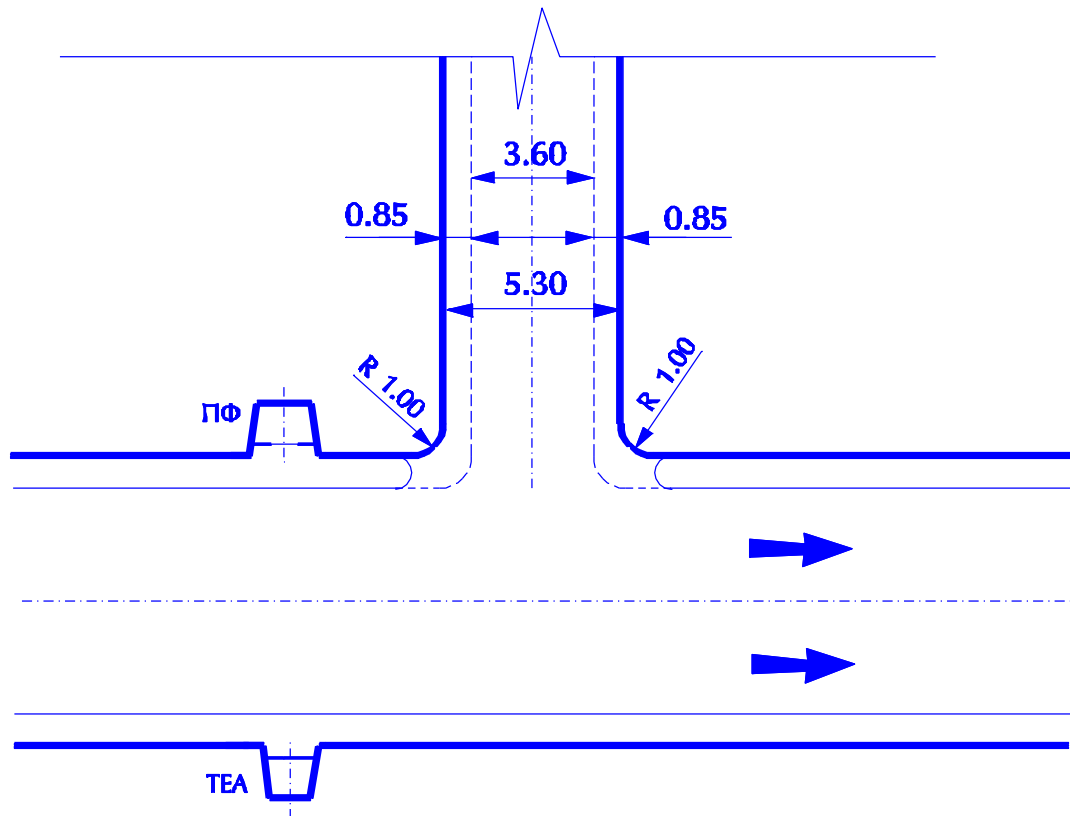
Η χωροθέτησή τους θα πρέπει κατά το δυνατόν να συνδυάζεται με τις εσοχές στάθμευσης εκτάκτου ανάγκης για λόγους διευκόλυνσης των ελιγμών εκτός και αν υπάρχουν βάσιμοι λόγοι οι οποίοι να απαγορεύουν κάτι τέτοιο.

Η κατά μήκος κλίση και η μηκοτομή τους θα πρέπει να διαμορφώνεται όπως και στις εγκάρσιες εξόδους διαφυγής πεζών. Πρέπει δε να προβλέπονται αποχετευτικά ρείθρα. Το οδόστρωμα πρέπει να διαμορφώνεται μονοκλινές με τιμή επίκλισης ίση με 2.5%.

Οι εγκάρσιες έξοδοι διαφυγής οχημάτων εκτάκτου ανάγκης – οχημάτων πρέπει να κλείνουν με θύρα η οποία θα τοποθετείται σε απόσταση περίπου 4.50m από την οριογραμμή της σήραγγας. Η περιοχή των θυρών πρέπει να διαμορφώνονται με μηδενική κατά μήκος κλίση και επίκλιση.

Στις σήραγγες με ιδιαίτερα μεγάλο μήκος (> 6km) και περί το μέσον αυτών, πρέπει να διατάσσεται εσοχή αναστροφής για οχήματα μεγάλου μήκους.

Στο Σχήμα 3.11 απεικονίζεται η τυπική διαμόρφωση σήραγγας προσέγγισης οχημάτων εκτάκτου ανάγκης.



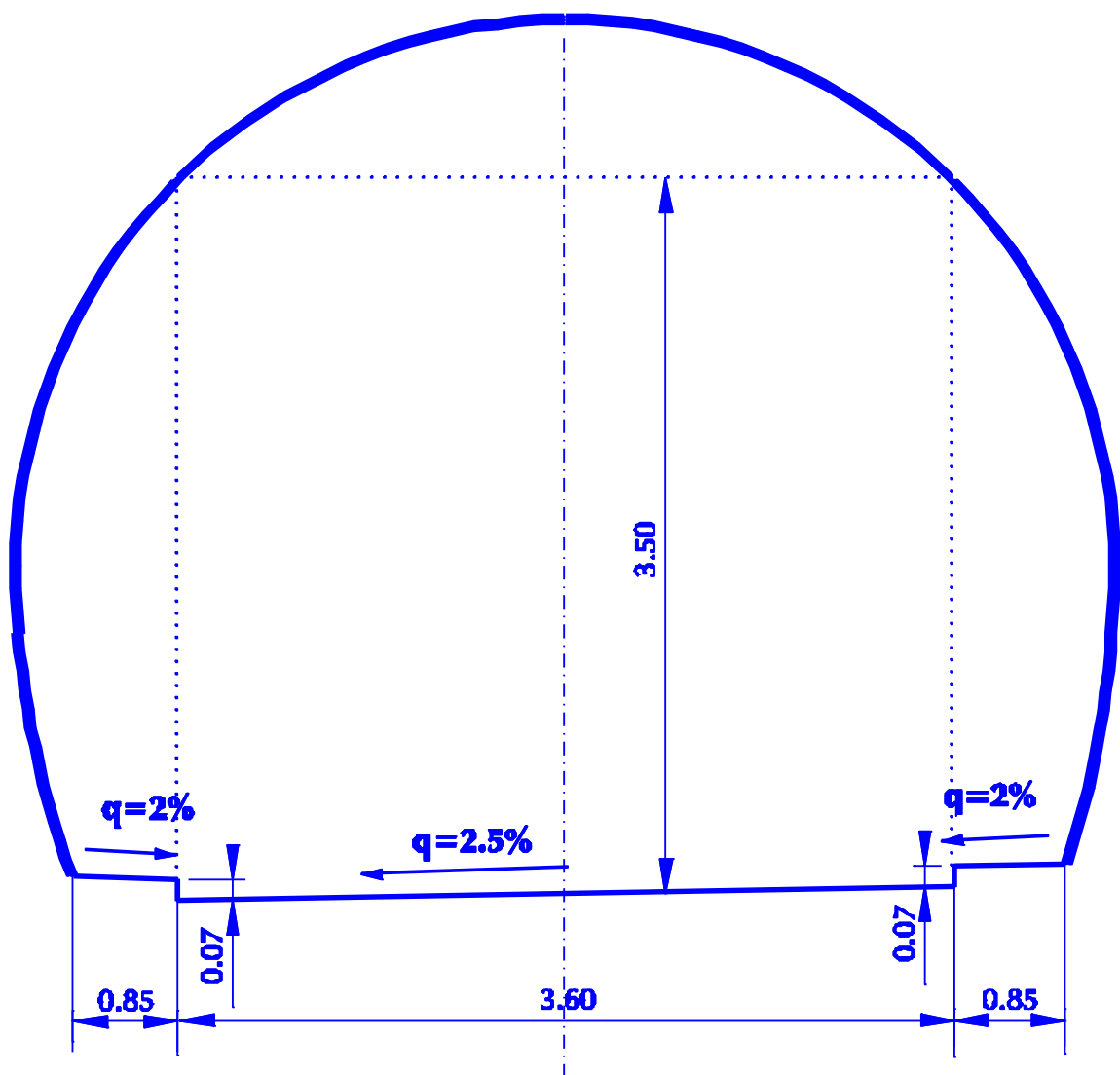
Υπόμνημα (ενδεικτικές θέσεις) :

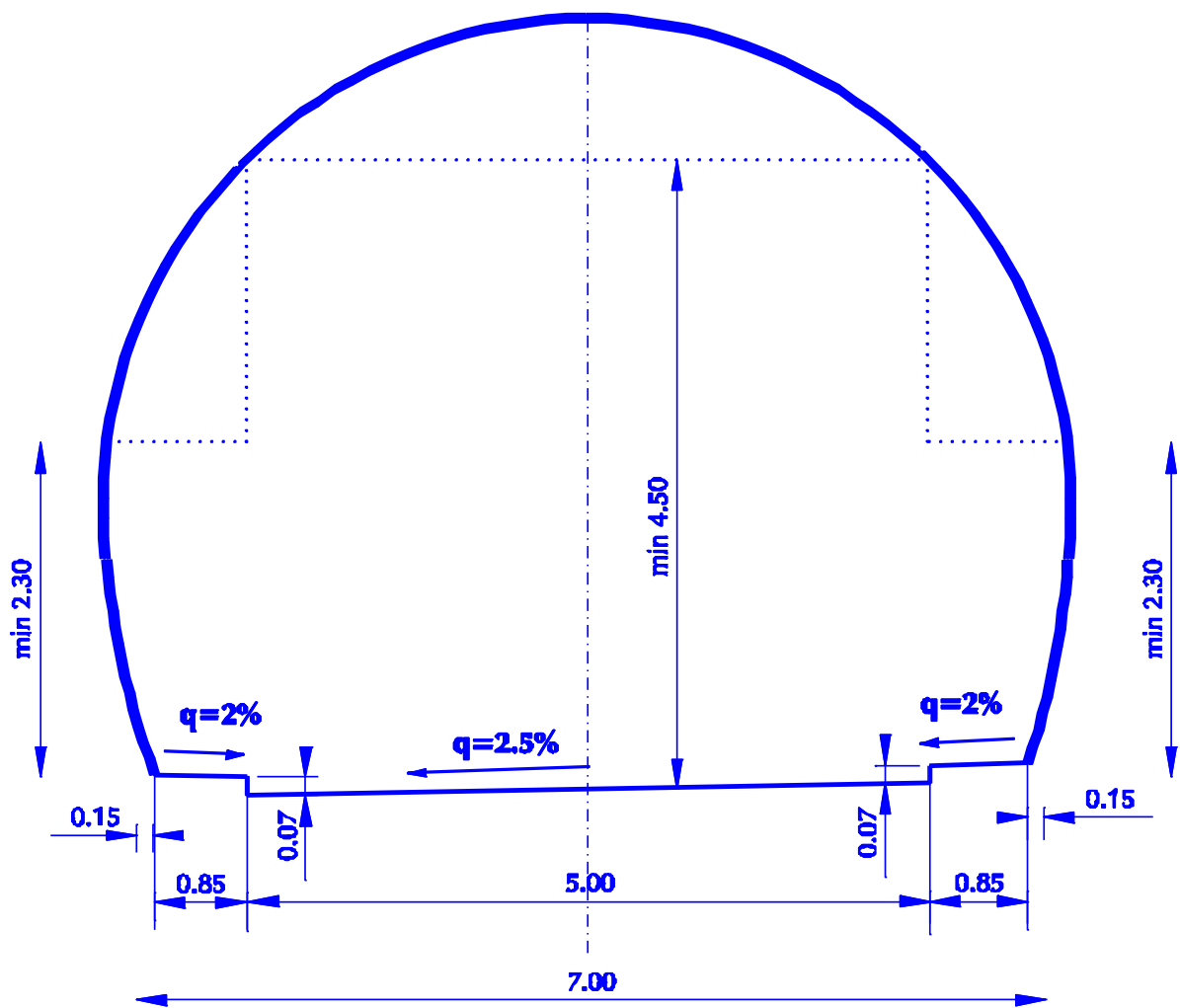
ΠΦ : Πυροσβεστική Φωλεά, TEA : Τηλέφωνο Εκτάκτου Ανάγκης

Σχήμα 3.11. Τυπική διαμόρφωση σήραγγας προσέγγισης οχημάτων εκτάκτου ανάγκης (κάτοψη).

Οι διαστάσεις και τα όρια του περιτυπώματος των εγκάρσιων εξόδων διαφυγής οχημάτων εκτάκτου ανάγκης και για οχήματα δίδονται στα σχήματα 5.12 και 5.13 αντίστοιχα.

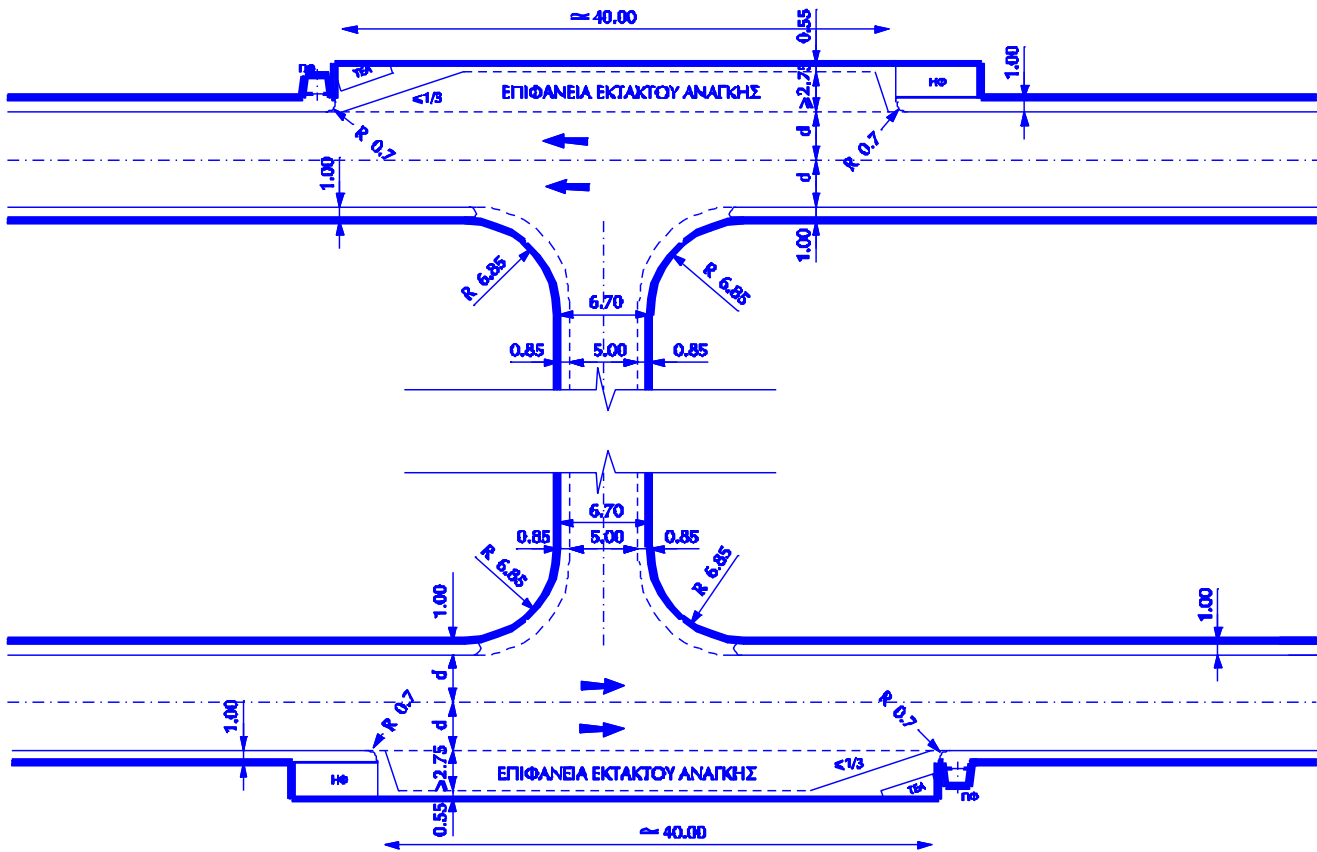
Σχήμα 5.12. Τυπική διατομή σήραγγας προσέγγισης οχημάτων εκτάκτου ανάγκης.





