

**ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ Ε/Υ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΤΙΤΛΟΣ:** "Εδαφικά προβλήματα διάνοιξης σήραγγας Μετρό Αθήνας με  
Τ.Β.Μ"



**ΟΝΟΜ/ΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ:**  
ΑΜΠΕΛΑΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ  
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΑΣΗΜΑΚΗΣ  
ΑΓΓΕΛΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

**ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**

ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ

ΠΑΤΡΑ 24 / 03 /2010

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	8

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>:

#### ***Σηραγγοποιΐα***

1.1 Ταξινόμηση των σηράγγων.....	12
1.2 Οι Σήραγγες Σήμερα.....	14
1.3 Σκοποί και εφαρμογές των σηράγγων.....	18
1.4 Απαιτούμενα έργα και εγκαταστάσεις που περιλαμβάνουν οι σήραγγες.....	19
1.5 Γεωλογική μελέτη της σήραγγας.....	20
1.6 Μέθοδος NATM.....	27
1.7 Μέθοδος TBM.....	34
1.8 Μέθοδος ανοικτού ορύγματος.....	44

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>:

#### ***Κατασκευή του Μετρό Αθήνας***

2.1 Μέθοδοι κατασκευής του έργου.....	47
2.2 Μηχανολογικός εξοπλισμός του Μετρό Αθήνας.....	63
2.3 Γραμμές του Μετρό Αθήνας.....	78
2.4 Γεωλογικά & Υδρογεωλογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής Αθηνών.....	79
2.5 Μεταφορά υλικών εκσκαφής.....	85
2.6 Μηχάνημα διάνοιξης Μικρό Σηράγγων (MTBM).....	88

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>0</sup>:

### *Προβλήματα και λύσεις κατά την κατασκευή του Μετρό Αθήνας*

3.1	Αστοχία υλικών - εδαφικά προβλήματα – καθιζήσεις.....	89
3.2	Τεχνικά προβλήματα .....	102
3.2.1	Προβλήματα κατά την διάνοιξη σηράγγων σε διάφορους σταθμούς.....	104
3.2.2	Προβλήματα κατά την διάνοιξη σήραγγας με (OFS).....	111
3.3	Καθίζηση στην σήραγγα της γραμμής 3 (Εθνική Άμυνας – Σταυρός).....	113

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>0</sup>:

### *Ανάδειξη του παλαιού & σύγχρονου ελληνικού πολιτισμού*

4.1	Ανασκαφές και Αρχαία ευρήματα σε διάφορους σταθμούς.....	121
4.2	Αρχαιολογικό έργο στο Μετρό Αθήνας.....	127
4.3	Αρχαιολογία και κατασκευή.....	130
4.4	Πρόγραμμα εικαστικής πλαισίωσης.....	131

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>0</sup>:

### *Η Αθήνα μετά την λειτουργία του Μετρό*

5.1	Επίλυση των συγκοινωνιακών προβλημάτων.....	139
5.2	Μείωση των ρύπων στην πόλη.....	140
5.3	Αναβάθμιση της πόλης.....	141
5.4	Εύκολη & ευχάριστη μετακίνηση κατοίκων και επισκεπτών.....	142
	Σύνοψη .....	144

Βιβλιογραφία.....	146
Αττικό Μετρό Foto gallery.....	147

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο Πολιτικός Μηχανικός βρίσκεται σε μια συνεχή αναζήτηση ιδεών και τρόπων προόδου για τις σήραγγες και της μηχανικής διάτρησης. Έχει σαν αυτοσκοπό τον Άνθρωπο και κατασκευάζει τα συγκεκριμένα έργα υποδομής για βελτίωση του τρόπου ζωής του. Η Ηλεκτρολογία και η Μηχανολογία είναι δύο επιστήμες που βοηθούν προς αυτήν την κατεύθυνση.

Η μελέτη του γεωλογικού περιβάλλοντος που θα λάβει χώρα η σήραγγα είναι ένα από τα σημαντικότερα τμήματα της κατασκευής της. Ύστερα από μελέτη της περιοχής και δειγματοληψίες, συντάσσεται ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής ο οποίος δίνει όλες εκείνες τις απαραίτητες πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την κατασκευή μιας ασφαλούς σήραγγας. Η επιστήμη της γεωλογίας μπορεί επίσης να μας δώσει πληροφορίες και να εκτιμήσουμε τον απαιτούμενο χρόνο για την κατασκευή της συγκεκριμένης σήραγγας.

Οι εκρηκτικές ύλες χρησιμοποιούνται σαν ένας τρόπος διάνοιξης σηράγγων αν και η εκσκαφή βρίσκει μεγαλύτερη εφαρμογή. Κατά την κατασκευή μιας σήραγγας με την μέθοδο της εκσκαφής, άλλοτε το έδαφος χρειάζεται τεχνητή υποστήριξη και άλλοτε όχι. Εξαρτάται από το είδος του εδάφους. Έτσι, τα βραχώδη εδάφη είναι η περίπτωση όπου δεν απαιτείται υποστήριξη ενώ για όλα τα υπόλοιπα είναι αναγκαία η υποστήριξη. Αυτή μπορεί να γίνει με ποικίλους τρόπους. Υπάρχει η υποστήριξη με στηρίγματα από οπλισμένο σκυρόδεμα, στερέωση με αγκύρωση της στέγης, υποστήριξη του εδάφους με πεταχτό μπετόν.

Οι σήραγγες μπορεί να είναι συγκοινωνιακές (π.χ. οδικές, συγκοινωνιακές κτλ.) ή σήραγγες μεταφοράς (π.χ. σήραγγες ύδρευσης, αποχετευτικές σήραγγες κτλ.)

Το έτος 1856 ο Wilson συνέβαλε στην εγκατάλειψη της μεθόδου με

εκρηκτικά κατασκευάζοντας την πρώτη σήραγγα με την μέθοδο της εκσκαφής. Βέβαια, επειδή ήταν η πρώτη σοβαρή προσπάθεια κατασκευής σήραγγας με αυτόν τον τρόπο, όπως ήταν φυσικό, υπήρξαν πολλά προβλήματα και δυσκολίες που έπρεπε να αντιμετωπιστούν. Πρόκειται για τις μηχανές ολομέτωπης διάτρησης που παρουσιάζουν ραγδαία πρόοδο και εξελίσσονται ολοένα και περισσότερο μετά τον β' παγκόσμιο πόλεμο. Πολλοί μεγάλοι επιστήμονες ασχολούνται με την μελέτη των νέων τεχνικών και ταυτόχρονα επιλύονται πολλά προβλήματα της σύγχρονης απαιτητικής κοινωνίας χάρη των σύγχρονων κατασκευών – έργων υποδομής.

Το Μετρό της Αθήνας είναι ένα μεγάλο σύγχρονο έργο το οποίο είναι εξολοκλήρου υπόγειο. Εξετάσθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν πολλές μέθοδοι διάνοιξης σηράγγων ανάλογα με τις συνθήκες σε κάθε κομμάτι εδάφους σε συνδυασμό με τον οικονομικό παράγοντα. Μερικές από αυτές είναι η μέθοδος ολομέτωπης κοπής, η χρήση μηχανημάτων σημειακής κοπής ασπίδας, η εκσκαφή με χρήση μηχανήματος εξισορρόπησης εδαφικής πίεσης, η χρήση συμβατικής μεθόδου εκσκαφής σηράγγων, η χρήση μεθόδου ανοικτού ορύγματος και η μέθοδος επικάλυψης – εκσκαφής.

Κατά την διάνοιξη σηράγγων είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα βρεθούμε αντιμέτωποι με διάφορα μικρά ή μεγαλύτερα προβλήματα. Μερικά από τα οποία είναι η καθίζηση, η αστάθεια, η αστοχία, η εισροή υδάτων, η εμφάνιση η εμφάνιση ρωγμών στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κ.α. Οι καθιζήσεις αποτελούν ένα φαινόμενο που λαμβάνει χώρα εκεί όπου γίνεται συμπίεση του εδάφους, όταν το υπερκείμενο έργο υπερβεί την αντοχή του. Όταν συμβεί αυτό παρατηρείται παραμόρφωση ή υποχώρηση του εδάφους και οι συνέπειες είναι τραγικές. Ειδικά δε όταν πρόκειται για κατοικημένη περιοχή, οι συνέπειες είναι ακόμη πιο καταστροφικές. Σε αυτή την περίπτωση δύναται να κινδυνεύσουν ακόμη και ανθρώπινες ζωές. Για αυτόν το λόγο, οι μηχανικοί λαμβάνουν πολύ σοβαρά υποψιών τους το κομμάτι αυτό των καθιζήσεων. Ο καλύτερος τρόπος αντιμετώπισης των καθιζήσεων είναι η

σωστή μελέτη και όλα εκείνα τα μέτρα που προλαμβάνουν τέτοιου είδους προβλήματα.

Μεγάλη βαρύτητα πρέπει να δώσουμε και στα συστήματα αντιστήριξης των σηράγγων για την εξασφάλιση της ευστάθειας του έργου καθώς επίσης και την ασφάλεια του προσωπικού. Τα αγκύρια και το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είναι δύο από τα σημαντικότερα εργαλεία που έχει στα χέρια του ο Μηχανικός για την εξασφάλιση των παραπάνω συνθηκών. Με τα αγκύρια πετυχαίνεται η συρραφή των διαταραγμένων βραχωδών στοιχείων. Το δε εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, εισχωρεί μέσα στις ρωγμές και τους ανοικτούς αρμούς του πετρώματος και συμπεριφέρεται όπως η κονία σε μια επιφάνεια τοιχοποιίας. Επίσης, με αυτόν τον τρόπο εμποδίζεται και η ροή του νερού από τα τοιχώματα. Ένα άλλο σοβαρό πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε στην διάνοιξη σηράγγων με μηχανικά μέσα είναι η φόρτωση του υλικού εκσκαφής και η μεταφορά του έξω από την σήραγγα. Το πρόβλημα έγκειται στο γεγονός ότι η διατρητική μηχανή είναι σύστημα συνεχούς λειτουργίας ενώ τα μεταφορικά μέσα δεν είναι. Ο χρόνος που χάνεται λόγω αυτού του προβλήματος είναι πολύ σημαντικός.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πρώτες σήραγγες κατασκευάστηκαν για να εξυπηρετήσουν αποστραγγιστικούς σκοπούς καθώς και την ύδρευση των διάφορων πόλεων. Στην συνέχεια κατασκευάστηκαν σήραγγες για μεταλλευτικές και λατομικές εργασίες, ενώ αρκετά αργότερα για συγκοινωνιακούς σκοπούς. Από τις αρχαιότερες σήραγγες αξιοσημείωτες είναι αυτές που κατασκευάστηκαν από τους βασιλείς της αρχαίας Αιγύπτου, μερικές από τις οποίες έφτασαν σε μήκος τα 250 μ.

Πριν 4000 χρόνια στην Βαβυλώνα κατασκευάστηκε η πρώτη υδάτινη σήραγγα κάτω από τον ποταμό Ευφράτη. Είχε μήκος 1 χλμ. και διατομή με διαστάσεις 3,6 μ. και 4,5 μ. που είναι πολύ σημαντικό για την εποχή εκείνη και δείχνει ότι οι βαβυλώνιοι πρέπει να είχαν αποκτήσει εμπειρία και πρακτική από άλλες σήραγγες που κατασκευάστηκαν αργότερα.