Σχήμα 3.13. Τυπική διατομή εξόδου διαφυγής οχημάτων.

Τέλος στο Σχήμα 3.14 απεικονίζεται συνδυασμός εγκάρσιας εξόδου διαφυγής οχημάτων και εσοχών στάθμευσης εκτάκτου ανάγκης σε δίδυμες σήραγγες.



Σχήμα 3.14. Τυπική διαμόρφωση εποχούμενης εγκάρσιας σήραγγας.

4.7 Πεζοδρόμια

Και από τις δύο πλευρές του οδοστρώματος πρέπει να διατάσσονται πεζοδρόμια για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης πλάτους τουλάχιστον 1,00m. Τα κράσπεδα πρέπει να έχουν ύψος 7 α.

Στις περιπτώσεις απαίτησης κυκλοφορίας πεζών στη σήραγγα (πχ. αστική σήραγγα), υπό κανονικές συνθήκες πρέπει να εξετασθεί η περίπτωση οροθέτησης ξεχωριστού στομίου. Αν αυτό δεν είναι δυνατόν απαιτείται η τοποθέτηση κιγκλιδώματος και η ύψωση του πεζοδρομίου τουλάχιστον κατά 0.50m από την επιφάνεια κυκλοφορίας, ενώ και στην περίπτωση αυτή ως ελάχιστο πλάτος πεζοδρομίου ορίζεται αυτό με πλάτος 1.00m (Design of Road Tunnels, 1999). Επισημαίνεται ότι στην περίπτωση αυτή απαιτείται αντίστοιχη προσαρμογή στα γεωμετρικά στοιχεία.

4.8 Έλεγχοι ύψους οχημάτων

Πριν την είσοδο σε μία σήραγγα είναι σκόπιμη η εγκατάσταση συστημάτων ελέγχου του ύψους των οχημάτων. Τα συστήματα ελέγχου του ύψους των οχημάτων πρέπει να τοποθετούνται έτσι, ώστε να είναι δυνατή η ακινητοποίηση ενός υψηλού οχήματος. Πρέπει δε προς τούτο το όχημα να είναι δυνατόν να σταματήσει σε παρακείμενη επιφάνεια πριν την σήραγγα ή να εισέλθει σε άλλη οδό πριν την είσοδο στην σήραγγα.

4.9 Κυκλοφοριακοί Περιορισμοί

Οι κυριότεροι κυκλοφοριακοί περιορισμοί που επιβάλλονται κατά την κίνηση οχημάτων σε σήραγγες είναι:

- απαγόρευση της προσπέρασης σε σήραγγες διπλής κατεύθυνσης
- απαγόρευση της αναστροφής στην κατεύθυνση κίνησης των οχημάτων εκτός και αν παραστεί έκτακτη ανάγκη (πχ. πυρκαγιά) και αφού προηγουμένως ζητηθεί ο υπόψη ελιγμός μέσω του προσωπικού συντήρησης της σήραγγας.
- απαγόρευση της στάσης με εξαίρεση την περίπτωση εκτάκτου περιστατικού αφή των φώτων πορείας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Υποστήριξη της διανοιγόμενης σήραγγας

Με τον όρο **υποστήριξη** γίνεται αναφορά σε όλα τα μέτρα εκείνα που πρέπει να ληφθούν κατά τη διάρκεια εκσκαφής η αμέσως μετά από αυτή, ενός υπόγειου ανοίγματος και τα οποία θα συντελέσουν στην ασφαλή διέλευση μέσα από αυτό αλλά και στην διατήριση του σχηματός του. Επιπλέον τα μέτρα άμεσης υποστήριξης αποβλέπουν στην ικανότητα ανάληψης φορτίου από την περιβάλλουσα βραχομάζα, προς αποφυγή κατάρρευσης αυτής λόγω βαρύτητας ή την εκδήλωση παρατεταμένων παραμορφώσεων της βραχομάζας, που δεν είναι αποδεκτές, πριν ολοκληρωθεί η κατασκευή της ρελικής επένδυσης. Ακόμα, προστατεύουν από κινδύνους καταστροφών τις κατασκευές, εξασφαλίζουν το εργαζόμενο προσωπικό από τον κίνδυνο ατυχημάτων και γενικά στοχεύουν στην ελάχιστη δυνατή διατάραξη επί της περιμέτρου της διάνοιξης.

Ο δε όρος **αντιστήριξη** περιλαμβάνει φορείς που αναλαμβάνουν και οριζόντια φορτία ή ωθήσεις πυθμένα, με γενικότερη αναφορά του όρου στην σταθεροποίηση του πετρώματος μέσω καθοδήγησης της ανακατανομής των τάσεων μέσα στο πέτρωμα και με την αύξηση της δυνατότητας του να αναλαμβάνει φορτία.

Οι όροι **προενίσχυση, προυποστήριξη** υποδηλώνουν τη δράση των μέτρων πριν ακόμη πραγματοποιηθεί η εκσκαφή στο χώρο δράσης τους. Συνεπώς, η προενίσχυση τοποθετείται όταν είναι αδύνατο να προσφέρουμε την απαραίτητη υποστήριξη αρκετά γρήγορα είτε θέλουμε να μειώσουμε τις μετακινήσεις στο ελάχιστο. Η μεγαλύτερη χρήση της προενίσχυσης γίνεται κατά την εξόρυξη με τη μέθοδο της κοπής και γόμωσης. Εφόσον υπάρχει προσπέλαση δυνάμεθα να προενισχύσουμε τη βραχομάζα πριν αρχίσουμε την εκσκαφή.

Η προενίσχυση επιτυγχάνεται συνήθως με ράβδους ή καλώδια πλήρους συνάφειας τα οποία δεν προεκτείνονται, δηλαδή λειτουργούν παθητικά. Η προενίσχυση αυτή επιτρέπει την ελεγχόμενη παραμόρφωση του πετρώματος και την ενεργοποίηση της αντοχής του, εμποδίζει δε τη διόγκωση και χαλάρωση του πετρώματος.

Σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιούμε εξοπλισμό πέραν του άμεσου αναγκαίου ο οποίος θα αναλάβει φορτίο σε μελλοντικό στάδιο. Η αποτελεσματικότητα αυτού του οπλισμού εξαρτάται από την συνάφεια μεταξύ του χάλυβα και του κονιάματος, και μεταξύ κονιάματος και βράχου. Οι δε τένοντες που χρησιμοποιούνται για την στερέωση της οροφής είναι κατασκευασμένα από σύρματα χάλυβα υψηλής αντοχής, ράβδους οπλισμού ή καλώδια. Οι τένοντες γενικά τοποθετούνται κάθετα στην επιφάνεια εκσκαφής, εφόσον όμως στοχεύουν στη σταθεροποίηση μιας κεκλιμένης ασυνέχειας πρέπει να τοποθετούνται με κλίση 20° έως 40° ως προς αυτή.

Η στήριξη και η ενίσχυση των πετρωμάτων είναι κάποια από τα βασικά μέτρα σταθεροποίησης των υπόγειων ανοιγμάτων. Η επίτευξη της όσο δυνατόν αποτελεσματικής στήριξης δύναται να υποβοηθήσει με κατάλληλη επιλογή του μεγέθους, του σχήματος και της διεύθυνσης της εκσκαφής, της αλληλουχίας των φάσεων εξόρυξης και τις εφαρμοζόμενες μεθόδους των ανατινάξεων.

Έως και πριν 40 χρόνια ο πτόπος δράσης της στήριξης ενός υπόγειου ανοίγματος θεωρείτο απλουστευτικά ως η υποστήριξη του υπερκείμενου χαλαρωμένου πετρώματος έναντι των δυνάμεων βαρύτητας. Η θεώρηση της αλληλεπίδρασης πετρώματος – υποστήριξης αναπτύχθηκε το 1960. Βασικό στοιχείο της σύλληψης

είναι αποτελεί η δυνατότητα χρησιμοποίησης της παραμένουσας αντοχής του πετρώματος, μετά τη διαρροή του, επί ωφέλειας της οικονομικής εκτέλεσης του έργου. Κατά επέκταση, η υποστήριξη θε είχε βασικότερο σκοπό τώρα τη δημιουργία συνθηκών περιορισμού και μικρότερο αυτών της ανάληψης των κλασικών φορτίων υποστήριξης από αυτήν.

Οι σύγχρονες τεχνικές σταθεροποίησης των πετρωμάτων προσπαθούν να μεταφέρουν όσο το δυνατόν περισσότερο φορτίο μέσα από το πέτρωμα. Για το λόγο αυτό δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στη διατήρηση της του πετρώματος και στην τριαξονικότητα της θλιπτικής του κατάστασης. Επομένως, ο κίνδυνος αστοχίας της κατασκευής στις σύγχρονες διανοίξεις δε βρίσκεται πλέον μόνο στις καταπτώσεις της οροφής αλλά και στην εισβολή του μετώπου, στις συγκλίσεις των πλευρών και στην ανύψωση του δαπέδου.

Ως μέτρα σταθεροποίησης αναφέρονται τα συνδυασμένα μέτρα αντιστήριξης και οπλισμού του πετρώματος. τα μέτρα σταθεροποίησης συχνά διακρίνονται σε προσωρινά και σε μόνιμα. Ως προσωρινή λειτουργία θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ότι έχουν τα χωρίς αντιδιαβρωτική προστασία αγκύρια. Οικονομικοί λόγοι και σύγχρονες δυνατότητες επιβάλλουν όλο και περισσότερα τη μόνιμη λειτουργία του συνόλου όλων των μέτρων σταθεροποίησης. Σήμερα, η σημαντικότερη διάκριση είναι μεταξύ αρχικών και τελικών μέτρων. Στα αρχικά μέτρα συχνά περιλαμβάνεται η εξωτερική επένδυση από εκτοξευμένο σκυρόδεμα ενώ στα τελικά μέτρα η εσωτερική επένδυση από έγχυτο σκυρόδεμα.

Παρακάτω αναφέρονται κάποια από τα μέτρα υποστήριξης που δίνονται να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή της σήραγγας , ανάλογα με τον τύπο διατομής αυτής , την κατηγορία του πετρώματος και τις λοιπές τοπικές συνθήκες.

- ✓ Χαλύβδινα πλαίσια
- ✓ Μεταλλικά δικτυωτά πλαίσια
- ✓ Ηλώσεις και απλά βλήτρα βράχου
- ✓ Μεταλλικό πλέγμα η χαλυβδινα συρματοπλέγματα
- ✓ Προενίσχυση πετρώματος με ενέσεις σταθεροποίησης
- ✓ Στοιχεία έγχυτου η προκατασκευασμένου σκυροδέματος
- ✓ Μεταλλικά ελάσματα ή ράβδοι ή δοκοί προπορείας
- ✓ Εκτοξευμένο σκυρόδεμα, ινοπλισμένο με χαλύβδινες ίνες η μη ινοπλισμένο



Μέτωπο εκσκαφής κατά τη διάνοιξη

5.1 Προήγηση των στοιχείων της άμεσης υποστήριξης

Στις περιπτώσεις κατηγοριών ασθενών πετρωμάτων, που παρουσιάζουν μικρό χρόνο αυτοϋποστήριξης, απαιτείται πολλές φορές, η ενίσχυση του θόλου της εκσκαφής με ορισμένα συστήματα που προχωρούν εμπρός από την κυρίως διάνοιξη, όπως είναι τα ακόλουθα:

- Προήγηση μεταλλικών λαμαρίνων

Αυτό το σύστημα εφαρμόζεται σε μετρίας συνεκτικότητας πετρώματα, όπου γίνεται χρήση μεταλλικών πλαισίων. Μετα την τοποθέτηση του τελευταίου πλαισίου, κατά την έναρξη της επόμενης φάσης εκσκαφής, σκάπτεται προσεκτικά με χειροπίστολο, περιμετρικό αυλάκι μέσα στη βραχομάζα, στο οποίο σφηνώνονται οι λαμαρίνες προπορείας. Πρός την πλευρά του πλαισίου, που έχει είδη εγκατασταθεί, έχουν περαστεί πάνω από το εξωρράχιο του και έτσι λειτουργούν σαν ένα στέγαστρο, που προστατεύει τους εργαζόμενους στις επόμενες φάσεις της διάνοιξης.

- Χαλύβδινοι δοκοί προπορείας

το σύστημα αυτό περιλαμβάνει τη χρήση μεταλλικών δοκών προπορείας, οι οποίοι μπορεί να είναι σιδηροσωλήνες χωρίς ραφή. Τοποθετούνται είτε σε οπές που διανοίγονται αμέσως πριν από την

εκσκαφή, είτε με ώθηση με μηχανικά μέσα. Οι εν λόγω οπές διανοίγονται με διατρητικό μηχάνημα jumpo. Η διάταξη που ακολουθούν σχηματίζει μια κωνοειδή επιφάνεια, υπο την προστασία της γίνονται αρκετά βήματα προσχώρησης της εκσκαφής της σήραγγας με ασφάλεια. Πρίν εξαντληθεί το μήκος της «ομπρέλας», αρχίζει να τοποθετείται η επόμενη «ομπρέλα» και έτσι οι εργασίες στη σήραγγα εκτελούνται από τη συνεχή προστασία της «ομπρέλας». Κατά τη διάνοιξη σήραγγών σε εδάφη με προβλήματα αστάθειας, εφαρμόζεται η τεχνική της τοποθέτησης μεταλλικών δοκών προπορείας για την υποστήριξη του μετώπου και του άσκαπτου μέρους ώστε η εκσκαφή του βήματος προσχώρησης να γίνεται με ασφάλεια.

Η λειτουργία των δοκών προπορείας βασίζεται στην ενίσχυση και συγκράτηση του εδάφους έναντι καταπτώσεων και λειτουργία τόξου μεταξύ των δοκών, λόγω της αυξημένης ακαμψίας.

Η τοποθέτηση δοκών προπορείας θεωρείται ως το πλέον ενδεδειγμένο άμεσο μέτρο προστασίας της ορογής της σήραγγας έναντι καταπτώσεων και δημιουργίας θόλου, όπου είτε λόγω του χαμηλού πάχους υπερκειμένων, είτε των υψηλών τιμών εντατικού πεδίου, είτε λόγω της φύσης του εδάφους και των διαστάσεων της σήραγγας, δύναται να επεκταθεί σε μεγάλο ύψος. Λαμβάνοντας υπόψη τη φύση του γεωλογικού σχηματισμού που αναπτύσσεται σε συγκεκριμένη περιοχή του έργου δύναται να με ασφάλεια να θεωρηθεί ότι η ενδιάμεση βραχομάζα μεταξύ των δοκών προπορείας και των πλαισίων θα λειτουργεί ως πρακτικά άκαμπτο παρέμβυσμα.

Οι μεταλλικοί αυτοί σωλήνες έχουν την ιδιότητα να δένουν μεταξύ τους όγκους βραχομάζας, που προκύπτουν κατά την εκσκαφή, σχηματίζοντας έναν κόλouro κώνο, που βελτιώνει τα χαρακτηριστικά αντοχής του εδάφους περιμετρικά της περιοχής που θα εκσκαφεί.

Οι δοκοί προπορείας τοποθετούνται σε διάταξη που να σχηματίζεται μια κωνοειδής επιφάνεια, υπό την προστασία της οποίας γίνονται αρκετά βήματα προσχώρησης με ασφάλεια. Συγκεκριμένα τοποθετούνται κατά τις γενέτιρες κωλουροκωνικής επιφάνειας με άξονα παράλληλο προς τον αξονά της σήραγγας. Πρίν εξαντληθεί το μήκος της «ομπρέλας» κατά 2 βήματα προσχώρησης, αρχίζει να τοποθετείται η επόμενη «ομπρέλα». Έτσι ώστε οι εργασίες στη σήραγγα να εκτελούνται υπό την συνεχή προστασία της «ομπρέλας». Οι «ομπρέλες» των δοκών προπορείας απέχουν μεταξύ τους 8μ. ώστε η προηγούμενη να υπέρκειται της επόμενης επί μήκους περίπου 4μ.

Η διαδικασία της μεθόδου περιλαμβάνει τη διάτρηση και έπειτα εγκατάσταση μεταλλικών σωλήνων στο έδαφος κατά μήκος της εξωτερικής περιμέτρου του τόξου της σήραγγας. Μετά τη διάτρηση οι σωλήνες τοποθετούνται και σκυροδετούνται με τσιμεντεμένα το οποίο διεισδύει μέσω οπών που υπάρχουν στα τοιχώματα των σωλήνων προς το έδαφος, σχηματίζοντας έτσι ένα κάλυμμα στην περιφέρεια της σήραγγας.

Ακόμα πρέπει να εξασφαλίζεται η ικανοποιητική έδραση των δοκών και στις πλευρές στήριξης. Το άκρο των δοκών προπορείας προς το μέτωπο του στομίου πρέπει να εδράζεται επί μεταλλικών πλαισίων τα οποία τοποθετούνται σε αξονικές αποστάσεις 1μ. ενώ το άκρο τους προς το εσωτερικό της σήραγγας πρέπει κάθε φορά να είναι επαρκώς

εμπηγμένο εντός της βραχομάζας ώστε να αποφευχθεί η φόρτηση των δοκών προπορείας με μηχανισμό προβόλου.



ΠΡΟΣΩΡΙΝΑ ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ (ΑΓΚΥΡΙΑ –ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΠΛΕΓΜΑ-ΔΙΚΤΥΩΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ –ΓΚΑΝΑΪΤ)



ΜΟΝΙΜΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ «ΣΙΔΕΡΩΜΑ» ΔΑΠΕΔΟΥ (ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΕΠΙΣΗΣ ΑΓΚΥΡΙΑ ΚΑΙ ΛΟΙΠΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ)

- Προενίσχυση πετρώματος

Η εργασία αυτή εκτελείται ύστερα από εκτιμήσεις της γεωτεχνικής μελέτης, κυρίως με τσιμεντενέσεις σταθεροποίησης του πετρώματος καθώς και χρήση εκτοξευμένου σκυροδέματος σε κάθε τμήμα της υπο διάνοιξης σήραγγα.



5.2 Εκτοξευμένο σκυρόδεμα-Αγκύρια βράχου

Για όλες τις κατηγορίες πετρωμάτων βασικό μέτρο υποστήριξης αποτελούν το εκτοξευμένο σκυρόδεμα, οι ήλοι/αγκύρια βράχου καθώς και τα άλλα βλήτρα βράχου.

Στην περιοχή του μετώπου, το εκτοξευμένο σκυρόδεμα τοποθετείται αμέσως μετά την εκσκαφή, πολλές φορές κατά τη διάρκεια της εκσκαφής και συγχρόνως με την αποκομιδή των προϊόντων της εκσκαφής, σε μια λεπτή στρώση ενδεικτικού πάχους 3 έως 5 cm. Η άμεση τοποθέτηση του εκτοξευμένου σκυροδέματος έχει ως απώτερο στόχο να περιορίσει τις μετακινήσεις της βραχομάζας και να επιμηκύνει το χρόνο αυτόυποστήριξης του πετρώματος μετά την εκσκαφή.

Παράλληλα με την πρώτη στρώση του εκτοξευμένου σκυροδέματος τοποθετούνται, σε χαρακτηριστικές θέσεις του μετώπου, αγκύρια βράχου σε μικρό αριθμό, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η συνοχή της διατομής.

Μετά την ολοκλήρωση της απομάκρυνσης των προϊόντων της εκσκαφής, ουσιαστικά αρχίζει η φάση λήψης της πλήρης σειράς των μέτρων άμεσης υποστήριξης, που χρονικά δεν πρέπει να διαφέρει από την προηγούμενη, και είναι η στρώση εκτοξευμένου σκυροδέματος μη ινοπλισμένου με χαλύβδινες ίνες ή και οπλισμένου με μεταλλικό πλέγμα και η συμπλήρωση του αριθμού των αγκυρίων που προβλέπεται. Με αυτών το τρόπο ολοκληρώνεται η κατασκευή μέτρων άμεσης υποστήριξης που προβλεπονται από την εγκεκριμένη μελέτη, μέσα σε ελάχιστο χρονικό διάστημα από την εκσκαφή.

5.3 Εκτοξευμένο σκυρόδεμα – Μεταλλικά πλαίσια

Στην περίπτωση που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν μεταλλικά πλαίσια αμέσως μετά την εκσκαφή, τοποθετείται στρώση εκτοξευμένου σκυροδέματος, ινοπλισμένου με χαλύβδινες ίνες ή μη ινοπλισμένου πάχους 3 έως 5 cm. για να προλάβει την έντονη αποτώνοση της βραχομάζας. Αμέσως μετά ακολουθεί η τοποθέτηση του χαλύβδινου πλαισίου το οποίο πρέπει να σφηνώνεται στην επιφάνεια της πρώτης στρώσης του εκτοξευμένου σκυροδέματος είτε με προκατασκευασμένους τάκους από σκυρόδεμα, είτε με μεταλλικές σφήνες έτσι ώστε να αποφεύγεται κάθε σοβαρή μετακίνηση βραχομάζας.

Κατά τη διάρκεια σφήνωσης του χαλύβδινου μεταλλικού πλαισίου τοποθετείται και το μεταλλικό πλέγμα ώστε έπειτα να είναι ευκολη η τελική τοποθέτηση της οριστικής στρώσης εκτοξευμένου σκυροδέματος.

Οι εργασίες που αποτελούν τη δεύτερη φάση είναι η συμπλήρωση του εκτοξευμένου σκυροδέματος στο στατικό του πάχος και η καλή σφήνωση του πλαισίου στην περιοχή της θεμελιωσής του, καθώς επίσης και η κατα μήκος συνδεσή του με διαμήκεις συνδέσμους με τα προηγούμενα πλαίσια.

Διαφορετική επίσης είναι και η περίπτωση κατηγορίας πετρωμάτων στην οποία έχει εκτιμηθεί ότι πρέπει να κατασκευαστεί ανεστραμένο τόξο πυθμένα.

Στην περίπτωση αυτή η εκσκαφή, η άμεση υποστύλωση και η κατασκευή του ανεστραμένου τόξου πυθμένα πρέπει να ολοκληρώνεται άμεσα προκειμένου να επιτευχθεί η συνολική λειτουργία του στατικού δακτυλίου της άμεσης υποστήριξης ενώ η κατασκευή του πυθμένα με ανεστραμένο θόλο πρέπει να γίνεται στις επόμενες φάσεις.

Εικόνα(εκτοξευμένο σκυρόδεμα)



5.4 Στεγανοποιητικός φορέας της σήραγγας

Κατά την κατασκευή του παρόντος έργου προκείμενου απαιτήσεις πλήρους στεγάνωσης της διατομής της σήραγγας, από τα ύδατα της βραχομάζας, διότι τοθτο εξυπηρετεί καλύτερα τις ανάγκες κυκλοφορίας της σήραγγας και συγχρόνως παρέχει ασφάλεια των κατασκευών της από την παρουσία υδάτων. Διαφορετικά ενδέχεται η πιθανότητα εμφάνισης κινδύνων βραχυκυκλωμάτων στις Η/Μ εγκαταστάσεις και διάβρωση των κατασκευών από σκυρόδεμα. Η ικανοποίηση της βασικής απαίτησης της σήραγγας για στεγανότητα επιτρέπει τον υπολογισμό της τελικής απίτησης της σήραγγας χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το φορτίο από υδροστατική πίεση, λόγω συγκέντρωσης υδάτων, γεγονός που τελικά σημαίνει εξοικονόμηση δαπάνης κατά την κατασκευή της τελικής επένδυσης. Ο βαθμός της στεγανότητας και η έκταση των εργασιών στεγάνωσης καθορίζονται σύμφωνα με των ελάχιστη επιτρεπόμενη ποσότητα υδάτων.

Πλήρης στεγάνωση των κατασκευών επιτυγχάνεται με τη χρήση γεωυφασμάτων και στεγανωτικών μεμβράνων, τα οποία τοποθετούνται περιμετρικά της διατομής της σήραγγας.

Η στεγανοποίηση των σηράγγων αποβλέπει στα ακόλουθα αποτελέσματα:

- Απαλλαγή της τελικής επένδυσης της σήραγγας από υδροστατικό φορτίο.
- Περιορισμό της υγρασίας μέσα στη σήραγγα, γεγονός που θα παρεμπόδιζε την ορθή λειτουργία της.
- Αποφυγή ροών υδάτων που θα επέτρεπαν αποπλύσεις και θα ευνοούσαν διαβρώσεις.
- Εξασφάλιση καθοδηγημένης απαγωγής όλων των εμφανίσεων υδάτων μέσω του συστήματος αποστράγγισης.

Τον καθορισμό των απαιτήσεων στεγάνωσης επιρεάζουν:

- Γεωλογικές συνθήκες.
- Αναμενόμενες φορτίσεις από τη βραχομάζα.
- Χημικές ιδιότητες του ύδατος και του πετρώματος.
- Τρόπος κατασκευής του έργου.
- Απαιτήσης στεγανότητας σε σχέση με τη χρήση της σήραγγας, όπως οδική σήραγγα, σήραγγα ΜΕΤΡΟ.
- Αναμενόμενες παραμορφώσεις, καθιζήσεις και σχετικές μετακινήσεις των στεγανοποιημένων τμημάτων της σήραγγας.
- Αντιμετώπιση της υδροστατικής πίεσης από εργασίες στεγάνωσης.

Σχεδιασμός , υπολογιστική προσέγγιση & κατασκευαστικά στοιχεία των σήραγγων.

- Πολύ συχνά οι αποστραγγίσεις φράσσονται από ασβεστικά καθιζήματα τα οποία δημιουργούνται όταν το υπόγειο νερό έρχεται σε επαφή με τον αέρα που κυκλοφορεί στους αποστραγγιστικούς αγωγούς.
- Μια στεγανοποίηση για πιέσεις έως 3atm , που ισοδυναμεί με 30 μέτρα υδάτινης στήλης, δεν επιφέρει σχεδόν καμία οικονομική επιβάρυνση.
- Απαλλαγή της τελικής επένδυσης της σήραγγας από υδροστατικό φορτίο.
- Περιορισμός της εργασίας μέσα στη σήραγγα, γεγονός που θα επιβάρυνε την ορθή λειτουργία αυτής.
- Αποφυγή ροών ύδατος τα οποία θα επέτρεπαν αποπλύσεις και θα ευνοούσαν διαβρώσεις.
- Εξασφάλιση καθοδηγούμενης απαγωγής όλων των εμφανίσεων των υδάτων μέσω του συστήματος στράγγισης.

Η διαστρωμάτωση των εργασιών κατασκευής του τελικού φορέα της σήραγγας, εντελώς αναφορικά, κατά σειρά πραγματοποίησης συνίσταται στα ακόλουθα.

- Υπάρχει, καταρχήν η επιφάνεια της βραχομάζας.
- Διάστρωση του εκτοξευμένου σκυροδέματος της άμεσης υποστήριξης, πάνω στην επιφάνεια της βραχομάζας.
- Εντός του εκτοξευμένου σκυροδέματος αναπτύσσεται το δίκτυο πλαστικών αγωγών των υδρομαστεύσεων, οι οποίες πραγματοποιούνται στις περιοχές μεγάλης υδροφορίας.
- Πάνω στην επιφάνεια του εκτοξευμένου σκυροδέματος αναπτύσσεται το δίκτυο των πλαστικών αγωγών των υδρομαστεύσεων, οι οποίες πραγματοποιούνται σε περιοχές μεγάλης υδροφορίας.
- Τοποθέτηση των μέσων στερέωσης της μονωτικής μεμβράνης πάνω στο γεωύφασμα.
- Τοποθέτηση με θερμοσυγκόλληση, της στεγανωτικής μεμβράνης πάχους 2,0 χιλιοστά.
- Τοποθέτηση προστετευτικής στρώσης.
- Ανάρτηση του προβλεπόμενου οπλισμού.
- Κατασκευή της τελικής επένδυσης της σήραγγας.

5.4.1 Υδρομαστευτική στρώση

Ο ρόλος του γεωυφάσματος χαρακτηρίζεται διπλός και καθιστά ιδιαίτερα σημαντική τη λειτουργία του. Η υδρομαστευτική στρώση (γεωύφασμα) χρησιμοποιείται αφενός μεν για προστατεύσει τη στεγανοποιητική μεμβράνη η οποία κινδυνεύει να πληγωθεί από πιθανές καταπονήσεις μηχανικής, χημικής, θερμικής και υδραυλικής πίεσης, από πίεση της επάνω σε κάποιο προεξέχον τμήμα της άμεσης υποστήριξης, αφετέρου για να δημιουργηθεί μια αποστραγγιστική στρώση περιμετρικά της

διατομής δια της οποίας θα απάγεται το νερό και θα οδηγείται στους κατα μήκος συλλεκτικούς αγωγούς δια των οποίων και θα απομακρύνονται. Ως εκ τούτου αποφεύγεται η αύξηση της υδροστατικής πίεσης.

Η διάταξη της υδρομαστευτικής στρώσης εκτείνεται ακτινικά πάνω στην επιφάνεια του θόλου και των παρειών της σήραγγας και απολήγει στη σύνδεση με τον αποσταγγιστικό σωλήνα, στη βάση της διατομής, δηλαδή στο σημείο επαφής των παρειών με το πυθμένα της σήραγγας. Τα δε φύλλα του γεωυφάσματος επικαλύπτονται μεταξύ τους κατά 20 έως 30 cm.

Σε περιοχές μεγάλης υδροφορίας συνίσταται η τοποθέτηση διπλής στρώσης γεωυφάσματος ώστε να εξαληφθούν όσο το δυνατόν καλύτερα οι συνθήκες αποστράγγισης της βραχομάζας και να οδηγηθούν ασφαλώς τα ύδατα της βραχομάζας προς το κάτω μέρος της παρειάς της σήραγγας, όπου είναι τοποθετημένος ο διάτρητος αγωγός.