Στην Ελλάδα κατασκευάστηκαν κατά την αρχαιότητα πολλές σήραγγες για ύδρευση, όπως στην περιοχή των Θηβών που χρονολογούνται από την εποχή του Περικλή. Αξιόλογο είναι επίσης το υπόγειο Ρωμαϊκό υδραγωγείο της Νικόπολης στην Πρέβεζας, που ξεκινούσε από τις πηγές του Άγιου Γεωργίου του Λούρου. Ακόμα πιο αξιόλογο είναι το αμφίστομο Ευπαλίνειο όρυγμα στο Πυθαγόρειο της Σάμου, που κατασκευάστηκε στα 600 π.χ. Είχε συνολικό μήκος 1300 μ. και είναι σκαμμένο μέσα σε βραχώδες βουνό. Η διάνοιξή του έγινε και από τα δυο άκρα συγχρόνως. Ο Ευπαλίνος έκανε και στην πατρίδα του έργα, τα Μέγαρα, το Επαλίνειο υδραγωγείο, που ακόμα και σήμερα καλύπτει ένα μικρό ποσοστό αναγκών της πόλης.

Από την Ρωμαϊκή εποχή έχουμε στην Ιταλία ένα σημαντικό παράδειγμα σήραγγας μέσα σε ασβεστολιθικά πετρώματα. Έχει μήκος 3,5 μίλια (5.632 μέτρα), θεωρητική διατομή με διαστάσεις 2 x 3 μέτρα και κατασκευάστηκε για την αποχέτευση της λίμνης Fucino, ανατολικά της Ρώμης.



Αργότερα, και ειδικότερα στον Μεσαίωνα, διανοίχτηκαν σήραγγες για στρατιωτικούς σκοπούς υπονομεύοντας τα τείχη των εχθρικών πόλεων που βοήθησαν στην κατάληψη τους.

Τον 17<sup>ο</sup> αιώνα οι ανάγκες της ναυσιπλοΐας έστρεψαν το ενδιαφέρον των επιστημόνων και τεχνιτών της εποχής στις σήραγγες. Το 1679 κατά την κατασκευή μιας σήραγγας στο κανάλι του La Gueda στην Γαλλία, για την ανατίναξη του πετρώματος χρησιμοποιήθηκε πυρίτιδα, ενώ μέχρι τότε η εκσκαφή γινόταν χειρωνακτικά, με την χρησιμοποίηση των σφυρών και απαιτούσε τεράστια προσπάθεια και βέβαια πάρα πολύ κοπιαστική εργασία και πάρα πολύ χρόνο. Έτσι από τότε κατασκευάστηκαν με πολύ μεγάλη επιτυχία σήραγγες ναυσιπλοΐας στην Γαλλία και την Αγγλία. Μέσα σε ενάμιση αιώνα κανάλια που διέσχιζαν λοφώδεις περιοχές μεταλλίων στις δυο χώρες, συνδέθηκαν με σήραγγες που το συνολικό μήκος τους φτάνει μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα. Αυτή η ώθηση στην κατασκευή σηράγγων έγινε ακόμη πιο μεγάλη με την ανακάλυψη του σιδηρόδρομου.

Η πρώτη σιδηροδρομική σήραγγα κατασκευάστηκε στην Γαλλία το 1826. Η μεγάλη ανάπτυξη του σιδηροδρομικού δικτύου και η αναγνώριση της τεράστιας συμβουλής του στην διατήρηση στενής επικοινωνίας παντού και πάντοτε σε μια αναπτυσσόμενη περιοχή, οδήγησε γρήγορα στην ανάγκη κατασκευή σηράγγων κάτω από μεγάλες οροσειρές. Η βελτίωση των υδραυλικών και των πνευματικών μηχανών διατήσεως και του άλλου μηχανολογικού εξοπλισμού, η ανακάλυψη της πυρίτιδας και στην συνέχεια των άλλων εκρηκτικών υλών, καθώς και οι νέες τεχνικές διάνοιξης σηράγγων κατέκτησαν δυνατή την κατασκευή της σήραγγας του Mont Genis που συνέδεσε σιδηροδρομικά την Γαλλία με την Ιταλία, των διάσημων Αττικών σηράγγων και αργότερα των Ιταλικών σηράγγων, κατά την κατασκευή των οποίων όχι μόνο βελτιώθηκαν και τελειοποιήθηκαν οι τεχνικές μέθοδοι κατασκευής και ο μηχανολογικός εξοπλισμός, αλλά αναπτύχθηκε η θεωρία της πίεσεως των πετρωμάτων, της τεκτονικής και των διαστάσεως της επένδυσης των σηράγγων. Παράλληλα με

τις παραπάνω σήραγγες ένας αμέτρητος αριθμός σηράγγων, με μεγάλη η μικρή σημασία κατασκευάστηκαν σε όλο τον κόσμο, στην Ρωσία, στην Γαλλία, στην Γερμανία στην Νορβηγία στις Η.Π.Α, στην Ιαπωνία και σε άλλες χώρες.

Αξιοσημείωτη είναι η αναφορά στις πριν από μερικά χρόνια κατασκευασμένες εξέχουσες οδικές σήραγγες του saint Bernard και του Mont Blanc με την οποία συνδέθηκε και οδικά η Γαλλία με την Ιταλία.

Οι σήραγγες αποτελούν σημαντικές υποδομές οι οποίες διευκολύνουν κατά πολύ την επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών περιοχών, πόλεων, περιφερειών ή ακόμη και χωρών. Είναι συνεπώς αναγκαίες και για τις μεταφορές σε μεγάλες αποστάσεις και για την ανάπτυξη των περιφερειακών οικονομιών. Ωστόσο, τα ατυχήματα τα οποία συμβαίνουν μέσα στις σήραγγες, ιδιαίτερα οι πυρκαγιές, είναι δυνατό να έχουν δραματικές συνέπειες και να αποβαίνουν εξαιρετικά επώδυνες από πλευράς ανθρώπινων ζωών, αύξηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, της ρύπανσης και των εξόδων αποκατάστασης. Οι πυρκαγιές που συνέβησαν στις σήραγγες του Mont – Blanc (Γαλλία – Ιταλία) και του Touer (Αυστρία) το 1999, και στην σήραγγα του Gothard (Ελβετία) το 2001 κατέδειξαν τις συνέπειες των ατυχημάτων αυτών στις σήραγγες από πλευράς ανθρώπινων ζωών αλλά και οικονομικού κόστους. Συγκεκριμένα είχαμε δεκάδες νεκρούς και τραυματίες όπως και διακοπή της κυκλοφορίας σε σημαντικούς ευρωπαϊκούς άξονες για μεγάλο χρονικό διάστημα. Για αυτόν τον λόγο η Ευρώπη αναγκάστηκε να πάρει μέτρα με τίτλο « Η Ευρωπαϊκή πολιτική των μεταφορών με ορίζοντα το 2010: η ώρα των αποφάσεων». Για παράδειγμα οι σήραγγες οδικού δικτύου με μήκος μεγαλύτερο από 500 μ. πρέπει να είναι εξοπλισμένες με σύστημα μηχανικού εξαερισμού δεδομένου ότι οι θερμοί ατμοί των πυρκαγιών δύσκολα εξέρχονται αυτής με φυσικό τρόπο και δημιουργούν προβλήματα.

Οι λειτουργίες μιας σύγχρονης πόλης είναι πολλές και είναι άμεσα συνδεδεμένες με την ζωή του Ανθρώπου και της κοινωνίας γενικότερα. Αυτό σημαίνει ότι διαταράσσοντας αυτές τις λειτουργίες διαταράσσονται οι

ισορροπίες της ζωής του ανθρώπου, πράγμα που προσπαθεί να αποφύγει ο Μηχανικός που μελετά και κατασκευάζει ένα Έργο μέσα σε αυτήν. Επειδή αυτοσκοπός είναι ο άνθρωπος αποφεύγει να διαταράξει την ομαλή λειτουργία της κοινωνίας του ακόμη κι αν αυτό έχει σαν συνέπεια την αύξηση του κόστους του Έργου. Οι μετατοπίσεις αγωγών κοινής ωφέλειας και οι παρακάμψεις οδικής κυκλοφορίας είναι δύο συνήθη φαινόμενα.

Το τολμηρότερο εγχείρημα στην κατασκευή σήραγγων θα είναι, αν πραγματοποιηθεί η διάνοιξη της σήραγγας της Μάγχης, η οποία θα συνδέσει την Αγγλία με την Γαλλία που στο αρχικό σχέδιο είναι σιδηροδρομική. Παρόμοια σήραγγα άρχισε να κατασκευάζεται παλαιότερα στην Ιαπωνία, για την σύνδεση των δυο μεγαλύτερων νησιών της, του Hokkaido και του Honshu.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### **1.1 Ταξινόμηση των σήραγγων**

Ανάλογα με τον σκοπό τους οι σήραγγες διακρίνονται στις παρακάτω δυο ομάδες :

#### **1)ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΕΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ**

- i) Σιδηροδρομικές σήραγγες
- ii) Οδικές σήραγγες
- iii) Υπόγειες διαβάσεις πεζών
- iv) Σήραγγες ναυσιπλοΐας
- v) Σήραγγες υπόγειων σιδηροδρόμων (Μετρό)

#### **2) ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ**

- i) Σήραγγες υδροηλεκτρικών σταθμών
- ii) Σήραγγες ύδρευσης
- iii) Σήραγγες άλλων δημόσιων χρήσεων
- iv) Αποχετευτικές σήραγγες
- v) Σήραγγες μεταφοράς σε βιομηχανικές μονάδες


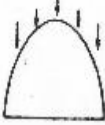
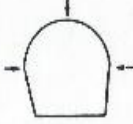
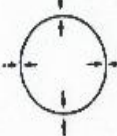
Ανάλογα με την μέθοδο διάνοιξης σήραγγων, διακρίνονται σε σήραγγες φυσικής και τεχνικής διατομής.

Οι σήραγγες τεχνικής διατομής κατασκευάζονται με την μέθοδο της εκτροπής και επικάλυψης, όταν έχουμε μικρό βάθος υπερκειμένων και για χαλαρές αποθέσεις. Οι σήραγγες αυτές είναι γνωστές και σαν οχετοί.

Με βάση το μήκος τους έχουμε σήραγγες μικρές για μήκος μικρότερο από 500 μέτρα, μεσαίου μήκους για μήκος μεγαλύτερο από 500 μέτρα και μικρότερο από 2000 μ. καθώς και μεγαλύτερες για μήκος μεγαλύτερο από 2000 μ.

Τέλος ανάλογα με το μέγεθος της διατομής τους οι σήραγγες διακρίνονται σε μικρή και μεγάλη διατομή. Ανάλογα με την μορφή τους διατομής της σήραγγας διακρίνουμε τις περιπτώσεις που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 1.

Πίνακας 1

	<p>Ορθογώνια διατομή.</p> <p>Χρησιμοποιείται όταν οι εξωτερικές δυνάμεις δεν οδηγούν σε καμιά επιζήμια κίνηση του ορεινού όγκου προς τη διατομή.</p>
	<p>Ημιελλειψοειδής, παραβολική ή ημικυκλική διατομή.</p> <p>Χρησιμοποιείται σε περίπτωση κατακόρυφων δυνάμεων.</p>
	<p>Πεταλοειδής διατομή.</p> <p>Χρησιμοποιείται σε περίπτωση κατακόρυφων και οριζόντιων δυνάμεων.</p>
	<p>Κυκλική διατομή.</p> <p>Χρησιμοποιείται σε περίπτωση εξωτερικών δυνάμεων όλων των κατευθύνσεων και εσωτερικής πίεσης, λόγω νερού.</p>

## 1.2 Οι σήραγγες σήμερα

Η πρώτη προσπάθεια εκσκαφής χωρίς την χρησιμοποίηση εκρηκτικών υλικών, άλλα με μηχανικά μέσα έγινε το 1856 από το Wilson στην κατασκευή σιδηροδρομικής σήραγγας κοντά στην Μασαχουσέτη μήκους 4,7 μιλίων. Η κατασκευή της σήραγγας διάρκεσε 21 χρόνια. Η μηχανή Wilson άντεξε μόνο για 3 μέτρα σήραγγας. Οι ζημιές κατά την διάρκεια της λειτουργίας ήταν τόσο μεγάλες που δεν επέτρεψαν την συνέχιση της προσπάθειας. Η δεύτερη προσπάθεια έγινε τα έτη 1881 - 1883 κατά την διάνοιξη δυο ερευνητικών σηράγγων υδραγωγείου. Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε τότε κατασκευάστηκε με βάση την εμπειρία από τις μηχανές κατακόρυφης διάτρησης για την εξόρυξη πετρελαίου. Τα αποτελέσματα, όμως και αυτής της προσπάθειας ήταν φτωχά, λόγω κυρίως της έλλειψης των απαραίτητων γεωλογικών και τεχνολογικών γνώσεων, αλλά και των κατάλληλων μπαλών και πηγών, κινητήριας ενέργειας.

Μετά το Β' παγκόσμιο πόλεμο οι μηχανές ολομέτωπης διάτρησης παρουσιάζουν ραγδαία εξέλιξη. Πρωτοπόροι είναι οι μηχανικοί Robbins (πρώτη αξιόλογη προσπάθεια ολομέτωπης κοπής το 1953) και Wohimmexer (σε συνεργασία με τα εργοστάσια Atlas corco & Hobegger)

Η πρώτη σήραγγα μεγάλης διατομής σε βράχο κατασκευάστηκε με μηχανικά μέσα το 1963 στο Πακιστάν. Η σήραγγα έχει διάμετρο διάτρησης 11,2 μέτρα και μήκος 4,3 χιλιόμετρα. Από τότε η κατασκευή σηράγγων με μηχανικά μέσα παρουσιάζει συνεχή άνοδο και οι διάφοροι τύποι μηχανών αυξάνουν και εξελίσσονται συνέχεια, κάνοντας όλο και πιο πλεονεκτική την χρησιμοποίησή του.

Όταν σκεφτόμαστε την επιλογή των μηχανημάτων σαν εναλλακτική λύση στην συμβατική μέθοδο, οι παράγοντες που θα λάβουμε υπ' όψιν είναι :

- I. Το διάστημα ζωής του μηχανήματος και το κόστος αντικατάστασης των μελών του.

- II. Ακριβής υπολογισμός για την μείωση του μεγαλύτερου οικονομικού κινδύνου που μπλέκεται (οικονομική εκτίμηση)
- III. Το σχεδιασμό του μηχανήματος , έτσι ώστε να επιτρέπεται την διεξαγωγή διαφόρων λειτουργιών , όπως την εγκατάσταση διάφορων υποστηριγμάτων και την αλλαγή των κοπτικών εξαρτημάτων.
- IV. Η εφαρμογή του μηχανήματος όσον αφορά την χρησιμότητα , την αναλογία (το μέγεθος) διάτρησης, το κόστος του κοπτικού εξαρτημάτων , τα προβλήματα υποστήριξης και την αποτελεσματικότητα των προϊόντων εκσκαφής.

Από την στιγμή που έχουμε επιλέξει ένα μηχάνημα και ένα πλήρωμα χειρισμού του , οι γεωλογικοί παράγοντες γίνονται το κλειδί που ελέγχει την λειτουργία διάνοιξης της σήραγγας, την εφαρμογή του μηχανήματος , το σχεδιασμό και το κόστος. Για αυτό το σκοπό θα πρέπει να παίρνονται από το πεδίο ακριβείς πληροφορίες σε σχέση με την γεωλογική κατάσταση. Οι συνθήκες προχώρησης για τα μηχανήματα , σε σχέση με τις συνθήκες πετρώματος , μπορούν να ταξινομηθούν σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

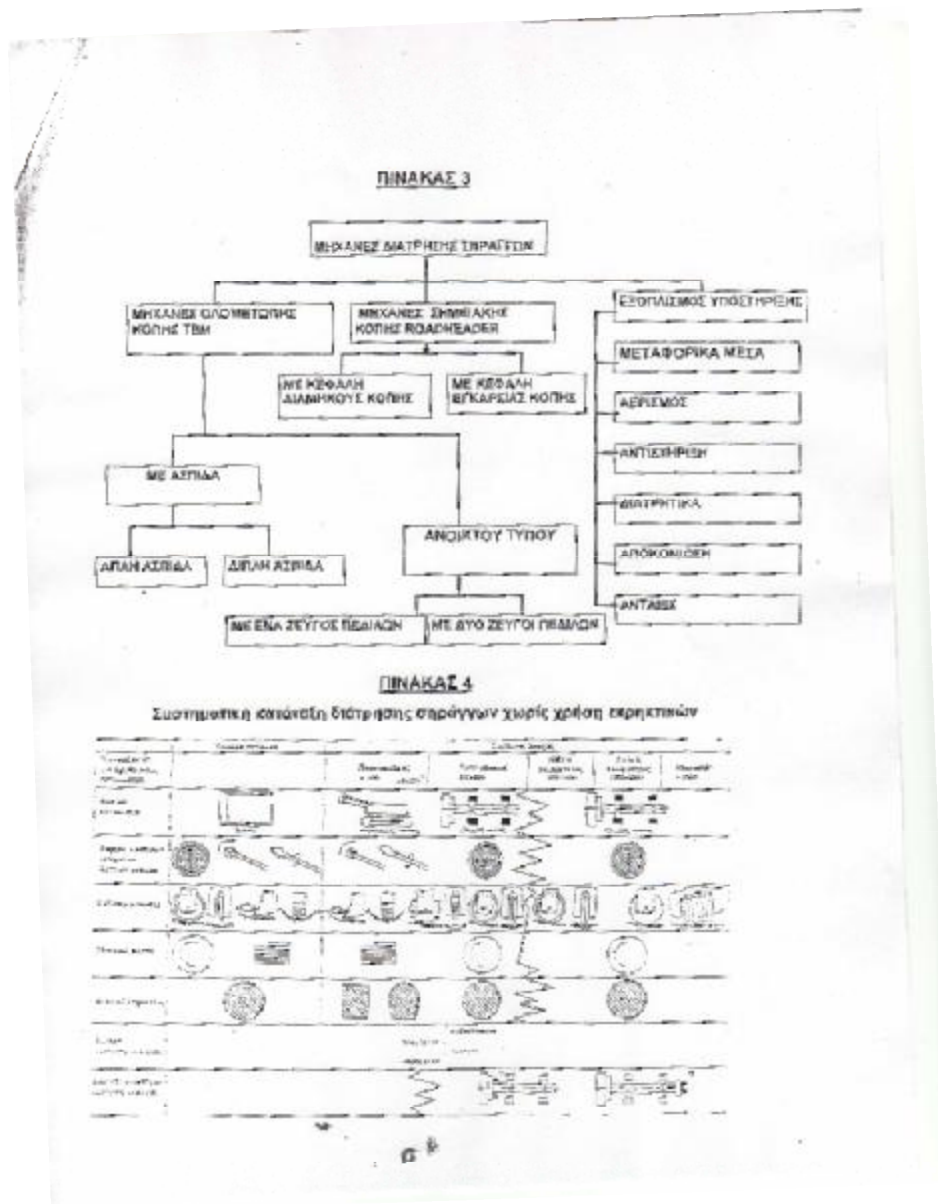
- 1) Κανονική προσχώρηση όταν το μηχάνημα και το σύστημα διάνοιξης της σήραγγας λειτουργούν στο μέγιστο και η πρόοδος προχώρησης υπαγορεύεται από τις ιδιότητες ανέπαφου υλικού.
- 2) Περιορισμένες δυσμενείς συνθήκες προσχώρησης που δημιουργούνται κατά μεγάλο μέρος , από τα χαρακτηριστικά του πετρώματος , όπου η εκτέλεση των δευτερευόντων λειτουργιών κατά την διάνοιξη της σήραγγας ελέγχει ουσιαστικά την χρησιμοποίηση του μηχανήματος και όπου το μέγεθος διάτρησης που επιτυγχάνεται είναι ανεξάρτητο σε κάθε θέση.

Όταν οι συνθήκες στο πέτρωμα είναι καλές , τα μηχανήματα μπορούν να

πετύχουν πρόοδο μέχρι και τέσσερις φορές περισσότερο από αυτή των συμβατικών μεθόδων διάνοιξης. Τα μηχανήματα διάνοιξης σηράγγων χωρίς την χρήση εκρηκτικών μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες:

- I. TBM (Tunnel Boring Machines)
- II. Μηχανήματα εκσκαφής από κάτω προς τα πάνω
- III. Μηχανήματα τύπου BOOM (βραχίονας)

Μια συστηματική κατάταξη των μηχανών διάτρησης σηράγγων σύμφωνα με την σημερινή τεχνολογική εξέλιξη δίνεται στον πίνακα 3 & 4





Η τέχνη της κατασκευής σιηράγγων βρίσκεται σήμερα σε μια κρίσιμη καμπή. Η τεχνολογική πρόοδος στα συναφή έργα πολιτικού μηχανικού, η τάση για καλύτερες και ασφαλέστερες συνθήκες λειτουργίας και η ανάγκη οικονομικού λύσεων, σε συνδυασμό με τον παράγοντα χρόνο, είναι τα κυριότερα κίνητρα για την εφαρμογή νέων μεθόδων και νέων μηχανικών μέσων διάτρησης χωρίς την χρήση εκρηκτικών εφόσον το επιτρέπουν και οι εδαφολογικές συνθήκες.

Η έρευνα των πολυδιάστατων φαινομένων και οι διαδοχικές τεχνικές λύσεις που δίνονται στα παρουσιαζόμενα προβλήματα, στο μέλλον της εφαρμογής της μηχανικής διάτρησης σε νέους άγνωστους τομείς μέχρι και σήμερα. Ίσως καμία άλλη περιοχή των δομικών δραστηριοτήτων δεν παρουσιάζει την ποικιλία των επιστημονικών ενοτήτων της μηχανικής διάτρησης. Η τεχνική γεωλογία κατ'επέκταση και η βραχομηχανική, η κατασκευαστική ικανότητα και εμπειρία του μηχανικού, ο μηχανικός και ηλεκτρολογικός εξοπλισμός, τα προβλήματα της μεταλλουργίας, ο εξαερισμός και η οργάνωση και εποπτεία των εργασιών, μέχρι τα συστήματα εξυπηρέτησης εφάπτονται πολλών και διαφορετικών επιστημονικών ενοτήτων. Η συνεργασία όλων αυτών των επιστημονικών ενοτήτων οδηγεί στην επιτυχία του υπόγειου έργου. Οι εργασίες που προδιαγράφονται για την διάνοιξη των σιηράγγων αφορούν τεχνικές στις οποίες η εκσκαφή εκτελείται με μηχανικά μέσα, όπως κυκλικούς δίσκους, δόντια ή ελάσματα. Στην κατασκευή της πλήρους διάνοιξης σιηράγγων με μηχανικά μέσα ολομέτωπης ή σημειακής κοπής περιλαμβάνονται στην διάθεση των κατάλληλων μηχανημάτων κοπής κάθε είδους απαιτούμενου εξοπλισμού.

### 1.3 Σκοποί και εφαρμογές των σηράγγων

Η εφαρμογή σηράγγων είναι πολυδάπανο και επικίνδυνο έργο, για αυτό και στο παρελθόν την απέρριπταν. Οι σήραγγες περιορίζονταν μέσα στις πόλεις, κάτω από ποτάμια ή απότομες πλάγιες λόφων και σε μικρού μήκους υπόγειες διαβάσεις. Όμως, η γη στοιχίζει πολύ ακριβά, ιδιαίτερα σε κατοικημένες περιοχές, και επιβάλλεται η διάνοιξη σηράγγων αφενός μεν για οικονομικούς λόγους, και αφετέρου δε για την αποσυμφόρηση του κυκλοφοριακού προβλήματος. Ειδικά σε περιπτώσεις που η επιφανειακή συνέχεια των μεταφορικών γραμμών εμποδίζεται ή διακόπτεται από φυσικά εμπόδια ορεινού εδάφους, η κατασκευή σηράγγων βοηθάει να γίνει πιο ομαλή, οικονομικότερη και ταχύτερη η συγκοινωνία.