Προκειμένου να διασφαλισθεί η λειτουργία του γεωυφάσματος είναι απαραίτητο ο τύπος του χαρακτηρίζεται από υψηλές μηχανικές ιδιότητες ώστε να αντιμετωπισθούν οι αναμενόμενες εφελκυστικές και διατμητικές δυνάμεις που θα αναπτυχθούν περιμετρικά της διατομής, εξαιτίας των πιέσεων των υπερκείμενων πετρωμάτων καθώς και υδροστατικές πιέσεις λόγω της ύπαρξης του υδροφόρου ορίζοντα. Επιπροσθέτως πρέπει η υδατοπερατότητά της, για δεδομένες συνθήκες πίεσης, να είναι επαρκής. Συνεπώς τα υλικά κατασκευής του γεωυφάσματος πρέπει να είναι ανθεκτικά στη διαβρωτική – αποσαρρωτική δράση βιολογικών και χημικών παραγόντων.

Η εφαρμογή του γεωυφάσματος, όπως και της στεγανωτικής μεμβράνης πραγματοποιείται με χρήση ειδικού ηλεκτροκίνητου, τηλεχειριζόμενου ικριώματος, μήκους 6.0 m, το οποίο καλύπτει ολόκληρο το ανάπτυγμα της σήραγγας.

Εικόνα(γεωύφασμα)



5.4.2 Στεγανοποιητική μεμβράνη

Η υδατοστεγής μεμβράνη αποκλείει εντελώς τη διείσδυση ύδατος μέσα στην μόνιμη επένδυση, εκτρέποντας τα ύδατα της βραχομάζας προς τον αποστραγγιστικό αγωγό και εξασφαλίζοντας έτσι την πλήρη στεγάνωση της διατομής χρήσης της σήραγγας.

Έτσι δημιουργείται στο εξωρράχιο της τελικής επένδυσης ένας «στεγανός αγωγός», που επιτρέπει την ασφαλή συνέχιση των εργασιών της τελικής επένδυσης, απαλλαγμένης από τα ύδατα της βραχομάζας και γενικότερα τη λειτουργία της σήραγγας υπό συνθήκες στεγανότητας. Ουσιαστικά αποτελεί το κύριο συστατικό της υδατοστεγανής επένδυσης, γεγονός από το οποίο καθορίζεται ο βαθμός υδατοστεγάνωσης.

Η στεγανωτική στρώση είναι κατασκευασμένη από χλωριούχο πολυβινύλιο, ονομάζεται FLAGON BSL, έχει πάχος 2.0mm. και διατίθεται στο εμπόριο σε φύλλα τυποποιημένων διαστάσεων.

Η μεμβράνη στεγανοποίησης πρέπει να τοποθετείται σωστά, ιδιαίτερα στην περιοχή του εσωραχίου και τις ανωμαλίες που δημιουργούνται κατά την εκσκαφή των σιράγγων καθώς παραμένει και μετά τη διάστρωση του εκτοξευμένου σκυροδέματος. Είναι προτιμότερο οι εργασίες στεγάνωσης να αρχίζουν μόνο αφού η σήραγγα έχει πλήρως ανοιχθεί.

Σύστημα μόνης μεμβράνης

- Αποστράγγιση.
- Εκτοξευμένο σκυρόδεμα.
- FPO/PVC πολυμερείς μεμβράνες στεγάνωσης.
- Water stop εάν απαιτείται .
- Προστατευτική στρώση.
- Οπλισμένο σκυρόδεμα της εσωτερικής διαμόρφωσης.
- Ενέσιμο έγχυμα πλήρωσης πωγμών από συνθετικές ρητίνες.
- Στεγάνωση καταστρώματος

Παρόλο που η στεγανοποίηση με φύλλα θερμοπλάστ έδωσε καλά μέχρι τώρα αποτελέσματα , εν τούτοις η μέχρι τώρα εμπειρία μας δεν επιτρέπει κρίση σχετικά με την διάρκεια διατηρησεώς του. Τέλεια στεγανοποίηση δίνει, υπό σημερινές συνθήκες, η χρησιμοποίηση θωράκισης από ασάλι, η οποία όμως λόγω υψηλού κόστους χρησιμοποιείται σήμερα σπανίως . η στεγανοποίηση με ασάλι μπορεί να γίνει στην εξωτερική επιφάνεια της σήραγγας.



(στεγανοποίηση με ασφάλι

5.4.3 Αποστράγγιση υπόγειου ανοίγματος κατά την φάση όρυξης

Για τον καθορισμό των απαιτούμενων μέτρων αποστράγγισης του υπόγειου τμήματος της σήραγγας συναξιολογούνται τα ακόλουθα στοιχεία.

- Οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής του έργου.
- Η φύση των γεωλογικών σχηματισμών που εντοπίζονται στην περιοχή του έργου.
- Η αναμενόμενη βελτίωση της συμπεριφοράς της υπόγειας εκσκαφής με τη διενέργεια της αποστράγγισης.

Βάσει των ανωτέρω συνάγεται ότι κατά μήκος του υπόγειου τμήματος της σήραγγας δεν αναπτύσσεται υδροφόρος ορίζοντας. Ενδέχεται όμως να αναπτυχθούν εγκλωβισμένοι υδροφόροι ορίζοντες, μικρής δυναμότητας, καρστικά έγκοιλα στα οποία δίνεται η δυνατότητα εκτόνωσης, με τη δημιουργία εκσκαφής της σήραγγας.

Το αποστραγγιστικό σύστημα μιας σήραγγας αποτελείται από δύο κύρια τμήματα. Από ένα δίκτυο συγκεντρώσεως των υδάτων, που είναι καταμεμημένο πάνω από τη διατομή της σήραγγας και από τα αυλάκια απαγωγής, που είναι διατεταγμένα κατά μήκος του άξονα της σήραγγας. Το νερό που συλέγεται στη σήραγγα απάγεται, εκτίο

αυτού, με τη βοήθεια ενός αυλακιού το οποίο κατασκευάζεται είτε κατά μήκος του άξονα της σήραγγας είτε δίπλα στους πλευρικούς τοίχους αυτής.

Στην πρώτη περίπτωση κατασκευάζεται ένα αυλάκι από μπετό πάνω από το θόλο των θεμελίων. Η διάταξη αυτή έχει το μειονέκτημα πως η προσέγγιση, για εργασίες καθαρισμού ή βελτίωσης της εγκατάστασης, δεν είναι εύκολη. Στην δεύτερη περίπτωση έχουμε, λόγω της πλάγιας τοποθέτησης του καναλιού, καλύτερη προσέγγιση αλλά έχουμε μειονεκτήματα που αναφέρονται στην ασφάλεια της διατομής.

Στο κεντρικό κανάλι, το νερό σε ελεύθερη πτώση προς τα έξω με άντληση. Εάν έχουμε στη σήραγγα μεγάλες ποσότητες νερού, τότε απλά μέσα όπως τα παραπάνω μέτρα δεν βοηθούν. Στις περιπτώσεις αυτές, χρειάζονται κατασκευή ειδικών αγωγών αποστράγγισης.

Ειδικά, στην περίπτωση των υπόγειων σιδηροδρομικών σηράγγων η υπό το εδαφικό νερό εισβολή ύδατος πρέπει να αποκλείεται εντελώς, γιατί εκτός του ότι απιατεί τη καταβολή μεγάλης ποσότητας ενέργειας για την άντληση, προκαλεί και πρόωρη καταστροφή των τοιχομάτων της σήραγγας.

Λόγω του διαπερατού έως ημιδιαπερατού κατά θέσεις χαρακτήρα της βραχομάζας, εκτιμάται ότι κατά τη διάνοιξη δεν αναμένεται να δημιουργηθούν ιδιαίτερα προβλήματα από εισροές υδάτων.

Καθώς δεν αναμένονται εισροές υδάτων στις σήραγγες, θεωρείται μη απαραίτητη η εφαρμογή ειδικών μέτρων απομάκρυνσης των υδάτων κατά την κατασκευή. Προκειμένου όμως να προβλεφθούν μέτρα ελεγχόμενης εκτόνωσης, ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας προσδιορίστηκε για κατάλληλη διάταξη οπών αποστράγγισης από το εσωτερικό της σήραγγας και ανακουφιστικών οπών του εκτοξευμένου σκυροδέματος.

Με την αποστράγγιση νοείται η παροχή όλων των μηχανικών μέσων που απαιτούνται για την απομάκρυνση των υδάτων της βραχομάζας από την περιοχή του μετώπου και από τη ζώνη προσβολής καθώς επίσης και για προσωρινή απαγωγή του εκτός σήραγγας, κατά τρόπο που να μην εμποδίζει την διεξαγωγή των εργασιών διάνοιξης και υποστήριξης της σήραγγας. Η απαγωγή αυτή συνήθως πραγματοποιείται με τη δημιουργία κατάλληλου θύλακος, διαστάσεων αναλόγων με τις εμφανιζόμενες ποσότητες ύδατος της βραχομάζας.

Σε περίπτωση που οι σήραγγες διανοίγονται από μετωπα στα οποία, λόγω της κατά μήκος κλίσης του έργου θα συσσωρευούνται ύδατα, επιβάλλεται η πρόβλεψη για την άντληση των υδάτων προς την έξοδο και τον αποδέκτη των υδάτων. Για τα λοιπά μέτωπα, συνίσταται η κατάλληλη διαμόρφωση της κατά μήκος κλίσης της θήλακως απαγωγής έτσι ώστε να μην παρεμποδίζεται η ροή των υδάτων προς τον αποδέκτη τους.

Τα ύδατα της βραχομάζας τα οποία οδηγούνται στην έξοδο της σήραγγας, είναι συνήθως ανακατεμένα με λάδια μηχανημάτων και λοιπές ακαθαρσίες που προέρχονται από εργασίες διάνοιξης της σήραγγας. Για το λόγο αυτό οδηγούνται σε ειδική δεξαμενή συγκέντρωσης, όπου σε πρώτη φάση αφήνονται να καθιζήσουν τα στερεά υπολείμματα σε ειδικό χώρο και έπειτα το καθαρισμένο νερό αφήνεται ελεύθερο να ρέει στο φυσικό αποδέκτη. Η άνωθεν ροή προς το φυσικό αποδέκτη μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε μέσω αγωγών, η απευθείας από τη δεξαμενή καθίζησης με μικρή κατάντη διαρρύθμιση. Η δεξαμενή καθίζησης καθορίζεται από τα στερεά κατάλοιπα ανά τακτά χρονικά διαστήματα ώστε να διευκολύνεται η λειτουργία της. Παρόμοια δεξαμενή καθίζησης κατασκευάζεται σαν μόνιμη κατασκευή στα στόμια των σηράγγων για την συγκέντρωση σε μόνιμη βάση των υδάτων του καταστρώματος της σήραγγας.

Πιο συγκεκριμένα στον ασβεστολιθικό σχηματισμό αναμένεται τοπικά η ανάπτυξη υγρασίας ή και επιδρόσεων της γεωμάζας. Στη δυσμενέστερη περίπτωση αναμένεται η εισροή υπόγειων υδάτων κατά τη διάνοιξη της σήραγγας με παροχή μερικών δεκάδων λίτρων την ώρα η οποία οπώς αναμένεται θα εξαντληθεί γρήγορα λόγω της ανελιτέας δυνατότητας των υφιστάμενων υδροφόρων οριζόντων.

Γενικά εκτιμάται ότι οι εισροές υπόγειων υδάτων στη φάση των εκσκαφών στη διάνοιξη της σήραγγας θα είναι μικρές. Επίσης, λόγω της φύσης και της ανάπτυξης του γεωλογικού σχηματισμού στην επιφάνεια, αναμένεται να παρατηρείται εισροή υδάτων λόγω κατείσδυσης επιφανειακών κατακρημνισμάτων, ιδιαίτερα μετά από βροχοπτώσεις ορισμένης διάρκειας.

Εντός των γεωλογικών σχηματισμών κατά μήκος του υπόγειου τμήματος της σήραγγας δεν αναπτύσσεται υδροφόρος ορίζοντας, ενδέχεται όμως να αναπτύσσονται εγκλωβισμένοι υδροφόροι ορίζοντες, μικρής δυνατότητας, σε απομονωμένα κραστικά έγκοιλα μικρών διαστάσεων στα οποία δίδεται η δυνατότητα εκτόνωσης με τη δημιουργία της επιφάνειας εκσκαφής της σήραγγας .

5.4.4 Άντληση υπόγειου ύδατος

Με βάση τις γεωλογικές και υδρογεωλογικές μελέτες δεν προβλέπεται η παρουσία υπόγειου ύδατος κάποιας σημαντικής παροχής, με συνεχή παρουσία. Σύμφωνα με τις υπάρχουσες εκτιμήσεις, οι σήραγγες θα είναι στεγνές, ενδέχεται όμως η παρουσία εποχικών επιφανειακών εισροών ή και η ξαφνική εμφάνιση από διατάραξη παγιδευμένου ύδατος εντός θυλάκων. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το παραπάνω φαινόμενο αντιμετωπίζεται με τη χρήση αντλίων FLYGHT.

Έτσι έχουμε τοπική άντληση και μεταφόρτωση του ύδατος κυρίως για λόγους καθαριότητας του μετώπου της σήραγγας. Αντιθέτως, στην περίπτωση συνεχούς ροής υπόγειου ύδατος σημαντικής παροχής, εγκαθίσταται σύστημα άντλησης με σωληνογραμμή ακαθάρτων και δεξαμενή καθίζησης στην έξοδο, για την αποβολή όσο γίνεται πιο καθαρού ύδατος στις εξόδους.

5.4.5 Υδρομάστευση σε περιοχές μεγάλης υδροφορίας

Στις περιοχές μεγάλης υδροφορίας διατάσσεται σύστημα αποστραγγιστικών οπών, οι ποσότητες των υδάτων που συλλέγονται από τις αποστραγγιστικές οπές, συγκεντρώνονται σε ειδικό δίκτυο παλστικών αγωγών, κατάλληλων διαμέτρων και οδηγούνται στο διάτρητο αποστραγγιστικό αγωγό, χωρίς να παραβλέπεται η στεγανότητα της διατομής της σήραγγας. Η τοποθέτηση των πλαστικών αγωγών πραγματοποιείται ταυτόχρονα με τις εργασίες για την κατασκευή του εκτοξευμένου σκυροδέματος ώστε οι αγωγοί να ενσωματωθούν σε αυτό.

5.4.6 Στεγάνωση των μετώπων της σήραγγας.

Η σύνδεση των στεγανωτικών κατασκευών εντός της σήραγγας με εκείνες των εισόδων, απαιτεί ιδιαίτερη διαμόρφωση λόγω του ότι η σύνδεση πραγματοποιείται σε περιοχή ευαίσθητη σε καθιζήσεις. Κατά κανόνα οι κατασκευές εισόδου διαμορφώνονται μετά την ολοκλήρωση της εσωτερικής επένδυσης με σκυρόδεμα και κατά συνέπεια στο χρόνο που μεσολαβεί πρέπει να προστατεύεται η στεγάνωση με βοηθητικά μέσα. Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής της εισόδου, απομακρίνεται η βοηθητική στερέωση και σφραγίζεται ο αρμός. Η είσοδος που κατασκευάζεται με ανοικτή μέθοδο, στεγανώνεται αφού περιληφθεί η μεμβράνη μεταξύ δύο γεωφασμάτων προστασίας.

Στην περιοχή των μετώπων της σήραγγας δύναται η κατασκευή συστήματος συγκέντρωσης και απαγωγής των ποσοτήτων νερού που συγκεντρώνονται στις περιοχές αυτές από το εξωτερικό της σήραγγας. Τα ύδατα αυτά είτε προέρχονται από τη στράγγιση της βραχομάζας στα μέτωπα της σήραγγας και οδηγούνται εκεί από τους οδηγούς συγκέντρωσής τους, είτε προέρχονται από τη στράγγιση του οδοστρώματος οδικών έργων εκατέρωθεν της σήραγγας, εφόσον απορρέουν προς την κατεύθυνσή της. Τα παραπάνω ύδατα και υγρά δύναται να συγκεντρωθούν σε δεξαμενές συγκέντρωσης και διαχωρισμού, με εφαρμογή του μετέπειτα καθαρισμού τους και διεξοδό τους προς τους φυσικούς αποδέκτες, κοντά στα στόμια.

5.5 Αερισμός της σήραγγας κατά τη διάνοιξη αυτής

Είναι είδη γνωστό ότι η προσβολή της σύραγγας πραγματοποιείται παράλληλα από δύο μέτωπα και με τον τρόπο αυτό δεν αναμένεται να κατασκευαστεί από το μέτωπο μήκος σήραγγας μεγαλύτερο από 200 m. Για τον λόγω αυτό χρησιμοποιήθηκε φυσικό σύστημα αερισμού με χρήση εύκαμπτων αγωγών προσαρμογής αέρα, τοποθέτησης ανεμιστήρων σε κάθε στόμιο και σύστημα παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα εντός της σήραγγας.

Ο αγωγός προσαγωγής του αέρα έχει διάμετρο 1200 mm. και το μήκος του των τεμαχίων του αεραγωγού είναι 15 m. και συνδέονται μεταξύ τους με κόλλα και μεταλλικό «στεφάνι». Η απόσταση του αεραγωγού από το μέτωπο κυμαίνεται περί τα 30-40 m.

Οι αγωγοί αερισμού είναι στερεωμένοι στο θόλο και απαιτείται απόσταση τουλάχιστον 50 cm. μεταξύ των αγωγών και των παρειών του εξοπλισμού που διακινείται στη σήραγγα.

Ο εισαγόμενος αέρας πρέπει να είναι απαλλαγμένος από κάθε μόλυνση, σκόνη, καπνούς και για το σκοπό αυτό πρέπει η θέση λήψης αέρα να ευρίσκεται μακριά από κάθε πηγή ενδεχόμενης μόλυνσης, δηλαδή σε απόσταση 30 m. από το στόμια.

Η δε σύσταση του αέρα στις σήραγγες, σε όλο το μήκος τους, πρέπει να πληρεί ποιοτικά και ποσοτικά κάποιους όρους που είναι απαραίτητοι για ασφάλεια και υγιεινή των εργαζομένων. Έτσι το ποσοστό οξυγόνου είναι ορθό να ελέγχεται έτσι ώστε να μην μειωθεί κατά 20%.

Η απαιτούμενη παροχή αέρα υπολογίζεται με βάση τον μέγιστο αριθμό, εντός της σήραγγας, εργαζομένων και την μέγιστη απόδοση του ντιζελοκίνητου εξοπλισμού που θα λειτουργεί στο εσωτερικό κάθε σήραγγας. Πιο συγκεκριμένα, οι απαιτήσεις στον αέρα συνοψίζονται στις ακόλουθες:

- 3 m³/min για κάθε άτομο που θα απασχολείται σε έκαστη σήραγγα.
- 4 m³/min για κάθε μετρικό ίππο (hp) ντιζελοκίνητου εξοπλισμού που χρησιμοποιείται σε κάθε μέτωπο.

Όταν από τους ελέγχους διαπιστώνεται ότι ο φυσικός αέρας της σήραγγας δεν επαρκεί, πρέπει να γίνει άμεση εξυγίανση της ατμόσφαιρας με τεχνητό αερισμό, ο οποίος αποσκοπεί στα εξής:

- Να δώσει στους εργαζόμενους καθαρό αέρα, σε αντικατάσταση αυτού που έχει χρησιμοποιηθεί από τους ίδιους, τα μηχανήματα, οχήματα ή έχει απορριφθεί από τα ύδατα που τυχόν αναβλίζουν.
- Να διαλύσει και να απομακρύνει αέρια που παράγονται κατά την εργασία, τις εκρήξεις ή αναδύονται από το έδαφος.
- Να αντικαταστήσει το ζεστό αέρα των υπόγειων χώρων με αέρα χαμηλότερης θερμοκρασίας.
- Να εξισσοροπήσει την πίεση στο εργασιακό περιβάλλον.





Μέτωπο εισόδου με προπλαίσια. Φαίνεται το σύστημα εξαερισμού

5.5.1 Αερισμός κατά την εκσκαφή με συμβατικά μέσα.

Στις υπόγειες εκσκαφές, το σύστημα αερισμού αποτελείται από δύο κύρια μέρη, το κύριο και το δευτερεύον σύστημα.

Το κύριο σύστημα αερισμού είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η παροχή των παρακάτω ποσοτήτων αέρα κάθε στιγμή.

- 3 m³/min για κάθε άτομο που απασχολείται στα υπόγεια έργα
- 6 m³/min για κάθε μετρικό ιππο ντιζελοκίνητου εξοπλισμού.
- Πριν από την ανατίναξη, το σύστημα θα λειτουργεί σε σύστημα απαγωγής ενώ τα αέρια ανατίναξης θα απορροφώνται, όσο είναι δυνατόν, πιο κοντά στο μέτωπο εκσκαφής. Ο αέρας απαγωγής και τα αέρια της ανατίναξης θα εκφορτίζονται στην έξοδο, ώστε να μην εισέρχονται σε άλλη θέση εργασίας και να μην επανακυκλοφορούν στο σύστημα παροχής φρέσκου αέρα.
- Πριν από την έναρξη αποκομιδής των προϊόντων εκσκαφής, το σύστημα λειτουργεί σαν σύστημα προσαρμογής αέρα μέχρι το πέρας της αποκομιδής αυτών.

Το δευτερεύον σύστημα αερισμού λειτουργεί σαν σύστημα προσαγωγής και εγκατεστημένο έτσι ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής αερισμός μεταξύ του μετώπου εκσκαφής και της εξόδου - εισόδου του κύριου συστήματος. Το σύστημα αρχίζει να λειτουργεί σε σύστημα προσαγωγής αέρα.

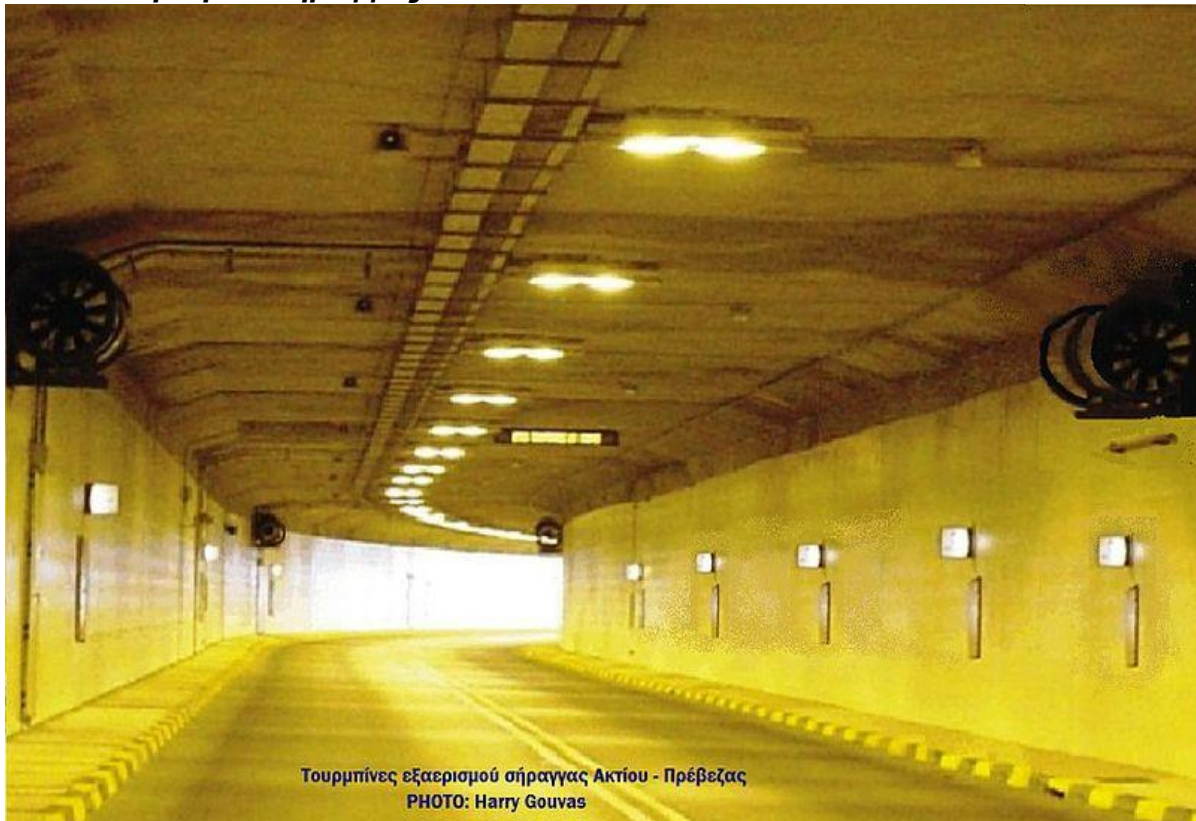
Η είσοδος του συστήματος αυτού είναι τοποθετημένη σε επαρκή απόσταση από το μέτωπο της εκσκαφής, ώστε να εξασφαλίζεται ότι τα αέρια ανατίναξης δεν θα φθάσουν σε αυτή την περιοχή και δεν θα προκαλείται έτσι επανακυκλοφορία των

αερίων ανατίναξης. Η δε εξοδός του είναι τοποθετημένη κοντά στο μέτωπο εκσκαφής, ώστε να εξασφαλίζεται η προώθηση των αερίων ανατίναξης από το μέτωπο εκσκαφής στο κύριο σύστημα αερισμού.

5.5.2 Αερισμός κατά την εκσκαφή με μηχανικά μέσα.

Όπου οι υπόγειες εκσκαφές εκτελούνται με μηχανήματα ολομέτωπης διάνοιξης ή σημειακής κοπής, εγκαθίστανται σε ένα σύστημα αερισμού. Αυτό το σύστημα αερισμού διαθέτει τέτοια δυναμικότητα ώστε και οι δύο ελάχιστες αποκτήσεις παροχής φρέσκου αέρα, που προαναφέρθηκαν, να ικανοποιούνται κάθε χρονική στιγμή καθώς μπορεί να είναι σύστημα απαγωγής, προσαγωγής ή συνδυασμός και των δύο.

Εικονα αερισμου σήραγγας.



Τουρμπίνες εξαερισμού σήραγγας Ακτίου - Πρέβεζας
PHOTO: Harry Gouvas

5.6 Υπολογισμός της απαιτούμενης παροχής

Για την διάνοιξη της σήραγγας χρησιμοποιούνται ηλεκτοκίνητο διάτρητικό φορείο ή ηλεκτροκίνητο εκσκαπτικό μηχάνημα και νιζελοκίνητος εξοπλισμός για την αποκομιδή των εξορυσσόμενων προϊόντων. Οι απαιτήσεις σε παροχή καθαρού αέρα, στη δυσμενέστερη φάση της εκσκαφής, προβλέπονται ως εξής:

- Μέγιστος αριθμός ατόμων εργαζόμενων 16 $\rightarrow Q_1 = 16 \cdot 3 = 48 \text{ m}^3/\text{min}$.
 - Δύο ανατρεπόμενα νιζελοκίνητα φορητά κινούμενα φορτωμένα, ιπποδυνάμεως 380 HP λαμβάνεται συντελεστής ιπποδυνάμεως 0,8 εφόσον κινείται φορτωμένο και 0,6 εάν κινείται άδειο. Έτσι έχουμε $Q_2 = 2 \cdot (0,8 \cdot 380) \cdot 4 = 2432 \text{ m}^3/\text{min}$.
 - Ένα ανατρεπόμενο νιζελοκίνητο φορητό κινούμενο άδειο και ιπποδυνάμεως 380 HP $\rightarrow Q_3 = (0,6 \cdot 380) \cdot 4 = 912 \text{ m}^3/\text{min}$.
 - Ένας νιζελοκίνητος φορτωτής ιπποδυνάμεως 220 HP $\rightarrow Q_4 = (0,8 \cdot 220) \cdot 4 = 704 \text{ m}^3/\text{min}$.
- Άρα** $Q_o = 4.096 \text{ m}^3/\text{min}$

5.7 Υπολογισμός της πτώσης πίεσης

Η πτώση της πίεσης οφείλεται στις απώλειες λόγω τριβών και κρούσεων, κατά την ροή του αέρα παροχής Q_o μέσα στον πλαστικό αγωγό.

Είναι, $h_o = 0,1 \cdot (ND^5) \cdot L_e \cdot Q_o^a$

όπου, h_o η πτώση της πίεσης σε mm H_2O .

λ , είναι ο συντελεστής που κυμαίνεται από 0,021 έως 0,026 και η τιμή του οποίου μεταβάλλεται αναλόγως των βελών κάμψεων που παρουσιάζονται μεταξύ των σημείων στηρίξεων των τμημάτων του πλαστικού αγωγού

$D=1,2$, η ονομαστική διάμετρος αγωγού σε m

a εκθέτης ίσος πρὸς 1,7. Συνεπώς αντικαθιστώντας έχουμε $h_o = 72 \text{ kp/m}^2$

5.8 Υπολογισμός της δυναμικής πιέσεως

Η δυναμική πίεση επισυμβαίνει κατά την έξοδο του αέρα από το στόμιο του αγωγού είναι:

$$h_{\Delta} = 0,097 \cdot Q_o^2 / D^4 \rightarrow h_{\Delta} = 23 \text{ kp/m}^2$$

5.9 Υπολογισμός της απαιτούμενης ισχύς

Είναι: $N = Q_o \cdot (h_o + h_{\Delta}) / 60 \cdot 102 \cdot 0,85 \rightarrow N = 88 \text{ KW}$.

5.10 Βοηθητικές κατασκευές της σήραγγας.

Εκτός από διάφορα τμήματα που χρησιμεύουν για τη λειτουργία των σηράγγων, έχουμε κατασκευές που συμβάλουν στην καλύτερη λειτουργία, απόστραγγιση, αερισμός και φωτισμός.

Οι εγκολπώσεις στη σήραγγα χρησιμεύουν για την ασφάλεια σε περίπτωση κινδύνου των εργαζόμενων, για συντήρηση των διαφόρων τμημάτων της σήραγγας καθώς και γενικές εργασίες. Κατασκευάζονται σε αποστάσεις, το ανώτερο 50μ κατ' εναλλαγή στις δύο πλευρές της σήραγγας. Επίσης, έχουν συνήθως εύρος 2.0 έως 2.50μ, ύψος 1.90 έως 2.25μ και βάθος γύρω στο 1,00μ.

Σε μεγάλη σήραγγα εκτός από εγκολπώσεις κατασκευάζονται σε απόσταση 1.00 έως 2.00 χλμ, μεγαλύτεροι θάλαμοι για την παραμονή εκεί, των εργατών και των μηχανιμάτων. Οι θάλαμοι έχουν εύρος 3.00 έως 5.00μ, ύψος 2.80 έως 3.00μ και βάθος 3.00 έως 8.00 μ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Μέθοδοι διάνοιξης σήραγγας

Για την κατασκευή υπόγειων έργων εφαρμόζονται οι τρόποι που αναλύουμε παρακάτω.