Η τεχνική στην διάνοιξη των σηράγγων έχει προχωρήσει πολύ και έτσι αποφεύγονται οι διάφορες μετακινήσεις που δημιουργούνται από τους δρόμους στην επιφάνεια του εδάφους. Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις τεχνικών προβλημάτων στις οποίες μια σήραγγα αποτελεί την καλύτερη και οικονομικότερη λύση από οποιοδήποτε άλλο είδος κατασκευής.

Ας θέσουμε ένα παράδειγμα, όταν μια συγκοινωνιακή γραμμή ή μια γραμμή διοχέτευσης νερού πρέπει να διασχίσει εγκάρσια ένα ρέμα, η σήραγγα πολλές φορές είναι οικονομικότερη και ασφαλέστερη λύση από μια γέφυρα.

Ένα παλιό μειονέκτημα των σηράγγων που οφείλεται στον κίνδυνο καθίζησης της επιφάνειας του εδάφους κάτω από το οποίο διέρχεται, εξουδετερώνεται με την βελτιστοποίηση των μεθόδων υποστήριξης. Συνήθως οι σήραγγες κατασκευάζονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Σε ορισμένες όμως περιπτώσεις τεχνικών έργων οι σήραγγες κατασκευάζονται κάτω από ποτάμια και θάλασσες, αντικαθιστώντας τις γέφυρες και τις διώρυγες.

Οι δεκαετίες του 80-90 ονομάστηκαν δεκαετίες των υπόγειων έργων, εφόσον ο όγκος των έργων αυτών, σε σχέση με την δεκαετία του 60 αυξήθηκε στο τετραπλάσιο με πρόβλεψη περαιτέρω αύξησης. Ο μεγαλύτερος όγκος υπόγειων

έργων είναι οι σήραγγες οι οποίες χαρακτηρίζονται από την σταθερή διατομή τους και εξυπηρετούν διάφορους σκοπούς, όπως είναι οι συγκοινωνιακές ή αρδευτικές σήραγγες με οριζόντιο ή κεκλιμένο διαμήκη άξονα, μικρής ή μεγάλης διατομής και οι σήραγγες όδευσης σωληνώσεων.

#### **1.4 Απαιτούμενα έργα και εγκαταστάσεις που περιλαμβάνουν οι σήραγγες**

Η ύπαρξη σήραγγας ή σηράγγων στην μελέτη ενός οδικού έργου συνεπάγεται (ανάλογα και με το μήκος και το πλήθος των προβλεπόμενων σηράγγων) την πρόβλεψη εγκαταστάσεων και έργων που είναι αναγκαία:

- i) για την λειτουργία της σήραγγας (π.χ. φωτισμός, αερισμός, κ.λπ.)
- ii) για τον έλεγχο και την ασφάλεια της κυκλοφορίας (π.χ. ειδικές σημάσεις σταθερού ή μεταβλητού μηνύματος, φωτεινές σηματοδοτήσεις, συστήματα έλεγχου της κυκλοφορίας κ.λπ.)
- iii) για την αντιμετώπιση έκτακτων περιστατικών όπως ατυχήματα ή πυρκαγιά (π.χ. εγκαταστάσεις πυρόσβεσης, έξοδοι και οδοί διαφυγής, πρόβλεψη για ανάστροφη οχημάτων, οδικό δίκτυο για την άμεση πρόσβαση ασθενοφόρων, οχημάτων Π.Υ. κ.λπ.)

Σε περίπτωση μεγάλου μήκους σήραγγας ή πολλών στη σειρά σηράγγων υπάρχει ανάγκη πρόβλεψης κτιρίων όπου θα στεγάζονται οι απαιτούμενες Η/Μ εγκαταστάσεις καθώς και τα συστήματα έλεγχου της κυκλοφορίας και το αντίστοιχο προσωπικό άμεσης επέμβασης.

Η μελέτη των ανωτέρων αναφερόμενων εγκαταστάσεων και έργων δεν αποτελεί αντικείμενο της μελέτης της σήραγγας άλλα αντικείμενο του μελετητή εγκαταστάσεων και του οδοποιού του μελετητικού σχήματος.

## 1.5 Γεωλογική μελέτη της σήραγγας

Από γεωλογική μελέτη της περιοχής προσδιορίζονται όλες οι χαρακτηριστικές γεωλογικές συνθήκες και τα στοιχεία εκείνα όπου από την μια καθορίζουν την ακριβή θέση χάραξης όταν υπάρχουν περισσότερες λύσεις από μια και από την άλλη την εκλογή της κατάλληλης μεθόδου διάνοιξης και υποστήριξης.

Η γεωλογική μελέτη μιας σήραγγας, έχει σκοπό να δώσει μια εικόνα των γεωλογικών, υδρολογικών συνθηκών που θα αντιμετωπιστούν κατά την διάνοιξη. Η διάνοιξη και γενικά η κατασκευή σηράγγων είναι ένα από τα δυσκολότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο μηχανικός. Η μεγάλη τεχνολογική και επιστημονική πρόοδο επέτρεψε την εισαγωγή και χρησιμοποίηση στον τομέα της διάνοιξης σηράγγων, νέων μεθόδων υλικών και μηχανημάτων, των οποίων η εφαρμογή προκάλεσε αληθινή επανάσταση στο όλο θέμα της κατασκευής, με αποτέλεσμα την ποιοτική βελτίωση της κατασκευής, την αξιόλογη μείωση του χρόνου και γενικά την καλύτερη τεχνικοοικονομική ανταπόκριση δαπανηρών κατασκευών όπως είναι οι σήραγγες.

Ο μηχανικός που ασχολείται με την κατασκευή σηράγγων αναλαμβάνει έργο πολυδάπανο και επικίνδυνο. Οι μηχανικοί που θα αναλάβουν τον προγραμματισμό και την σχεδίαση των σηράγγων, πρέπει να μελετήσουν την γεωλογία, την γεωφυσική, τις γεωτεχνικές ιδιότητες των εδαφών και πετρωμάτων της περιοχής. Με αυτόν τον τρόπο γνωρίζουν κατά προσέγγιση τις καταστάσεις που επικρατούν στο χώρο της κατασκευής και επομένως μπορούν να την χαράξουν αποφεύγοντας όσο είναι δυνατό τις επικίνδυνες γεωλογικές συνθήκες που μπορούν να ανεβάσουν το κόστος της.

Η πιο σημαντική φάση των προπαρασκευασμένων εργασιών για την διάνοιξη σηράγγων, είναι η λεπτομερής και προσεκτική αναγνώριση και μελέτη του πετρώματος και γενικότερα η μελέτη του γεωλογικού περιβάλλοντος, μέσα στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η διάνοιξη της σήραγγας. Γιατί αυτό είναι που

επηρεάζει τις ασκούμενες πιέσεις και την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου διάνοιξης.

Ο σκοπός της γεωλογικής μελέτης είναι ο εξής:

- i) Ο καθορισμός της προέλευσης και της κατασκευής στη οποία βρίσκεται το πέτρωμα ή τα πετρώματα της περιοχής.
- ii) Ο καθορισμός των φυσικών, χημικών και μηχανικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων κατά του άξονα της σήραγγας.

Ο έλεγχος τυχόν υπαρχόντων γεωλογικών ανωμαλιών που είναι δυνατόν να επηρεάσουν το μέγεθος των ασκούμενων πιέσεων πάνω στην σήραγγα. Η εξακρίβωση των παραπάνω προϋποθέτει την εκτέλεση σημαντικού αριθμού ερευνητικών γεωτρήσεων που πρέπει να φτάνουν τα 20 μέτρα. Πιο κάτω από το επίπεδο που θα περάσει το δάπεδο της σήραγγας. Οι αποστάσεις μεταξύ των γεωτρήσεων κυμαίνονται μεταξύ 50 και 150 μέτρα. Ανάλογα με την ομοιογένεια των πετρωμάτων και την γεωλογική εικόνα.

Η όρυξη ερευνητικού φρέατος κατά μήκος του άξονα της σήραγγας παρέχει σοβαρά πλεονεκτήματα για την μελέτη του προβλήματος, είναι όμως δαπανηρή και δεν εφαρμόζεται πάρα μόνο σε περιπτώσεις σοβαρών και μεγάλου μήκους κατασκευών όπου το φρεάτιο ή τα φρεάτια μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για λόγους αερισμού, ανέλκυσης των εξορυγμένων πετρωμάτων και ασφάλεια. Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι ο θεμελιώδεις σκοπός της γεωλογικής αναγνώρισης και έρευνας και σε συνέχεια η εκτέλεση των απαραίτητων γεωτρήσεων ή άλλων εξερευνητικών εκσκαφών είναι η απόκτηση της όσο το δυνατόν πληρέστερης και καθαρότερης εικόνας για την γεωλογική δομή της περιοχής ώστε να καθοριστεί η καταλληλότερη μέθοδο ορύξεως της σχεδιαζόμενης σήραγγας.

Τα πετρώματα από τα οποία πρόκειται να περάσει μια σήραγγα είναι απαραίτητο να εξετασθούν ως εξής:

- i) Τα ορυκτά που τα αποτελούν :χαλαζίες, αστρίοι κ.λπ.
  - ii) Τον τρόπο δημιουργίας: αν είναι εκρηξιγενής, ιζηματογενής και μεταμορφωσιγενής.
  - iii) Την δομή: ως προς την οποία εξετάζουμε τα εξής: βαθμός στερεοποίησης ομοιομορφίας των στοιχείων τους, μέγεθος των κόκκων, κρυσταλλικότητα, σχήμα των μεμονωμένων ορυκτών.
  - iv) Την ύφη: δηλαδή διανομή του ορυκτού στον χώρο και στο πορώδες του.
  - v) Την διάταξη των στρωμάτων του: δηλαδή παράλληλα , πλάγια ακανόνιστη.
  - vi) Την τεκτονική: δηλαδή αν είναι πτυχωμένα, μετατοπισμένα ή αν υπάρχουν απορρίψεις.
- Την στερεότητα θέσεων: δηλαδή αν είναι σταθερά τοποθετημένα ή χαλαρά.
- vii) Την ρηγμάτωση : εξετάζουμε αν υπάρχουν ρωγμές αν οι ρωγμές είναι μικρές ή μεγάλες.
  - viii) Το χημισμό: εξετάζουμε αν υπάρχουν προσμίξεις θείου του αριθμού ΡΗ.
  - ix) Τις φυσικές ιδιότητες: σημασία της κατασκευής της σήραγγας έχουν οι εξής φυσικές ιδιότητες.

- 1) Στερεότητα κατά την πίεση.
- 2) Συμπιεστότητα
- 3) Αντοχή σε θλίψη
- 4) Στερεότητα κατά την απώθηση
- 5) Γωνία εσωτερικής τριβής
- 6) Ικανότητα συγκολλήσεως
- 7) Διόγκωση του πετρώματος

- 8) Συμπεριφορά σε αποφόρτιση
- 9) Ικανότητα συγκρατήσεως ύδατος
- 10) Ταχύτητα αποσυνθέσεως του υλικού
- 11) Την υδατοπερατότητα
- 12) Την επίδραση του CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας

### **Συμπεριφορά των πετρωμάτων**

Διάφορα πετρώματα με μικρή αντοχή, όπως είναι οι αργιλικοί σχιστόλιθοι, έχουν την τάση να μετακινούνται αργά μέσα στο άνοιγμα της σήραγγας εξαιτίας της πίεσης των υπερκείμενων σχηματισμών.