Η διάνοιξη σήραγγων με 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

6.1 ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ NATM

Η λεγόμενη «ΝΕΑ ΑΥΣΤΡΙΑΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΜΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ» ουσιαστικώς δεν αποτελεί μια μέθοδο αλλά περιλαμβάνει ένα σύνολο τεχνικών διάνοιξης και υποστήριξης σήραγγων οι οποίες εφαρμόστηκαν συστηματικά κατά τη διάνοιξη σήραγγων στις Αυστριακές Άλπεις στις αρχές τις δεκαετίας του 1960. Οι τεχνικές αυτές είχαν εφαρμοστεί και πριν το 1960 τόσο στην Αυστρία όσο και σε άλλα μέρη του κόσμου αλλά η συστηματοποίησή τους και η ονομασία τους έγινε από Αυστριακούς μηχανικούς

Οι εναλλακτικοί τρόποι διάνοιξης που δεν υπάγονται στη μέθοδο NATM είναι:

- Διάνοιξη με μηχανήματα ολομέτωπης κοπής (TBM) επειδή κατά τη μέθοδο αυτή η κοπική κεφαλή του μηχανήματος ασκεί πίεση επί μετόπου εκσκαφής.
- Διάνοιξη με προστατευτική ασπίδα (SHIELD), επειδή η άμεση υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας γίνεται μέσω της ασπίδας και όχι με εφαρμογή εκτοξευμένου σκυροδέματος ή αγκυρίων.
- Οποιαδήποτε άλλη μέθοδος διάνοιξης κατά την οποία η άμεση υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας γίνεται χωρίς εκτοξευμένο σκυρόδεμα ή αγκύρια, όπως π.χ. με έγκυτο σκυρόδεμα, προστατευμένα στοιχεία από σκυρόδεμα, μέταλλο ή άλλο υλικό.

ΜΕΘΟΔΟΣ NATM

Η συνήθης εφαρμογή της μεθόδου NATM είναι η διάνοιξη της διατομής σε μία ή περισσότερες φάσεις και η άμεση υποστήριξη του τοιχώματος με εκτοξευμένο σκυρόδεμα (απλό, ινοπλισμένο, οπλισμένο με χαλύβδινο πλέγμα ή ενισχυμένο με χαλύβδινες ράβδους ή διατομές και αγκύρια). Σημειώνεται ότι η ύπαρξη του τοιχώματος της σήραγγας μόνο με αγκύρια χωρίς εκτοξευμένο σκυρόδεμα υπάγεται επίσης στην κατηγορία μεθόδου NATM. Ακόμα κατά την μέθοδο αυτή ως άνω άμεση υποστήριξη συνήθως ακολουθείτε σε μεταγενέστερο χρόνο από τη κατασκευή της τελικής επένδυσης της σήραγγας η οποία θεωρείται ως φέρον στοιχείο.

6.1.1 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 βραχομάζας (μέσω ελεγχόμενης σύγκλισης της σήραγγας) σε ικανό βαθμό ώστε να μειωθούν αρκετά οι πιέσεις επί της άμεσης υποστήριξης αλλά όχι τόσο ώστε να προκληθεί αποδιργάνωση της βραχομάζας 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 φτάσει 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 βραχομάζας 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.

Η παραπάνω αρχή μέθοδος NATM εξειδικεύεται ως εξής:

- Η εκσκαφή της διατομής της σήραγγας συνήθως γίνεται σε περισσότερες της μίας φάσεις. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η επιφάνεια του μετώπου εκσκαφής κάθε φάσης και συνεπώς μειώνεται η συνολική σύγκλιση του τοιχώματος (σε σχέση με την εκσκαφή της διατομής σε μία φάση) και βελτιώνεται η ευστάθεια της διατομής αποφεύγοντας την αποδιοργάνωση της περιβάλλουσας βραχομάζας.
- Κατασκευή 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 βραχομάζας. Τούτο επιτυγχάνεται με την προώθηση της κάθε φάσεις εκσκαφής σε μικρά βήματα της τάξεως των 1-2 μέτρων αναλόγως της ποιότητας της βραχομάζας. Το μήκος του βήματος εκσκαφής μειώνεται όσο πτωχότερη είναι η ποιότητα βραχομάζας. Η άμεση υποστήριξη της διατομής θα πρέπει να αναλάβει φορτία κατά το δυνατόν ταχύτερα ώστε περιορισθεί η περαιτέρω σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας και συνεπώς η αποδιοργάνωση της δομής της βραχομάζας. Το εκτοξευμένο σκυρόδεμα πλεονεκτεί ως προς την άποψη αυτή επειδή βρίσκεται σε απόλυτη επαφή με την περιβάλλουσα βραχομάζα και επιπλέον έχει μικρό χρόνο πήξεως. Η χρήση αγκυρίων βράχου σε κανονικό κλίμα οπλίζει την περιβάλλουσα βραχομάζα και συντελεί στην καλύτερη ανάπτυξη λειτουργίας τόξου στη βραχομάζα. Πράγματι, η τάση της βραχομάζας να παραμορφωθεί διαμητικά
- προκαλεί (μέσω της διασταλτικότητας) την ανάπτυξη εφελκυσμού και συνεπώς θλίψης της βραχομάζας. Η θλίψη της βραχομάζας αυξάνει την αντοχή της και μειώνει την παραμορφωσιμότητα λόγω εγκλιβωτισμού (λειτουργία αναάλογη του σπειροειδούς οπλισμού στα υποστυλώματα).
- Ολοκλήρωση του δακτυλίου του εκτοξευμένου σκυροδέματος στο σύνολο της διατομής. Με αυτόν τον τρόπο 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 συντελεί τα μέγιστα στη μείωση της σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας και στην ευστάθεια της διατομής. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση βραχομάζας με καλά μηχανικά χαρακτηριστικά συχνά δεν είναι απαραίτητο να ολοκληρώνεται ο δακτύλιος του εκτοξευμένου σκυροδέματος , δηλαδή δεν επενδύεται με σκυρόδεμα το δάπεδο της σήραγγας.

Στην περίπτωση διάνοιξης σήραγγας σε βραχομάζα με πολύ φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά ή σε εδαφικούς σχηματισμούς , είναι συνήθης η εμφάνιση φαινομένων αστάθειας του μετώπου της εκσκαφής. Τα φαινόμενα αυτά προκαλούν αύξηση της σύγκλισης και αποδιοργάνωση της δομής της βραχομάζας με πιθανή καταλληξη 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 ή δοκούς προπορείας (forepoling), κατασκευή τσιμεντενώσεων , επένδυση του μετώπου με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

- Η πυκνότητα των μέτρων άμεσης υποστήριξης προσαρμόζεται στις επι τόπου συνθήκες. Ειδικότερα , η μέθοδος NATM βασίζεται σε μετρήσεις της συμπεριφοράς του τμήματος της σήραγγας που έχει είδη διανοιχθεί (όπως μετρήσεις της σύγκλισης του τοιχώματος ,της πίεσης της βραχομάζας στο εκτοξευμένο σκυρόδεμα ,της θλιπτικής τάσης στο εκτοξευμένο 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 βραχομάζα που αναμένεται να συναντηθεί κατά μήκος της σήραγγας κατατάσσεται σε 3-5 κατηγορίες (με βάση 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 προς το είδος των μέτρων υποστήριξης(εάν διαθέτουν ενίσχυση με χάλυβινα πλαίσια) και την πυκνοτητά τους (π.χ. διάσταση του κάβανου των αγκυρίων ή πάχος του εκτοξευμένου 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 βασίζονται σε ένα συνδυασμό παραγόντων όπως η ποιότητα βραχομάζας , το πάχος των υπερκείμενων γαιών, ο προσανατολισμός των ασυνεχειών της βραχομάζας ,τα αποτελέσματα των μετρήσεων συμπεριφοράς του έργου σε προηγούμενες διατομές ή σε προηγούμενη φάση εκσκαφής στην συγκεκριμένη περιοχή.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η άμεση υποστήριξη της σήραγγας ακολουθείται από την κατασκευή της τελικής επένδυσης η οποία αναλαμβάνει μέρος (ή το σύνολο) των φορτίσεων της περιβάλλουσας βραχομάζας.

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 εξέληξης των μετακινήσεων ,εντάσεων.

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

- Το φορτίο που αναλαμβάνεται από τα αγκυρια στην περίπτωση προσωρινών αγκυρίων ή στην περίπτωση βραχομάζας με έντονα ερπυτική συμπεριφορά.
- Μέρος του φορτίου που αναλαμβάνεται από το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ώστε το απομένον φορτίο του εκτοξευμένου σκυροδέματος να ικανοποιεί τις απαιτήσεις ασφάλειας μόνιμου έργου.
- Τυχόν αυξημένα μακροχρόνια φορτία της βραχομάζας λόγω ερπυσμού.
- Τυχόν υδατικές πιέσεις λόγω πλημμελούς αποστράγγισης ή απροβλεπτης απόφραξης του συστήματος αποστράγγισης.
- Τυχόν φορτία από μελλοντικές κατασκευές που φορτίζουν τη σήραγγα.
- Τυχόν σεισμική επιφόρτιση της σήραγγας.

6.1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΕΘΟΔΟΥ NATM

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

- Προσαρμόζεται εύκολα σε μεταβαλλόμενες γεωτεχνικές συνθήκες.
- Προσαρμόζεται εύκολα σε μεταβολές της γεωμετρίας της διατομής και στη διάνοιξη μη-κυκλικών διατομών.
- Περιλαμβάνει μηχανικό εξοπλισμό σχετικά 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)

6.1.3 Φάσεις εκσκαφής

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

i. **Εκσκαφή μετώπου βαθμίδας (top heading and bench)**

Η εκσκαφή της σήραγγας γίνεται από πάνω προς τα κάτω. Η πρώτη φάση εκσκαφής μπορεί να γίνει και σε περισσότερες υποφάσεις κατά το πλάτος της σήραγγας. Στην περίπτωση αυτή η πρώτη φάση ουσιαστικά αποτελεί σήραγγα-πυλώνα που χρησιμεύει και για την διερεύνηση των συνθηκών που αναμένεται να συναντηθούν κατά τη διάνοιξη της σήραγγας

ii. **Εκσκαφή με πλευρικές στοές**

Η μέθοδος εφαρμόζεται σε σήραγγες μεγάλου εύρους σε βραχώδεις με σχετικά πτωχά χαρακτηριστικά ή στις περιπτώσεις που 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 μίας πλευράς και στη συνέχεια της άλλης πλευράς.

Σε ιδιαίτερα δύσκολες περιπτώσεις η μέθοδος μπορεί να περιλάβει δύο πλευρικές στοές με ενδιάμεσο πυλώνα. Στην περίπτωση αυτή πρώτα διανοίγονται οι πλευρικές στοές και στο τέλος διανοίγεται ο κεντρικός πυλώνας.

6.1.4 Μέτρα άμεσης υποστήριξης

Για την υποστήριξη των σήραγγων χρησιμοποιούμε τα παρακάτω μέσα:

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, ο όρος χρησιμοποιείται για σκυρόδεμα που συνίσταται από τσιμέντο, νερό και λεπτόκοκκα αδρανή τα οποία εφαρμόζονται με εκτόξευση (με τη βοήθεια πιεσμένου αέρα). Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα παρασκευάζεται είτε ως ξηρό μίγμα με προσθήκη νερού στο στόμιο εκτοξεύσεως είτε ως υγρό μίγμα όπου η ανάμιξη με νερό γίνεται στον αναδευτήρα κατά την Παρασκευή του μίγματος.

Το υγρό μίγμα χρησιμοποιείται συχνότερα στις περιπτώσεις κατανάλωσης εκτοξευμένου σκυροδέματος σε μεγάλες ποσότητες. Κατά την παρασκευή

εκτοξευμένου σκυροδέματος η αναλογία ανάμιξης είναι η εξής(για την παραγωγή ενός κυβικού μέτρου βάρους 2250-2350 kg)

- Τσιμέντο : 400-450 kg
- Παιπάλη πυριτίου (mikro-silica):30-50 kg
- Επιταχυντής πήξεως : 10-15 kg
- Νερό : 200-250 kg

Η παιπάλη πυριτίου είναι μια λεπτόκοκκη παζουλάνη η οποία αντιδρά με το υδροξείδιο του ασβεστίου που παράγεται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου και συντελεί στην αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος και τη μείωση της διαπερατότητάς του. Επιπλέον με τη προσθήκη της πολυζάνης επιτυγχάνεται μείωση της μείωση της αναπήδησης κατά την εκτόξευση ,βελτίωση της πρόσφυσης στη βραχομάζα και δυνατότητα αύξησης του πάχους της στρώσης του νωπού σκυροδέματος έως και 200 χιλ. Η αντοχή και η πλαστικότητα του εκτοξευμένου σκυροδέματος μπορούν να αυξηθούν με τη προσθήκη μεταλλικών ινών ,οι οποίες δρουν σαν οπλισμός. Η προσθήκη μεταλλικών ινών ως οπλισμού του εκτοξευμένου σκυροδέματος τείνει να αντικαταστήσει την όπλιση με μεταλλικά πλέγματα. Η συνήθης αναλογία μεταλλικών ινών είναι 40-50 kg ανά κυβικό μέτρο σκυροδέματος. Η προσθήκη μεταλλικών ινών πλεονεκτεί ως ρπος τη χρήση μεταλλικού πλέγματος για τους εξής λόγους:

- Δεν προκαλεί αυξημένη αναπήδηση του σκυροδέματος όπως το μεταλλικό πλέγμα.
- Δεν υπόκειται σε ηλεκτρολυτική διάβρωση 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 βραχομάζας είναι αρκετά ανώμαλη.

Αγκύρια βράχου

Τα αγκύρια βράχου διακρίνονται σε δύο κατηγορίες

- Προτεταμένα αγκύρια, που αποτελούνται από χαλύβδινους τένοντες και βασίζονται στην ενεργητική φόρτιση της βραχομάζας λόγω της προέντασης.
- Παθητικά αγκύρια ,των οποίων η λειτουργία βασίζεται στη φορτίσή τους λόγω της παραμόρφωσης της βραχομάζας. Τα παθητικά αγκύρια διακρίνονται σε αγκύρια συνεχούς πρόσφυσης και πρόσφυσης άκρου. Τα αγκύρια πρόσφυσης άκρου είναι συνήθως τύπου διαστελόμενης κεφαλής.

Χαλύβδινα τόξα

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

- Τυποποιημένες διατομές, συνήθως πλατύπελμες HEB 100-160.
- Δικτυωτά πλαίσια, που αποτελούνται από ράβδους οπλισμού και συνδετήρες με τη μορφή χωροδικτυώματος.
- Συστοιχίες χαλύβδινων ράβδου οπλισμού
-

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 NGI που βασίζεται στο σύστημα Q.

6.1.5 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 βραχομάας που περιβάλλει τη σήραγγα και της επιφάνειας του εδάφους.
- **Πιέσεις**, της βραχομάζας στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, υδατικές πιέσεις στο έδαφος που περιβάλλει τη σήραγγα.
- **Δυνάμεις**, εφελκυσμός στα αγκύρια,θλίψη/καμψη στα χαλύβδινα πλαίσια.
- **Παροχή διηθήσεων υπόγειων 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 ,ο τρόπος αξιολογησής τους ,τα αποδεκτά όρια των μετρήσεων και τέλος οι ενέργειες που θα πρέπει να αναλαμβάνονται σε περίπτωση που οι μετρήσεις υπερβαίνουν 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.

6.1.6 Μετρήσεις μετακινήσεων

Οι μετρήσεις των μετακινήσεων στα τοιχώματα των σηράγγων πραγματοποιούνται με τη χρήση ειδικών οργάνων. Αναλυτικές λεπτομέρειες δίνονται παρακάτω.