Σε ορισμένες περιπτώσεις δεν μπορεί κανείς να ξεχωρίζει ποια διάφορα υπάρχει ανάμεσα στην σύνθλιψη και στην διόγκωση. Η πιο επικίνδυνη κατάσταση στις σήραγγες προκαλείται από την διόγκωση των συνθλίψεως ή την ροή μέσα στο άνοιγμα τους, που δημιουργείται από τις μάζες των πετρωμάτων που έχουν αλλοιωθεί. Οι πιέσεις από αυτά τα υλικά μπορούν να καταστρέψουν και τα πιο βαριά υποστυλώματα. Το μεγάλο πρόβλημα είναι πως θα περιοριστεί η μετακίνησή τους. Η σύνθλιψη και η διόγκωση έχουν συνήθως στενή σχέση με την παρουσία του νερού που βρισκόταν αρχικά στους πόρους των στρωμάτων, ή είχε μπει στο υλικό από πλευρικές ρωγμές γεμάτες νερό ή από υγρασία που επικρατεί μέσα στην σήραγγα. Τα εδάφη που συνθλίβονται είναι τεχνολογικά είτε πλαστικά υλικά με μικρή αντοχή που μετακινούνται μέσα στο άνοιγμα της σήραγγας από το βάρος που προκαλούν τα πλευρικά υπερκείμενα στρώματα.

Τα εδάφη που διογκώνονται αποτελούνται από υλικά που μετακινούνται μέσα σε σκαμμένη σήραγγα. Σε γενικές γραμμές τα εδάφη που συνθλίβονται αρχίζουν να μετακινούνται άμεσα μετά την εκσκαφή της σήραγγας, η κίνηση αυτή δημιουργείται επειδή οι πιέσεις αυτές δεν έχουν ισορροπήσει.

## Γεωλογικές έρευνες στην σχεδίαση της σήραγγας

Σε αυτό το στάδιο γίνεται συγκέντρωση όλων των στοιχείων, που υπάρχουν για την περιοχή της σήραγγας και αφορούν την λιθολογία, τεκτονική και υδρογεωλογία (ασβεστολιθικά πετρώματα), γίνονται μετρήσεις της διεύθυνσης και της κλίσης των στρωμάτων και λοιπών συνεχειών τους. Όταν πρόκειται για βραχώδεις σχηματισμούς, πρέπει να καταβάλλεται ιδιαίτερη προσπάθεια για τον εντοπισμό αποσαθρωμένων ζωνών. Στους ιζηματογενής σχηματισμούς εξετάζεται η συμφωνία ή η ασυμφωνία των στρώσεων, το μέγεθος των κόκκων και το πάχος των στρώσεων.

Λαμβάνονται επίσης δείγματα πετρωμάτων για ορυκτολογική, πετρωλογική ή άλλη εργαστηριακή εξέταση. Επακόλουθο της συλλογής των πληροφοριών αυτών είναι η σύνταξη γεωλογικού χάρτη τουλάχιστον 1:25000 στον οποίο πρέπει να περιλαμβάνονται:

- Τα όρια των λιθολογικών σχηματισμών
- Τα τεκτονικά στοιχεία δηλ. κλίσεις κ.λπ.
- Γεωμορφολογικά φαινόμενα, ειδικότερα αυτά που βρίσκονται σε ενέργεια όπως κατολισθήσεις, καθιζήσεις.
- Σημεία εμφάνισης στην επιφάνεια μεταλλευμάτων ποταμών , λιμνών. κ.λπ.

Παλαιότεροι γεωλογικοί χάρτες ή γεωλογικοί χάρτες άλλης κλίμακας, είναι δυνατόν να δέσουν πολύτιμες πληροφορίες και να συμβάλλουν σοβαρά στην σύνταξη του νέου χάρτη. Επίσης η ερμηνεία αεροφωτογραφιών μπορεί να συμβάλει θετικά στην σύνταξη του γεωλογικού χάρτη, επειδή είναι δυνατόν να εντοπισθούν φαινόμενα ή να διορθωθούν όρια, για τα οποία και η ακριβής θέση δεν είναι δυνατόν να καθορισθούν κατά την εργασία υπαίθρου. Ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής πρέπει να συνοδεύεται από γεωλογικές τομές κατά μήκος



διαφόρων γνωστών διευθύνσεων. Μεταξύ των διευθύνσεων αυτών σημασία είναι η τομή κατά την διεύθυνση της σήραγγας η οποία θα χρησιμοποιηθεί στα άλλα στάδια της μελέτης. Όταν πάνω στην γεωλογική τομή κατά την διεύθυνση της σήραγγας τοποθετηθεί η θέση της, έχουμε αμέσως τα μήκη της μέσα σε κάθε πέτρωμα. Ακόμα στην τομή παρουσιάζεται η διαδοχή των στρωμάτων και η οριζόντια εξάπλωση τους.

### **Γεωλογικές-γεωτεχνικές έρευνες κατά την κατασκευή**

Υπάρχει ένα πλήθος παραγόντων που ασκούν επίδραση στην σύλληψη , στα φορτία και στις συνθήκες κατασκευές των σηράγγων. Οι διάφοροι μέθοδοι κατασκευής ετοιμάστηκαν κατά την διάρκεια πολλών ετών.

Ανάμεσα στους παράγοντες αυτούς σημειώνουμε τους πιο σπουδαίους που είναι :

- Οι γεωλογικές και υδρολογικές συνθήκες.
- Το σχήμα και οι διαστάσεις.
- Ο προσδιορισμός της σήραγγας.

Η πραγματοποίηση κάθε υπόγειου έργου οφείλει να περάσει από τα παρακάτω στάδια:

- 1) εκσκαφή
- 2) υποστήριξη
- 3) απομάκρυνση των υλικών
- 4) επένδυση, εργασίες στεγανότητας, άντληση των υδάτων, αερισμός

Τα διάφορα αυτά στάδια των εργασιών που απαριθμήσαμε παραπάνω θα

πραγματοποιούνται ανάλογα με τις διάφορες μεθόδους που ταξινομούνται σε 5 κύριες κατηγορίες.

- i. Προώθηση (να προχωράμε σκάβοντας όλο το πλάτος της σήραγγας) καθ'όλην την διατομή χωρίς υποστήριξη.
- ii. Κλασικές μέθοδοι εκσκαφής και μέθοδοι χρησιμοποιούμενοι στα ορυχεία
- iii. Διαδικασίες κατασκευής συνδυασμένες με εργασίες επιφανειών.
- iv. Μέθοδοι κατασκευής για προσαράξεως (ακουμπάμε στον πυθμένα)
- v. Μέθοδος της συσκευής υποστηρίξεως των μαλακών εδαφών.

Οι διάφοροι μέθοδοι που απαριθμήσαμε παραπάνω θα αποτελέσουν παρακάτω το αντικείμενο ξεχωριστών περιγραφών ανάλογα με το να πρόκειται για εργασίες που γίνονται σε σταθερό έδαφος ή σε εδάφη μαλακά ή ασταθής. Η πρώτη μέθοδος δεν μπορεί να εφαρμοσθεί πάρα σε βραχώδη εδάφη ανθεκτικά, όπου επιπλέον είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και υποστηρίξεις που αναφέρονται στις μεθόδους (ii).

Στο εσωτερικό των βράχων ή σε εδάφη μετακινούμενα ή κοκκώδη χρησιμοποιείται οποιαδήποτε από τις παραπάνω μεθόδους έκτος της (i) .

Αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εδάφη ιδιαίτερος ασταθή, πλαστικά στα οποία οι μέθοδοι των 2 τελευταίων κατηγοριών δεν ενδείκνυνται περισσότερο.

## 1.6 Μέθοδος NATM

Η μέθοδος υπόγειας διάνοιξης σηράγγων με συμβατικά μηχανικά μέσα έχει επικρατήσει να ονομάζεται μέθοδος NATM, είναι η δεύτερη κατασκευαστική διαδικασία που εφαρμόζεται διεθνώς για την κατασκευή σηράγγων με υπόγεια μέθοδο διάνοιξης, μετά από αυτήν με μηχανήματα διάνοιξη σηράγγων (TBM).

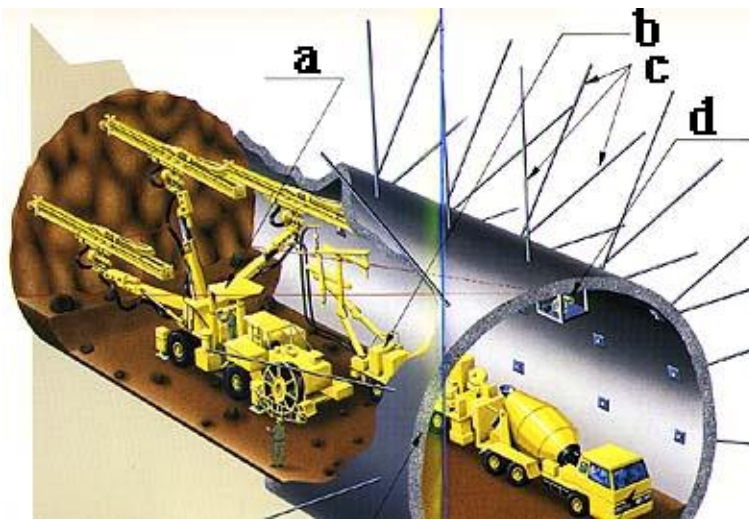
Στις αστικές περιοχές όπου κατασκευάζονται Μητροπολιτικοί Σιδηρόδρομοι (Μετρό Αθήνας) ενδιαφέρει πρωτίστως να μην διαταραχθούν οι λειτουργίες της πόλης, έστω και αν αυτό συνεπάγεται αύξηση του κόστους των έργων. Με τις υπόγειες μεθόδους κατασκευής σταθμών και σηράγγων ελαχιστοποιείται η κατάληψη χώρων στην επιφάνεια (πλατειών οδών, ιδιωτικών οικοπέδων..), οι μετατοπίσεις αγωγών κοινής ωφέλειας (νερού, ηλεκτρισμού, τηλεφώνου..), οι παρακάμψεις της οδικής κυκλοφορίας και οι αρχαιολογικές ανασκαφές.

Στο Μετρό Αθήνας η μέθοδος NATM χρησιμοποιήθηκε ευρέως, τόσο για την κατασκευή τμημάτων σηράγγων, όσο και ορισμένων από τους Σταθμούς στο κέντρο της Αθήνας. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε στους σταθμούς Πανεπιστημίου, Ακρόπολης, Αμπελόκηποι, Μοναστηράκι, Ομόνοια, Σύνταγμα, καθώς και σε μεγάλα τμήματα των επεκτάσεων του δικτύου προς Δουκ. Πλακεντίας, προς Αγ. Δημήτριο, προς Αγ. Αντώνιο και προς Αιγάλεω.

Βασική αρχή της μεθόδου αυτής είναι η διατηρηθεί η αντοχή του περιβάλλοντος στη σήραγγα εδάφους και να γίνει πλήρης αξιοποίηση της. Ελεγχόμενη παραμόρφωση του εδάφους παρουσία εύκαμπτης υποστήριξης – σε αντίθεση με τις παλαιότερες απόψεις περί <<βαρείας>> υποστήριξης – επιδρά θετικά και έχει ως αποτέλεσμα την ασφαλή ανάπτυξη της αντοχής του. Η μεθοδολογία κατασκευής του έργου είναι η ακόλουθη:

- Εκτελείται γεωτεχνική έρευνα και δοκιμές για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του εδάφους στην περιοχή όπου έχει σχεδιασθεί να γίνει η διάνοιξη της σήραγγας.

- ∅ Γίνεται η μελέτη εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης της σήραγγας, βάσει των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του εδάφους που προέκυψαν στο προηγούμενο στάδιο. Επίσης γίνεται και η μελέτη της μόνιμης επένδυσης της σήραγγας.
- ∅ Εκτελείται η εκσκαφή με συμβατικά μηχανικά μέσα (εκσκαφέα σημειακής κοπής, συμβατικός εκσκαφέα..) και γίνεται άμεση υποστήριξη του μετώπου εκσκαφής κατά φάσεις, ανάλογα με την ποιότητα του εδάφους.



- ∅ Μετά την εκσκαφή, που γίνεται τμηματικά αναλόγως των χαρακτηριστικών των πετρωμάτων και του έργου, ακολουθεί η τοποθέτηση ενός συστήματος προσωρινής αντιστήριξης που αποτελείται από επένδυση εκτοξευόμενου σκυροδέματος, σιδηρά, πλαίσια..κ.λπ. Σε περίπτωση εδαφών με φτωχά χαρακτηριστικά πριν από την εκσκαφή τοποθετούνται δοκοί προπορείας σε όλη την περιοχή πάνω στο θόλο της σήραγγας σε μορφή <<ομπρέλας>> προστασίας του μετώπου εκσκαφής.



Αρκετές φορές η εκσκαφή γίνεται σε δυο φάσεις, άνω ημιδιατομή (θόλος) και κάτω ημιδιατομή (πυθμένα). Ανάλογα με το υπέδαφος και τη γεωμετρία της σήραγγας μπορεί να χρειασθεί η εκσκαφή να γίνει και σε περισσότερες φάσεις.

- ∅ Καθ' όλη τη διάρκεια της κατασκευής γίνονται συστηματικές μετρήσεις παρακολουθήσεις της συμπεριφοράς του υπεδάφους και της προσωρινής αντιστήριξης, δηλαδή μετρώνται οι καθιζήσεις στην επιφάνεια του εδάφους και στα γειτονικά κτίρια, οι συγκλίσεις μέσα στην σήραγγα, η αυξομείωση της στάθμης του υπόγειου ύδατος κ.λπ.
- ∅ Η τελική και μόνιμη επένδυση της σήραγγας κατασκευάζεται όταν το σύστημα της αρχικής υποστήριξης έχει φθάσει σε συνθήκες ισορροπίας. Η μόνιμη επένδυση προσφέρει αυξημένη ασφάλεια στο χρόνο ζωής του έργου, δημιουργεί μια ομοιόμορφη εσωτερική επιφάνεια και βελτιώνει την στεγανότητα της. Η μόνιμη επένδυση των σηράγγων κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα, έγχυτο επί τόπου. Χρησιμοποιούνται ειδικοί σιδηρότυποι, συνήθως αυτοφερόμενοι, κάτι που μειώνει το χρόνο και το κόστος του έργου. Υπάρχουν υδραυλικοί μοχλοί που μπορούν να ρυθμίζουν το επιθυμητό πάχος της επένδυσης.



Το συνολικό μήκος τέτοιων καλουπιών είναι 10 – 12 μέτρα, αναλόγως την διατομή. Σε πρώτη φάση κατασκευάζεται το κάτω μέρος της σήραγγας και στους κατασκευαστικούς αρμούς τοποθετούνται ειδικοί υδατοφραγμοί για στεγανότητα. Στην επόμενη φάση σκυροδετείτε ο θόλος. Ο χρόνος αφαίρεση του καλουπιού είναι της τάξεως ωρών από την έγχυση. Επειδή μένει πάντοτε μικρό κενό μεταξύ της στρέψης του σκυροδέματος και του εδάφους στην οροφή της σήραγγας, ακολουθούν τσιμεντενέσεις πληρώσεις αυτών των κενών.

Το σύστημα Διάτρησης ή εκσκαφής είναι το σημαντικότερο τμήμα του μηχανήματος ολομέτωπου κοπής αφού από αυτό εξαρτάται η λειτουργικότητα και η παραγωγικότητα του μηχανήματος.

Αποτελείται κυρίως από την κοπτική κεφαλή με τα κοπτικά εργαλεία, την κίνηση της κοπτικής μηχανής και το σύστημα ώθησης. Το πέτρωμα σκάβεται στο μέτωπο με τους δισκοειδής κοπτήρες οι οποίοι κυλιούνται σε ομόκεντρους κύκλους πάνω στην επιφάνεια του μετώπου υπό την επενέργεια της ωθητικής δύναμης η καθαρή ταχύτητα προώθησης του μηχανήματος εξαρτάται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μηχανής και από τις γεωλογικές παραμέτρους του εδάφους (πίνακα 3).

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

<u>ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</u>	<u>ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ</u>
Στροφές κοπτικής κεφαλής	Αντοχή πετρώματος
Δύναμη ώθησης κοπτικής κεφαλής	σκληρότητα
Γεωμετρία δίσκου	Εσωτερική διαμόρφωση πετρώματος
Φθορά δίσκου	σχιστότητα
Διάμετρος δίσκου	Προσανατολισμός προς τον άξονα της σήραγγας
Διάταξη δίσκου	υπόστρωμα

Η καθαρή ταχύτητα προώθησης είναι γραμμική συνάρτηση των στροφών της κοπτικής κεφαλής και της διείσδυσης του δίσκου ανά στροφή της κοπτικής κεφαλής.

Η αντίστοιχη σχέση είναι :

$$p = \left( \frac{f * b}{f1} \right)$$

όπου το p είναι η καθαρή διείσδυση ( mm /στροφή )

f είναι η ώθηση (kN)

f1 είναι η ανοιγμένη ώθηση για διείσδυση (mm kN)

b είναι εκθέτης

Η ώθηση f1 εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την γεωλογία , την διάμετρο του

δίσκου και την διάταξη των δίσκων. Ο εκθέτης  $b$  προσδιορίζεται από την δύναμη ώθησης  $f_1$  & από την γεωλογία. Κυμαίνεται από 1,7 έως 2,5 για τις περισσότερες κατηγορίες βράχων. Είναι φανερό ότι η φθορά του δίσκου και η αντίστοιχη της επιφάνειας επαφής έχει σημαντική επίδραση. Ως προς τις ιδιότητες του πετρώματος, η μονοαξονική δύναμη αντοχή θλίψης, η αντοχή σε εφελκυσμό και ο δείκτης σημειακού φορτίου συμβάλουν στην ταχύτητα προώθησης. Οι ιδιότητες αυτές είναι η βάση της διαμόρφωσης των διαφόρων τύπων μηχανών. Η επιλογή τους βασίζεται στις γεωλογικές παραμέτρους. Συμπληρωματικά με τις ιδιότητες που προαναφέρθηκαν θα πρέπει να συνυπολογίζεται η επίδραση της σχιστότητας και της εσωτερικής μορφής του πετρώματος.

Η κλίμακα MOH καθορίζει τα πετρώματα και μεταλλεύματα σε σχέση με το βαθμό σκληρότητας του και δίνει δέκα συγκεκριμένα ορυκτά που έχουν αυξανόμενη σκληρότητα (το κάθε ένα χαράσσεται από το επόμενο).

<u>ΑΠΟ</u>	1) ΤΑΛΚΗΣ
<u>ΜΑΛΑΚΟΤΕΡΟ</u>	2) ΓΥΨΟΣ
↓	3) ΑΣΒΕΣΤΙΤΗΣ
↓	4) ΦΘΟΡΙΤΗΣ
↓	5) ΑΠΑΤΙΤΗΣ
↓	6) ΑΣΤΡΟΣ
↓	7) ΧΑΛΛΑΖΙΑΣ
↓	8) ΤΟΠΑΖΙΟ
↓	9) ΚΟΡΟΥΝΔΙΟ
<u>ΣΕ</u>	10) ΔΙΑΜΑΝΤΙ
<u>ΣΚΛΗΡΟΤΕΡΟ</u>	



Τα πιο κοινά πετρώματα που συναντώνται στις κατασκευές έχουν σκληρότητα σύμφωνα με την κλίμακα ΜΟΗ , προσεγγιστικά όπως παρακάτω:

ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑ ΜΟΗ
ΑΡΓΙΛΙΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ	ΚΑΤΩ ΑΠΟ 3
ΨΑΜΜΙΤΗΣ	3-7
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	3
ΜΑΡΜΑΡΟ	3
ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ	4-5
ΓΡΑΝΙΤΗΣ	6-7
ΓΝΕΥΣΙΟΣ	6-7
ΧΑΛΑΖΙΤΗΣ	7

Οι δυο θεμελιώδεις μεταβλητές που επηρεάζουν την διάτρηση είναι οι μεταβλητές του μηχανολογικού σχεδιασμού του μηχανήματος και οι ιδιότητες του πετρώματος. Η αποτελεσματικότητα του μηχανολογικού σχεδιασμού των κοπτικών κατασκευών έχει προσδιοριστεί από εργαστηριακές έρευνες αλλά και από έρευνες στα πεδία. Επειδή είναι ανέφικτο να αλλάζουν οι παράμετροι του μηχανήματος οπότε συναντώνται διαφορετικές ιδιότητες πετρώματος οι κατασκευαστές μηχανημάτων καθορίζουν τις σχεδιαστικές παραμέτρους με βάση τις κατά μέσο όρο γνωστές συνθήκες και προσθέτουν ένα παράγοντα ασφάλειας.

Από τις πλέον χρησιμοποιημένες ιδιότητες των πετρωμάτων, για εκτίμηση του μεγέθους διάτρησης και για εκτίμηση του μεγέθους κατανάλωσης κοπτικών αιχμών, είναι η ολική σκληρότητα που προσδιορίζεται από το πείραμα με χρήση της σφύρας SCHMIDT.

Για τον υπολογισμό του μεγέθους διάτρησης ακολουθούνται τα παρακάτω

βήματα:

- I προσδιορισμός του μηχανήματος και συσχετιζόμενων παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν
- I εκλογή της πιο όμοιας ιστορικής περίπτωσης στην βάση του :
  - a) τύπου κοπτικών αιχμών
  - b) διαστήματα κοπτικών αιχμών
  - c) φορτίο κοπτικών αιχμών
  - d) διάμετρο κοπτικής κεφαλής
- I σχεδιασμός μιας διάτρησης ανά περιστροφική κίνηση (καμπύλη διάτρησης – σκληρότητας) για την κατάλληλη ιστορική περίπτωση που θα χρησιμοποιηθεί.
- I Χρήση της ολικής σκληρότητας από τα δείγματα για τον υπολογισμό της διάτρησης ανά περιστροφική κίνηση
- I χρήση της προβλεπόμενης διαμέτρου και του μεγέθους της κοπτικής κεφαλής για τον προσδιορισμό της αναλογίας διάτρησης.

## 1.7 Μέθοδος TBM

Το Μηχάνημα Διατήρησης Σηράγγων κλειστού τύπου για σκληρά πετρώματα σχεδιάστηκε από την MITSUBISHI Ιαπωνίας και κατασκευάστηκε από την NEYRPIC FRAMATOME MECHANIQUE (NFM) Γαλλίας. Το μήκος του TBM συμπεριλαμβανομένων των βαγονιών υποστήριξης είναι 150 μέτρα. Και το συνολικό του βάρος είναι 1650 τόνοι.