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 τοιχώματος. Η ακρίβεια των μετακινήσεων εξαρτάται από την απόσταση σκόπευσης, την ακρίβεια του οργάνου αλλά και άλλους παράγοντες όπως η θερμοκρασία του αέρα και η παρουσία καυσαέριων στη σήραγγα. Η συνήθης ακρίβεια τέτοιων μετρήσεων είναι 2-4 χιλ.

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

Μεταλλική μετροταινία. η ακρίβεια των μετρήσεων είναι της τάξεως του 0,5 χιλ.

Μετακινήσεις βραχομάζας

Εκτασιόμετρα ράβδου τοποθετούμενα εντός γεωτρήσεων. Εντός γεώτρησης τοποθετούνται μεταλλικές ράβδοι των οποίων το ένα άκρο πακτώνεται εντός της γεώτρησης και το άλλο άκρο προεξέχει ελαφρώς από το στόμιο της γεώτρησης. Στην ίδια γεώτρηση μπορούν να τοποθετηθούν πρισσότερες της μίας 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. Εντός γεώτρησης τοποθετείται πλαστικός σωλήνας ο οποίος φέρει μεταλλικούς δακτύλιους σε τακτά διαστήματα (π.χ ανά 0.50 χιλ.) ο σωλήνας πακτώνεται εντός της γεώτρησης με τσιμεντεμένα. Κατά τη μέτρηση εισάγεται στο σωλήνα μια βολίδα η οποία με τη μαγνητική μέθοδο μετρά την απόσταση μεταξύ των δακτυλίων. Η σχετική μετακίνηση των δακτυλίων δίνει την παραμόρφωση της βραχομάζας αφού οι δακτύλιοι παρακολουθούν τη μετακίνηση της βραχομάζας.

Ολισθαίνοντα εκτασιόμετρα. Εντός γεώτρησης τοποθετείται ειδικός πλαστικός σωλήνας ο οποίος σε τακτά διαστήματα φέρει μεταλλικούς δακτύλιους κατάλληλου σχήματος. Ο σωλήνας πακτώνεται εντός γεώτρησης με τσιμεντεμένα. Κατά τη μέτρηση εισάγεται στο σωλήνα μεταλλικό στέλεχος που ολισθαίνει κατά μήκος του σωλήνα και σταματά στις θέσεις των μεταλλικών δακτυλίων. Με τον τρόπο αυτό μετράται η σχετική απόσταση μεταξύ των δακτυλίων με μεγάλη ακρίβεια (της τάξεως του 0,01 χιλ.) η σχετική μετακίνηση των δακτυλίων δίνει την παραμόρφωση της βραχομάζας αφού οι δακτύλιοι παρακολουθούν τη μετακίνηση της βραχομάζας.

Αποκλισιόμετρα. Εντός γεώτρησης τοποθετείται 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 ηλεκτρικό σύστημα 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 αξονά του. Τα αποκλισιόμετρα συνήθως τοποθετούνται από την επιφάνεια του εδάφους σε κατακόρυφη διεύθυνση και μετρώνται οι οριζόντιες αποκλίσεις με την πάροδο του χρόνου.

Μετακινήσεις επιφάνειας εδάφους. Καθιζήσεις εδάφους λόγω της κατασκευής υπόγειων έργων.

❖ 6.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ

Η μέθοδος εκσκαφής και επανεπίχωσης συμπεριλαμβάνει την πλήρη εκσκαφή του εδάφους από την επιφάνεια, την ανάπτυξη της εκσκαφής, την κατασκευή του φορέα του έργου ποθ περιλαμβάνει οπωσδήποτε και ανθεκτική οροφή. Κατόπιν, είτε γίνονται έργα αξιοποίησης της οροφής η πλήρη επανεπίχωση με τα υλικά εκσκαφής και αποκατάσταση του περιβάλλοντος. Η μέθοδος **cut and cover** χρησιμοποιείται συχνά σε έργα οδοποιίας αντί 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 μηχανήματα TBM είτε με συμβατικά μέσα NATM, επιλέγονται ιδιαίτερα στις κεντρικές περιοχές των πόλεων, ενώ σε ποιά απομακρυσμένες περιοχές προτιμάται η μέθοδος ανοικτής εκσκαφής για την κατασκευή τόσο σηράγγων όσο και σταθμών ΜΕΤΡΟ. Χρήση αυτής της μεθόδου γίνεται και σε περιπτώσεις όπου, ακόμα κι αν βρισκόμαστε στο κέντρο της πόλης, υπάρχει διαθέσιμος χώρος. Αυτό συμβαίνει διότι μέθοδος ανοικτής εκσκαφής είναι περισσότερο απλή, ασφαλής και κυρίως ελέγξιμη στην υλοποίησή της.

6.2.1 Μειονεκτήματα cut and cover

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι:

- i. Πρέπει να απομακρυνθούν όλοι οι αγωγοί κοινής ωφέλειας που ευρίσκονται στην περιοχή όπου θα γίνουν οι εκσκαφές.
- ii. Πρέπει να προηγηθεί αρχαιολογική έρευνα για τον εντοπισμό τυχόν αρχαιοτήτων.
- iii. Πρέπει να γίνουν οι απαιτούμενες παρακάμψεις 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, καθόσον οι κατασκευές αφού ολοκληρωθούν επιχώνονται και τελικώς καθίστανται και αυτές υπόγειες όπως ακριβώς και στις περιπτώσεις που η κατασκευή έγινε με υπόγεια διάνοιξη

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 ΜΕΤΡΟ τα πρανή προβλέπονται πάντα κατακόρυφα. Ακολουθώς «κτίζεται» ο μόνιμος φορέας του σταθμού η της σήραγγας ξεκινώντας από τη θεμελίωση προς τα επάνω, σηλαδη ως μια συνήθης οικοδομή. Τέλος γίνεται επικάλυψη της κατασκευής με επίχωση ως την επιφάνεια του εδάφους και αποκαθιστάται η περιοχή.

6.2.3 Στάδια κατασκευής.

- i. Εκτελείται γεωτεχνική/γεωλιγική έρευνα και δοκιμές (επί τόπου και εργαστηριακές) για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του εδάφους στην περιοχή που έχει σχεδιαστεί να γίνει η κατασκευή μας.

- ii. Γίνεται η μελέτη εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης, με βάσειτα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εδάφους που προέκυψαν στο προηγούμενο στάδιο. Επίσης, εκτελείται και η μελέτη του μόνιμου φορέα κατασκευής.
- iii. Πρίν την έναρξη των κυρίως εργασιών εκτελούνται οι απαιτούμενες αρχαιολογικές έρευνες στην περιοχή όπου θα εκτελεσθούν οι εκσκαφές, απομακρύνονται όλοι οι αγωγοί κοινής ωφελείας (υδρευσης, ηλεκτρισμού, τηλεφώνου), και πραγματοποιούνται οι ενδεχόμενες κυκλοφοριακές παρακάμψεις.
- iv. 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 1,50-2,50 μ. περιμετρικά της προβλεπόμενης εκσκαφής πρώτου αυτή αρχίσει. Η πασσαλοστοιχία συνδέεται στην κορυφή της με ισχυρή δοκό σκυροδέματος. Η εκσκαφή πραγματοποιείται με συμβατικά μηχανικά μέσα έως ένα καθορισμένο βάθος 3,50 μ. και στη συνέχεια τοποθετούνται αγκύρια σε οπές που διανοίγονται στο έδαφος μέσω πασσάλων. Τα αγκυρια αυτά έχουν μήκος 15-25 μ. και προεκτείνονται με την προβλεπόμενη από τη μελέτη δύναμη. Κατόπιν εφαρμόζεται δομικό πλέγμα σε όλη την περιμετρική επιφάνεια του σκάμματος και τοποθετείται εκτοξευμένο σκυρόδεμα. Μετά από αυτά συνεχίζεται η εκσκαφή ως την επόμενη στάθμη και τοποθετείται και προεντείνεται άλλη μια σειρά αγκυρίων. Ο κύκλος αυτός συνεχίζεται έως την τελική στάθμη εκσκαφής όπου θα θεμελιωθεί η κατασκευή. Εάν υπάρχει παρουσία υπόγειων 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.
- v. Το σύστημα υδροστεγάνωσης της κατασκευής, όπως συμβαίνει πλέον σε όλο το νέο δίκτυο του ΜΕΤΡΟ, τοποθετείται στον πυθμένα και στις περιμετρικές επιφάνειες του σκάμματος και αποτελείται συνήθως από γεωυφάσματα, μεμβράνη υδατοστεγάνωσης και υδατοφραγμούς.
- vi. Η κατασκευή του φέροντος οργανισμού γίνεται κατά φάσεις αρχίζοντας από τη θεμελίωση, ακολουθούν τα τοιχεία και κατόπιν η πλάκα οροφής εάν πρόκειται για την περίπτωση σήραγγας, ενώ για σταθμούς γίνεται και η κατασκευή ενδιάμεσων επιπέδων πλακών και τοιχείων. Η κατασκευή αρχίζει με την τοποθέτηση των σιδηρών οπλισμών της πλάκας θεμελίωσης (ή γενικώς κοιτόστρωσης) όπως προβλέπεται από τη μελέτη. Κατόπιν γίνεται η έκχυση του σκυροδέματος, κατηγορίας αντοχής C25/30, κατά φάσεις κατά μήκος της κατασκευής με πρόβλεψη κατάλληλων αρμών. Παρομοίως γίνεται και η κατασκευή και των υπόλοιπων στοιχείων της μόνιμης κατασκευής. Σύμφωνα με τη 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 σε κατοικημένες περιοχές σε σχέση με ακατοίκητες. 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 εδραθεί 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 των οχημάτων και αφετέρου να προκαλέσει καταστροφές στις όμορφες κατασκευές.

6.2.4 Σειρά εργασιών

Η σειρά εργασιών βάσει της μεθόδου αυτής συνοψίζονται στις ακόλουθες:

- **Διάνοιξη ανοικτού ορύγματος από την επιφάνεια του εδάφους στο απαιτούμενο βάθος.** Εκτελείται με στρώσεις καθώς η προστασία προέρχεται από τη χρήση εκτοξευμένου σκυροδέματος, αγκυρίων και τσιμεντοπασσάλων. Συχνή είναι και η χρήση αντιρήδων που τοποθετούνται και εγκάρσια στη διεύθυνση του ορύγματος.
- **Προϋποστήριξη εδάφους.** Εμπεριέχεται η κατασκευή τοίχου από πασσάλους, από οπλισμένο σκυρόδεμα, στην περίμετρο του ορύγματος. Συγκεκριμένα γίνεται διάνοιξη οπών, τοποθέτηση σιδήρου οπλισμού και σκυροδέτηση. Στις επιφάνειες μεταξύ των πασσάλων γίνεται τοποθέτηση δομικών πλεγμάτων και εφαρμογή εκτοξευμένου σκυροδέματος. Έτσι δημιουργείται ένα τοίχος προστασίας που συγκρατεί τα τοιχώματα του εδάφους. Επίσης κατασκευάζεται κεφαλοδεσμός από οπλισμένο σκυρόδεμα πάνω από τους πασσάλους και ακολουθεί η τοποθέτηση σειρών αγκυρίων.
- **Στεγανοποίηση της εκσκαφής.** Για την προστασία της ανοικτής εκσκαφής από την εισροή νερού, εφαρμόζεται σύστημα αποστράγγισης με γεωύφασμα, αγωγός αποστράγγισης εγκιβωτισμένος με χαλίκι και λεπτή στρώση τσιμέντου.
- **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.
- **Επανεπίχωση του ορύγματος και του κατασκευασμένου φορέα.** Η επανεπίχωση των φορέων χρησιμοποιεί τα προϊόντα των βραχωδών ορυγμάτων έπειτα από κατάλληλη επιλογή του μεγέθους των λιθών ώστε να αποφευχθεί τραυματισμός της στεγάνωσης κατά την επισκευή της επανεπίχωσης.
- **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 της οδού και των πεζοδρομίων.

❖ 6.3 ΜΕΘΟΔΟΣ COVER & CUT

6.3.1 Στάδια κατασκευής είναι τα ακόλουθα:

- a. Κατασκευάζονται από την επιφάνεια τα κατακόρυφα πετάσματα αντιστήριξης περιμετρικά της εκσκαφής που θα ακολουθήσει.
- b. Γίνεται μια πρώτη εκσκαφή ως τη στάθμη της πλάκας της οροφής της κατασκευής. Αναλόγως του βάθους της εκσκαφής αυτής μπορεί να χρειασθεί μια μικρή αντιστήριξη των παρειών.
- c. Σκυροδετείται η πλάκα οροφής επί του πυθμένα της εκσκαφής. Η πλάκα συνδέεται με την περιμετρική αντιστήριξη και στηρίζεται επί αυτής.
- d. Γίνεται επίχωση πάνω από την πλάκα και αποκαθίσταται η επιφάνεια του εδάφους.

- e. Ξεκινά η εκσκαφή για το σταθμό η τη σήραγγα κάτω από την πλάκα οροφής μέσω ράμπας που έχει αφεθεί σε κάποιο σημείο. Η εκσκαφή γίνεται κατά στάδια ενώ τοποθετούνται διαδοχικά τα απαιτούμενα στοιχεία αντιστήριξης.
- f. Αφού τελειώσει η εκσκαφή ολόκληρου του ορύγματος ξεκινά η κατασκευή των στοιχείων του μόνιμου φορέα. Τα στοιχεία αυτά είναι συνήθως ηη πλάκα δαπέδου 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.

❖ 6.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΜΕ TBM

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 κατακόρυφη αλλά σε οριζόντια διεύθυνση.

Κατά την όρυξη σηράγγων η χρησιμοποίηση εκρηκτικών υλικων για την θραυση πετρώματος έχει συνήθως σαν αποτέλεσμα τον επιρρασμό της περιοχής γύρω από την εκσκαφή. Επιπλέον ο κύκλος εκσκαφής με τη μέθοδο των ανατινάξεων είναι είναι ασυνεχής καθώς μεσολαβούν «νεκρά» χρονικά διαστήματα μεταξύ των διαφόρων φάσεων. Το γεγονός ότι η διαδικασία όρυξης με TBM είναι συνεχης και δεν υπάρχουν νεκροί χρόνοι, οδηγεί στην επίτευξη υψηλών ρυθμών προχώρησης, οι οποίοι μπορούν να φτάσουν ή και να ξεπεράσουν τα 30 m/day. Η όρυξη είναι πλήρως μηχανοποιημένη και ο έλεγχος πραγματοποιείται από ειδική καμπίνα επάνω στο μηχάνημα.



6.4.1 Είδη μηχανών TBM.

- i. Μηχανές χωρίς ασπίδα, για σκληρά πετρώματα όταν δεν απαιτείται η τοποθέτηση δακτυλίων αντιστηρίξεως στο πέτρωμα, χαρακτηριστικά:
 - Προστασία της κεφαλής έναντι καταπτώσεων της οροφής
 - Η προώθηση γίνεται με πίεση επί της τοποθετημένης επένδυσης
 - Η τοποθέτηση της επένδυσης καθυστερεί την εκσκαφή
- ii. Μηχανές με ασπίδα, 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 από οπλισμένο σκυρόδεμα. Σε σύγκριση με τα μηχανήματα ανοικτού τοίπου η προώθηση των μηχανών με ασπίδα περιορίζεται από την ταχύτητα τοποθέτησης των δακτυλίων αντιστηρίξεων. Πλεονεκτήματα.
 - Σε καλό πέτρωμα συμπεριφέρεται όπως ένα ανοιχτό TBM, και η προώθηση γίνεται με τα πλευρικά πέλματα.
 - Σε καλό πέτρωμα η τοποθέτηση επένδυσης μπορεί να γίνει ταυτόχρονα με την εκσκαφή.
 - Σε κακό πέτρωμα η προώθηση γίνεται με πίεση επί της είδης τοποθετημένης επένδυσης και συνεπώς συμπεριφέρεται σαν TBM με μονή ασπίδα
- iii. Μηχανές για ειδικές συνθήκες, χρησιμοποιούνται κυρίως όπου αναμένεται αστάθεια του μετώπου, η επιδιώκεται ελαχιστοποίηση των καθιζήσεων.