Στο βασικό Έργο χρησιμοποιήθηκαν 2 TBM κλειστού τύπου για σκληρά

πετρώματα , για τη διάνοιξη σήραγγων διπλής γραμμής μεταξύ των σταθμών , συνολικού μήκους 11 χιλιόμετρα. Συγκεκριμένα, το TBM1 με το όνομα <<ΙΑΣΟΝΑΣ>> χρησιμοποιήθηκε στο τμήμα της γραμμής 2 από τον ΣΤ. Λαρίσης έως το ΣΤ. Αγ. Ιωάννη και το TBM2 χρησιμοποιήθηκε στο τμήμα της γραμμής 3 από το ΣΤ. Κατεχάκη έως το ΣΤ. Σύνταγμα. Τα δυο TBM έκαναν διάνοιξη βάθους έως και 28 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης απόσταση που ήταν αρκετή κάτω από τα αρχαιολογικά ευρήματα και τις εγκαταστάσεις δικτύων οργανισμών κοινής ωφέλειας, ώστε να διασφαλίζεται η ακεραιότητα τους και να αποφεύγουν δαπανηρές και χρονοβόρες καταστάσεις.

Το TBM χωρίζεται σε 2 τμήματα:

- 1) Την κεφαλή κοπής και την διπλή Αρθρωτή Ασπίδα που διατρυπούν το έδαφος και κατασκευάζουν την σήραγγα.
- 2) Τα βαγόνια υποστήριξης για την παροχή ενέργειας και την κάλυψη των απαιτήσεων ανεφοδιασμού του TBM.

Ο μέσος ρυθμός προώθησης των TBM ήταν 10 μέτρα/ημέρα, κατασκευάζοντας αντίστοιχο μήκος σχεδόν περατωμένης σήραγγας, εσωτερικής διαμέτρου 8,50 μέτρα με επένδυση από προκατασκευασμένους δακτυλίου σκυροδέματος. Ένας τυπικός κύκλος εργασιών προώθησης του TBM διαρκεί 1 ώρα σε ιδανικές συνθήκες χωρίς γεωλογικά προβλήματα περιγράφεται ως εξής: Πραγματοποιείται εκσκαφή 1,5μετρο σε 25 λεπτά ακολουθεί καθαρισμός και προετοιμασία 5 λεπτά και τέλος τοποθετούνται τα προκατασκευασμένα στοιχεία του δακτυλίου 30 λεπτά.

Η κεφαλή είναι το περιστρεφόμενο τμήμα του TBM το οποίο κόβει και ανασκάπτει το έδαφος. Η μέγιστη εκσκαφθείς διάμετρο της σήραγγας είναι 9,5 μέτρα με κυμαινόμενη ταχύτητα περιστροφής της κεφαλής κοπής από 0 έως 4 στροφές ανά λεπτό και διαβαθμισμένης ροπή στρέψεως από 1.140 έως 1.368 τόνοι/μέτρο. Το μήκος της κεφαλής κοπής είναι 1.500 χιλ. Και διαθέτει 63

τεμάχια δίσκων κοπής , διαμέτρου 17 ίντσες, που είναι τοποθετημένα σε ξεχωριστές ακτίνες καθώς και 200 τεμάχια σιαγόνων σύνθλιψης. Οι δίσκοι κοπής χρησιμοποιούνται για τα σκληρά εδάφη ενώ οι σιαγόνες σύνθλιψης για τα μαλακά εδάφη. Όταν φθείρονται αντικαθίστανται από την εσωτερική πλευρά της κεφαλής κοπής.

Η μεγαλύτερη διάμετρος υπερεκσκαφής οφείλεται στους δυο ακτινωτούς ρυθμιζόμενου δίσκους κοπής που είναι τοποθετημένοι στην περιφέρεια της κεφαλής κοπής .Η υπερεκσκαφή 30 χιλ. Επιτρέπει την καλύτερη στήριξη και διεύθυνση του TBM καθώς και τον περιορισμό των δυνάμεων τριβής στην ασπίδα του TBM. Η περιστροφή της κεφαλής κοπής προς τις δυο κατευθύνσεις επιτυγχάνεται με 16 υδραυλικούς κινητήρες 180 KW με οδοντωτούς τροχούς – μειωτήρες με μέγιστη ταχύτητα απόδοσης 57,6 στροφές ανά λεπτό και μέγιστη πίεση λειτουργίας 350 bar.



Μηχάνημα ολομέτωπης κοπής ( TBM )

Η Πρόσθια Ασπίδα έχει εξωτερική διάμετρο 9,456 μέτρα και η οπίσθια Ασπίδα 9,440 μέτρα. Το συνολικό μήκος της Ασπίδας είναι 7,515 μέτρα το βάρος της είναι 880 τόνοι και το περίβλημα της οπίσθιας Ασπίδας έχει 92 χιλ. Για να καταστεί δυνατή η εκσκαφή ελαφριάς στροφής της σήραγγας , η πρόσθια και η οπίσθια Ασπίδα συνδέονται αρθρωτά μεταξύ τους. Τα δυο τμήματα των Ασπίδων συνδέονται με 16 αρθρωτούς γρύλους, διάμετρο 300 χιλ. Με πίεση 260 bar , γεγονός που καθιστά δυνατό τον προσανατολισμό του ενός τμήματος σε σχέση με το άλλο σε όλες τις διευθύνσεις μέσα στο χώρο. Η ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας της σήραγγας είναι 300 μέτρα και η οριακή ακτίνα αντιστάθμισης καμπύλης είναι 250 μέτρα.



Θάλαμος Χειριστή του TBM

Η ποσότητα των προϊόντων εκσκαφής μετά από μια πλήρη διαδρομή εκσκαφής 1,5 μέτρο της κεφαλής κοπής είναι περίπου  $192 \text{ m}^3$  . Τα προϊόντα εκσκαφής περνούν μέσα από το θάλαμο της κεφαλής κοπής διαμέσου των ανοιγμάτων της. Με την περιστροφή της κεφαλής κοπής ανυψώνονται τα υλικά εκσκαφής στο άνω τμήμα από όπου ρίχνονται μέσω της χοάνης στην πρώτη μεταφορική ταινία μήκους 18,25 μέτρα και πλάτους 1,20 μέτρα η οποία βρίσκεται στη στάθμη του άξονα της σήραγγας. Από την πρώτη μεταφορική ταινία , τα προϊόντα εκσκαφής ρίχνονται στην δεύτερη μεταφορική ταινία μήκους 28 μέτρα και στην συνέχεια στην τρίτη μεταφορική ταινία μήκους 38 μέτρα που βρίσκονται στον συρμό υποστήριξης στο πίσω μέρος του TBM. Στην συνέχεια , η τρίτη μεταφορική ταινία αδειάζει τα προϊόντα εκσκαφής σε μεταφορική ταινία μήκους 30 μέτρα που κινείται παλινδρομικά, παράλληλα προς τον άξονα της σήραγγας και γεμίζει τους άδειους κάδους των βαγονιών του ειδικού συρμού μεταφοράς τους. Οι μεταφορικές ταινίες έχουν μελετηθεί για μεταφορική απόδοση προϊόντων εκσκαφής 950τονοι/ώρα ή  $750 \text{ m}^3 / \text{ώρα}$ . Σε περίπτωση εμφάνιση ύδατος στο έδαφος η πρώτη μεταφορική ταινία αποσύρεται και μια θύρα ασφάλειας απομονώνει το θάλαμο της κεφαλής κοπής από την εσωτερική πλευρά της ασπίδας του TBM. Μια αντλία έκτακτης ανάγκης 140 KW που βρίσκεται τοποθετημένη στην πρόσθια Ασπίδα απομακρύνει το νερό από το θάλαμο της κεφαλής κοπής διαμέσου σωλήνων απορροής υδάτων. Η μέγιστη ικανότητα εξαγωγής νερού είναι 82 κυβικά μέτρα ανά λεπτό . Η εισροή των υπόγειων υδάτων που αντιμετωπίστηκε κατά τη διάρκεια της εκσκαφής ήταν 120 λίτρα ανά λεπτό.

Είκοσι οκτώ υδραυλικοί γρύλοι ωθήσεως του TBM διαμέτρου 320 χιλ με κάθε γρύλο να λειτουργεί με πίεση 260 bar ωθούν προς τα εμπρός το TBM, πιέζοντας τα προκατασκευασμένα στοιχεία του δακτυλίου με δύναμη 5.600 τόνων. Οι γρύλοι ωθήσεως χωρίζονται σε 14 ξεχωριστά τμήματα γεγονός που καθιστά δυνατή την ώθηση του TBM με διαφορετική πίεση σε κάθε ένα από τα τμήματα. Στο άκρο της οπίσθιας Ασπίδας βρίσκεται τοποθετημένο το διάφραγμα μόνωσης

μήκους 270 χιλ. Το οποίο παρέχει τη στεγάνωση μεταξύ του εδάφους εκσκαφής και της οπίσθιας Ασπίδας. Για την επιθεώρηση του διαφράγματος μόνωσης, απαιτείται η προέκταση των πρόσθιων σιαγόνων και η απόσυρση της οπίσθιας Ασπίδας.

Η Ασπίδα του TBM και τα βαγόνια υποστήριξης συνδέονται με συνδετήριο δοκό. Το σύστημα υποστήριξης του TBM αποτελείται από 8 βαγόνια μήκους 11 μέτρα και βάρος 55-100 τόνων τα οποία περιλαμβάνουν μια σιδηροτροχιά για τη στάθμευση του συρμού μεταφοράς των προϊόντων εκσκαφής. Η υποστήριξη περιλαμβάνει επίσης το βοηθητικό εξοπλισμό και εγκαταστάσεις για την λειτουργία του TBM (καλώδιο υψηλής τάσης , μετασχηματιστές, ηλεκτρολογείο, μηχανουργείο , σύστημα ψύξης, σύστημα αερισμού κ.λπ. )

Η σιδηροτροχιά επιτρέπει στα βαγόνια των συρμών να κινούνται εντός της υποστήριξης για την παροχή υλικών και την απομάκρυνση των προϊόντων εκσκαφής. Οι συρμοί τροφοδοσίας έχουν πρόσβαση στο TBM από τη διπλή γραμμή της σήραγγας προς τη μονή σιδηροτροχιά των βαγονιών διαμέσου ενός κλειδιού τύπου <<california>> που σύρεται από το τελευταίο βαγόνι υποστήριξης του TBM.