6.5 ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΜΕ ΜΕ ΕΚΡΗΚΤΙΚΕΣ ΥΛΕΣ

Μηχανισμός θραύσης

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

Κατά την εξόρυξη των πετρωμάτων η εκρηκτική ύλη τοποθετείται συνήθως εντός των διατρημάτων. Πυροδοτούμενη παράγει χημικές αντιδράσεις με αποτέλεσμα η παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων, αερίων και θερμότητας, έτσι ώστε να αυξάνεται η πίεση σε πολύ λίγο χρόνο στα τοιχώματα του διατρήματος. Η γρήγορη αυτή αύξηση της πίεσης παράγει ένα κρουστικό κύμα, το οποίο εισχωρεί μέσα στο πέτρωμα με μια ταχύτητα 5000μ./δευτ.

στα σκληρά πετρώματα και 300μ./δευτ. στα μαλακά πετρώματα.

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

- Ζώνη έντονου θρυμματισμού και ρηγμάτωσης
- Μεταβατική ζώνη ή ζώνη θρυμματισμού και ρηγμάτωσης
- Ζώνη σχηματισμού ακτινωτών ρωγμών ή ελαστική περιοχή
- Ζώνη δόμησης του γειτονικού πετρώματος, συνέπεια ανάκλισης του κρουστικού κύματος
- Ελεύθερη επιφάνεια

Ανάλογα με τον τύπο και την ποιότητα του χρησιμοποιούμενου εκρηκτικού η ακτίνα της ζώνης διαφέρει ανάλογα με τον 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 διελυσή 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 διεγερσής τους και δεν μεταφέρουν καμία μάζα. Τα κρουστικά κύματα είναι διαμήκη θλιπτικά κύματα, τα οποία δεν μεταφέρουν καμία μάζα, αλλά δεν εξασκούν καμία περιοδική ταλάντωση.

Οι αναπτυσσόμενες τάσεις εφελκυσμού είναι δυνατόν να προκαλέσουν διάρρηξη των υλικών και απόσπαση των τεμαχίων από την ελεύθερη επιφάνεια, διότι η αντοχή του πετρώματος σε εφελκυσμό είναι πολύ μικρότερη απ' ό,τι σε θλίψη. Το φαινόμενο αυτό καλείται αποφλοίωση. Τέλος συνέπεια της στατικής πίεσης, την οποία ασκούν τα αέρια της 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 τεχνική η οποία αναπτύχθηκε με ταχύ ρυθμό τα τελευταία χρόνια. Η χρήση π.χ. εκρηκτικού AN-FO και οι διάφορες μηχανές γόμωση συντέλεσαν στη 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 και καθορίζει την μέθοδο όρυξης της σήραγγας, λαμβάνοντας πάντα υπόψη την ύπαρξη κινδύνων από τις εδαφικές δονήσεις της έκρηξης.

6.5.1 ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗ ΕΚΡΗΚΤΙΚΗ ΥΛΗ

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

6.5.2 ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΜΕ ΜΕ ΕΚΡΗΚΤΙΚΕΣ ΥΛΕΣ ΣΕ ΚΑΤΟΙΚΗΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

Στην όρυξη σηράγγων σε κατοικημένες περιοχές, για να μειωθούν οι κίνδυνοι από τις εδαφικές δονήσεις, εφαρμόζεται η τεχνική της ελεγχόμενης εξόρυξης. Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής στη διάνοιξη των σηράγγων, η οποία σήμερα κερδίζει συνεχώς έδαφος, συμπληρώνει ένα κενό της τεχνικής εξόρυξης. Όταν οι σήραγγες ορύσσονται κάτω από πόλεις, κτίρια ή άλλες εγκαταστάσεις, οι δονήσεις του εδάφους αποτελούν κυριότερο πρόβλημα για το μηχανικό της εξόρυξης. Για την μειωσή 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 καψύλια ms και ½ sec. Σε σήραγγες όμως μικρής διατομής όπου είναι δύσκολη η διάτρηση στις γωνίες χρησιμοποιείται ο κυλινδρικός τύπος προεκκαφής.

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

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

Τέλος, έχει αποδειχθεί ότι πρέπει να αποφεύγονται οι υπερβολικά μικρες προχωρήσεις ανά κύκλο ανατίναξης. Σε περίπτωση που 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.



ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΑΝΑΤΙΝΑΞΗ



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΒΟΥΛΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΜΕΣΑ ΣΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑ

Η μέχρι τώρα εμπειρία έχει δείξει ότι τα τροχαία ατυχήματα που συμβαίνουν σε σήραγγες είναι δυνατόν να εξελεγχθούν σε καταστροφές, σε σχέση με αντίστοιχα ατυχήματα σε ανοιχτό χώρο. Είναι απαραίτητο επομένως να ελαχιστοποιηθούν οι πιθανότητες ατυχημάτων .

Φροντίστε λοιπόν εάν οδηγείτε σε σήραγγες ή τούνελ να :

Έχετε τα φώτα σας αναμμένα. Μην παραβιάζεται τους φωτεινούς σηματοδότες της λωρίδας, οι φωτεινοί αυτοί σηματοδότες είναι τοποθετημένοι στην είσοδο της σήραγγας ή του τούνελ, αλλά και στο εσωτερικό της πάνω σε κάθε λωρίδα, και δείχνουν εάν η λωρίδα λειτουργεί. Εάν αντιληφθείται ότι η λωρίδα είναι εκτός λειτουργίας, θα πρέπει να αλλάξετε λωρίδα το ταχύτερο δυνατόν. Τηρείτε τα σταθερά ή μεταβλητά όρια ταχύτητας . Τα μεταβλητά όρια ταχύτητας σε μια σήραγγα δείχνουν το επιτρεπόμενο όριο για τους οδηγούς, όπως αυτό έχει καθοριστεί σύμφωνα με την κυκλοφορία και τις συνθήκες που επικρατούν. Σε περίπτωση που ο φωτεινός σηματοδότης των μεταβλητών ορίων είναι σβηστός, ισχύουν τα προβλεπόμενα, από τις στατικές πινακίδες, όρια ταχύτητας. Κρατάμε τις αποστάσεις ασφαλείας, μην αλλάζετε άσκοπα λωρίδα. Αφήνετε τουλάχιστον 5 μέτρα απόσταση από το μπροστινό σας όχημα γιατί υπάρχει το ενδεχόμενο να χρειαστεί να ακινητοποιήσετε το οχημά σας , εκτός ή εντός του τούνελ.

Σβήνετε τη μηχανή σας, σε περίπτωση παρατεταμένης στάσης στη σήραγγα. Εγκαταλείψτε το αυτοκίνητο και κινηθείτε προς την πλησιέστερη έξοδο, πεζοί, σε περίπτωση σοβαρού ατυχήματος.

7.1 Υπερβολική ταχύτητα.

Σύμφωνα με πρόσφατη έρευνα του τομέα μεταφορών του ΟΟΣΑ, καταρίπτεται η λανθασμένη εντύπωση πως εάν πατήσουμε το γκάζι λίγο παραπάνω περιορίζουμε το χρόνο της μετακίνησής μας. Είναι αποδεδειγμένο ότι η παρουσία φαναριών και διασταυρώσεων δεν επιτρέπει τη μείωση του χρόνου μετακίνησης στην πόλη, ακόμη και αν αυξήσουμε την ταχύτητα του αυτοκινήτου, ενώ η δυνατότητα ενός αυτοκινητόδρομου σε αστική περιοχή δεν ξεπερνά τα 70 χλμ/ώρα.

Στοιχεία που πρέπει να γνωρίζετε:

Η αύξηση της ταχύτητας κίνησης ενός οχήματος κατά 5% οδηγεί σε άνοδο 10% των τροχαίων ατυχημάτων και κατά 20% των δυστυχημάτων.

Σύμφωνα με μελέτη του ΟΟΣΑ, σε περίπτωση που διερχόμενο όχημα με ταχύτητα 50 χλμ/ώρα χτυπήσει πεζό, η πιθανότητα θανάσιμου τραυματισμού του πεζού αγγίζει το 80%, ενώ αν η ταχύτητα είναι 30 χλμ/ώρα περιρίζεται στο 10%.

Ο οδηγός οχήματος που συγκρουσθεί πλάγια με ταχύτητα μεγαλύτερη των 50 χλμ/ώρα εκτιμάται ότι δεν έχει καμία πιθανότητα επιβίωσης, ενώ σε περίπτωση που η σύγκρουση είναι μετωπική πιθανότητα επιβίωσης του συνοδηγού ή του επιβάτη υπάρχει μόνο εάν η ταχύτητα δεν ξεπερνά τα 70 χλμ/ώρα.

Υπερβολική ταχύτητα -υπεραστικό δίκτυο.

Λόγω των υψηλών ταχυτήτων που αναπτύσσονται, τα τροχαία ατυχήματα που συμβαίνουν στο υπεραστικό οδικό δίκτυο , έχουν τις δυσμενέστερες επιπτώσεις. Στην Ελλάδα το 1/3 των νεκρών σε τροχαία ατυχήματα είναι από ατυχήματα στο Εθνικό Οδικό Δίκτυο.

Τηρείτε πάντα τα όρια ταχύτητας του δρόμου.

ου. Τα όρια ταχύτητας έχουν υπολογιστεί βάσει πολλών παραμέτρων που σίγουρα εσείς δε γνωρίζετε. Βεβαίως η ταχύτητα σας θα πρέπει να είναι ακόμη χαμηλότερη σε περίπτωση που:

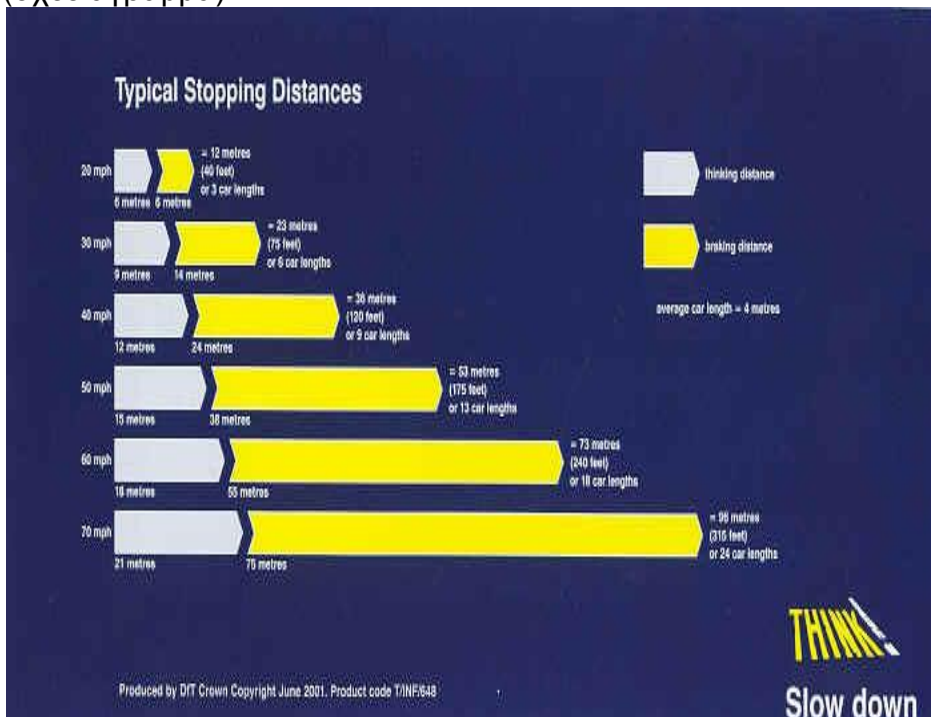
- Υπάρχουν έργα στο δρόμο
- Υπάρχουν πεζοί, ποδηλάτες, μοτοσικλετιστές
- Οι καιρικές συνθήκες είναι κακές
- Ο φωτισμός είναι κακός

7.2 Υπολογισμός απόστασης ασφαλείας

Πάντα να οδηγείται με μια ταχύτητα που θα σας επιτρέψει να σταματήσετε εγκαίρως σε μια απόσταση ελεύθερη μπροστά σας. Γι' αυτό θα πρέπει να αφήνετα μια απόσταση αρκετή από τον μπροστινό σας, ώστε εάν φρενάρει απότομα, να μπορέσετε να σταματήσετε.

Το γράφημα που ακολουθεί παρουσιάζει το πώς, ενώ αυξάνεται η ταχύτητα του οχήματος, μεγαλώνει και η απόσταση ακινητοποίησής του (stopping distance) , η οποία είναι ίση με το αρθροισμα της απόστασης που θα διανύσει το όχημα φρενάροντας (braking distance).

(σχεδιάγραμμα)



Συμβουλές για καλύτερο υπολογισμό της απόστασης ασφαλείας.

Χρησιμοποιείτε νοητά ένα σταθερό σημείο από το οποίο θα περάσει το προπορευόμενο όχημα (για παράδειγμα κάποια πινακίδα ή κάποιο στύλο φωτισμού) και μετρήστε δύο δευτερόλεπτα (λέγοντας από μέσα σας 1001, 1002),θα πρέπει να περνάτε και εσείς από αυτό το σημείο εκείνη τη στιγμή. Σε περίπτωση βροχής, θα πρέπει να αφήνετε διάστημα τεσσάρων δευτερολέπτων, ενώ σε περίπτωση παγετού ακόμα περισσότερο.

Θυμηθείτε: τα μεγάλα φορτηγά οχήματα καθώς και οι μοτοσικλέτες, χρειάζονται περισσότερη απόσταση για να ακινητοποιηθούν, οπότε θα πρέπει να αφήνετε διάστημα τεσσάρων δευτερολέπτων.

7.3 Τηλέφωνα επείγουσας ειδοποίησης

Οι νέοι αυτοκινητόδρομοι που λειτουργούν ήδη στην Ελλάδα αλλά και όσοι βρίσκονται υπό κατασκευή διαθέτουν τηλεφωνικούς αριθμούς που ο οδηγός μπορεί να καλεί από το κινητό του τηλέφωνο, σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Καλείται τα τηλέφωνα αυτά σε περιπτώσεις που:

- Εμπλακείτε σε ατύχημα
- Γίνεται αυτόπτης μάρτυρας σε ατύχημα
- Ακινητοποιηθεί το αυτοκινητό σας λόγω βλάβης
- Παρατηρήσετε κάτι επικίνδυνο στο οδόστρωμα (πεσμένο φορτίο, σπασμένο λάστιχο φορτηγού)
- Νιώσετε αδιαθεσία κατά την οδήγηση

Ενδεικτικά τηλέφωνα είναι

Αττική οδός	1866
Αυτοκινητόδρομος αιγαίου	1866
Μορέας	1866
Νέα οδός(αθήνα-μαλιακός και σχηματάρι -χαλκίδα) & Κεντρική οδός (ΠΑΘΕ σκαρφια φθιώτιδας μέχρι Ράχες φθιώτιδας)	1075
Ολυμπία οδός	1025
Εγνατία οδός	1077