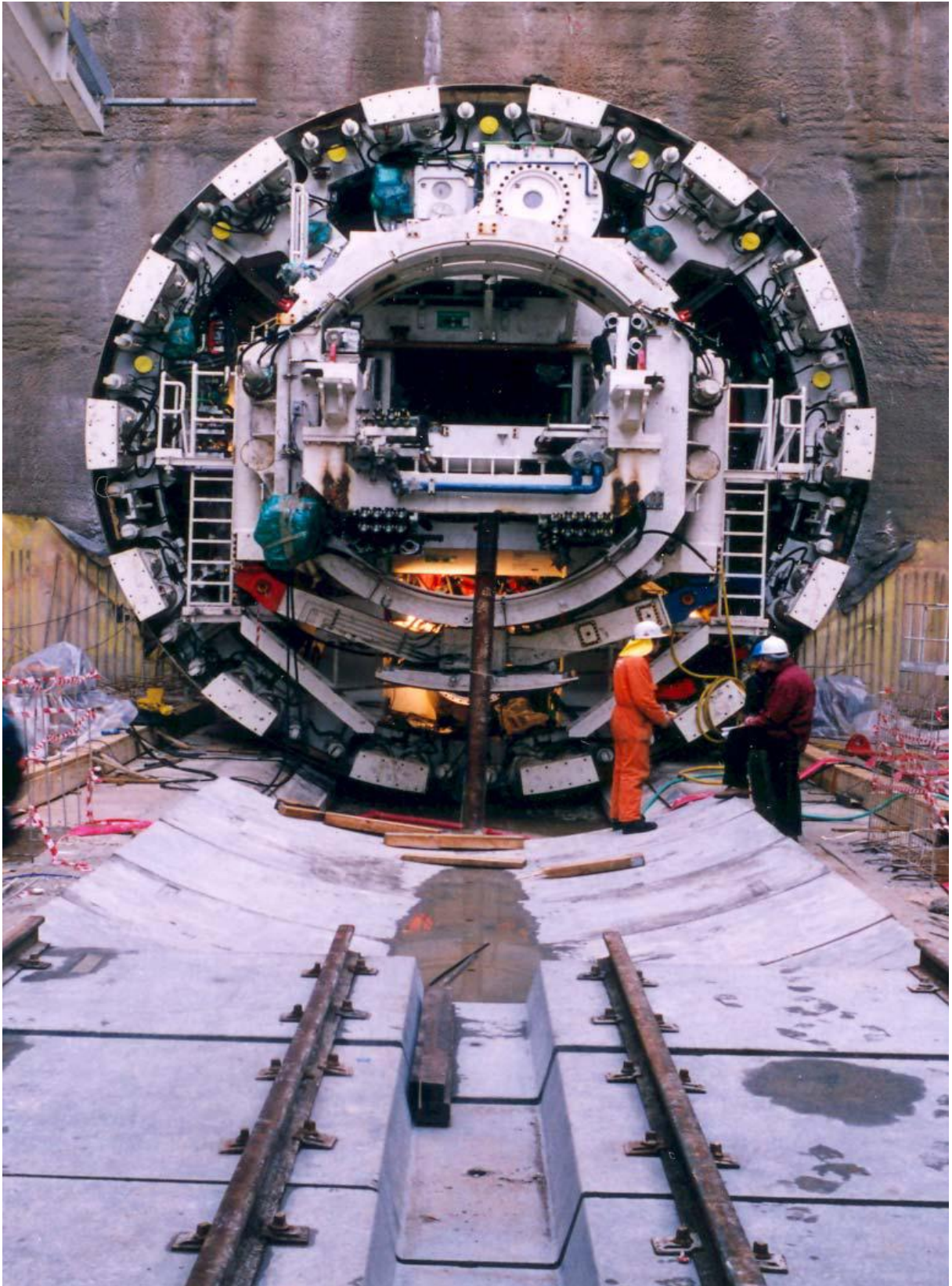
Το κέντρο ελέγχου του TBM βρίσκεται στο βαγόνι υποστήριξης No1 και σε απόσταση 25 μέτρα πίσω από το μέτωπο εκσκαφής. Ο χειριστής ελέγχει την πρόσθια και οπίσθια Ασπίδα του TBM , ώστε να παραμένει ο άξονας εκσκαφής παράλληλος με τον άξονα της σήραγγας μελέτης. Το TBM διευθύνεται από σύστημα σκόπευσης με Laser. Το σύστημα Laser υποδεικνύει τις συντεταγμένες από την οριζόντια και κατακόρυφη απόσταση της θέσης του πρόσθιου σημείου της κεφαλής κοπής του TBM και τις μεταδίδει στο σύστημα CAP. Το σύστημα CAP διαβάζει τις τιμές αυτές και ο χειριστής προσπαθεί να τηρήσει τις ανωτέρω τιμές ενεργοποιώντας τις πιέσεις και τους ρυθμούς ροής των προωθητικών γρύλων, την ταχύτητα περιστροφής και τη ροπή στρέψης της κεφαλής κοπής.





Όπισθεν Τ.Β.Μ





TBM πάνω σε σιδηροτροχιά

## **Πλεονεκτήματα TBM**

- 1) Ο θόρυβος και οι δονήσεις από τις εκρήξεις παραλείπονται με προφανές αποτέλεσμα το να αφήνεται ο γύρω βράχος ανενόχλητος. Επίσης είναι προφανής η πλεονεκτική χρησιμοποίηση των TBM για διάνοιξη σηράγγων σε κατοικημένες περιοχές.
- 2) Τα ηλεκτρικά παραχωρούμενα μηχανήματα δεν παράγουν ούτε καπνούς ούτε τοξικά αέρια που πρέπει να απομακρύνονται.
- 3) Μπορούν να ελαχιστοποιηθούν οι υπερεκσκαφές με προφανή οικονομικά αποτελέσματα.
- 4) Η μεταφορά προϊόντων εκσκαφής μπορεί να γίνεται συνέχεια.
- 5) Κάτω από συνθήκες του πετρώματος ίδιες με αυτές για τις οποίες σχεδιάστηκε η μηχανή μπορεί να επιτευχθεί τέτοια πρόοδος που δεν μπορεί να γίνει με καμία άλλη μέθοδο.

## **Μειονεκτήματα TBM**

Το βασικότερο μειονέκτημα των TBM είναι η στέρηση ευκαμψίας . Κάθε TBM σχεδιάζεται για συγκεκριμένη σήραγγα και για συγκεκριμένες συνθήκες πετρώματος.

Σε κάθε αλλαγή συνθηκών αντοχής του πετρώματος αλλάζει και η συμπεριφορά του μηχανήματος, που μπορεί να φτάσει ως την αχρήστευση του. Κάθε τέτοια αλλαγή συνθηκών πετρώματος μπορεί να γίνει αιτία καθυστερήσεων από νεκρούς χρόνους μέχρι να αποφασιστεί με ποιο τρόπο θα αντιμετωπιστούν τα προβλήματα και εάν μπορεί να επαναλειτουργήσει η μηχανή.

Προβλήματα στο χειρισμό εξαιτίας άνισων πιέσεων του πετρώματος που τείνουν να την παρεκκλίνουν από την ευθυγραμμία της.

Αυξημένο κόστος των μηχανών που δεν δικαιολογεί την χρησιμοποίησή τους για σήραγγες κάτω από 2 χλμ.

### **Κοπτικά εργαλεία κεφαλής TBM**

Αιχμηρά δόντια από καρβίδιο του βολφραμίου αγκιστρώνουν σε ακτινωτούς βραχίονες για να σχηματίσουν την κοπτική κεφαλή, η οποία είναι είτε περιστρεφόμενη είτε ταλαντούμενη στο μέτωπο.

Στην περίπτωση αυτή τα κοπτικά εργαλεία κόβουν το πέτρωμα παράλληλα προς τον άξονα της σήραγγας, κυλιόμενα πάνω στην επιφάνεια του μετώπου. Η στρεφόμενη ασπίδα διαμορφώνεται ως δίσκος. Ο δίσκος φέρει το κωνικό μανδύα από σκληροχάλυβα τριγωνικής διατομής. Ο κυλινδρικός μανδύας είναι λείος με προεξοχές.

Η διείδυση εξαρτάται από την φύση του πετρώματος από την διάμετρο του δίσκου (μέχρι 600mm) από την γωνία της κοπίδος και από την δύναμη ώθησης την οποία αναπτύσσει το μηχάνημα. Η κοπτική κεφαλή περιστρέφεται γύρω από τον γεωμετρικό άξονα του μηχανήματος. Οι δισκοειδής κοπίδες κυλιούνται πάνω στο μέτωπο με αποτέλεσμα οι τάσεις που αναπτύσσονται, μεγαλύτερες από το όριο ελαστικότητας, να καταστρέφουν την εσωτερική συνοχή τους προκαλώντας έτσι τον θρυμματισμό του.

Τα καρφιά με τα οποία μπορεί να εξοπλιστεί η ασπίδα υπόκεινται σε υψηλή φθορά και συνεχείς θραύσεις ιδιαίτερα σε σκληρά πετρώματα. Ευρύτερη εφαρμογή βρίσκουν οι δισκοειδής κοπίδες με μανδύα κωνικής διατομής. Με την μορφή αυτή η κοπίδα στο υλικό μας δεν κονιοποιείται όπως στην περίπτωση των καρφιών αλλά κόβεται σε σχετικά μεγαλύτερα τεμάχια, οπότε η φθορά του κοπτικού εργαλείου είναι μικρότερη.

Επίσης, το ενεργό μήκος κοπής της κοπίδος είναι μεγαλύτερο σε σχέση με την σημειακή κοπή του καρφιού. Επομένως η διάρκεια ζωής του εργαλείου είναι

μεγαλύτερη. Η δισκοειδής κοπίδα εδράζεται σε έδρανο κύλισης το οποίο στερεώνεται πάνω στο στρεφόμενο τύμπανο φορέα και κυλίνεται πάνω στην επιφάνεια του μετώπου.

## **1.8 Μέθοδος ανοικτού ορύγματος**

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

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

Γίνεται η μελέτη (υπολογισμοί και σχέδια) εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης, με βάση τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους που προέκυψαν στο προηγούμενο στάδιο. Επίσης, εκτελείται και η μελέτη του μόνιμου φορέα της κατασκευής. Πριν την έναρξη των κυρίως εργασιών εκτελούνται οι απαιτούμενες αρχαιολογικές έρευνες στη περιοχή όπου θα εκτελεσθούν οι εκσκαφές, απομακρύνονται όλοι οι αγωγοί κοινής ωφελείας (ύδρευσης, ηλεκτρισμού, τηλεφώνου, κλπ) και πραγματοποιούνται οι ενδεχόμενες κυκλοφοριακές παρακάμψεις.

Η προσωρινή αντιστήριξη της εκσκαφής αποτελείται συνήθως από πασσάλους σκυροδέματος, κυκλικής διατομής με διάμετρο της τάξεως 0.80-1.00 μ, που τοποθετούνται ανά αποστάσεις μεταξύ τους 1.50-2.50μ περιμετρικά της

προβλεπόμενης εκσκαφής προτού αυτή αρχίσει. Η πασσαλοστοιχία συνδέεται στην κορυφή της με ισχυρή δοκό σκυροδέματος. Η εκσκαφή πραγματοποιείται με συμβατικά μηχανικά μέσα (εκσκαφείς, σφύρες, κλπ) έως ένα καθορισμένο βάθος, π.χ. 3.5μ, και στη συνέχεια τοποθετούνται αγκύρια σε οπές που διανοίγονται στο έδαφος μέσω των πασσάλων. Τα αγκύρια αυτά έχουν μεγάλο μήκος (της τάξεως 15-25μ) και προεντείνονται με την προβλεπόμενη από τη μελέτη δύναμη. Κατόπιν εφαρμόζεται δομικό πλέγμα σε όλη την περιμετρική επιφάνεια του σκάμματος και τοποθετείται εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Μετά από αυτά, συνεχίζεται η εκσκαφή ως την επόμενη στάθμη και τοποθετείται και προεκτείνετε άλλη μια σειρά αγκυρίων. Ο κύκλος αυτός συνεχίζεται έως την τελική στάθμη εκσκαφής όπου θα θεμελιωθεί η κατασκευή. Εάν υπάρχει παρουσία υπογείων υδάτων στις επιφάνειες του σκάμματος, αυτά εκτονώνονται με συστηματικά διατρήματα / σωληνώσεις βάθους συνήθως 3-4 μ επί της αντιστήριξης / εκσκαφής και απομακρύνονται με κατάλληλο σύστημα αποστράγγισης.

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

Η κατασκευή του φέροντος οργανισμού γίνεται κατά φάσεις αρχίζοντας από την θεμελίωση, ακολουθούν τα τοιχία και κατόπιν η πλάκα οροφής εάν πρόκειται για την περίπτωση σήραγγας, ενώ για τους σταθμούς γίνεται, επιπλέον, και η κατασκευή ενδιάμεσων επιπέδων πλακών και τοιχίων. Η κατασκευή αρχίζει με την τοποθέτηση των σιδηρών οπλισμών της πλάκας θεμελίωσης (ή γενικής κοιτόστρωσης) όπως προβλέπονται από τη μελέτη. Κατόπιν γίνεται η έγχυση του σκυροδέματος, κατηγορίας αντοχής C25/30, κατά φάσεις κατά το μήκος της κατασκευής με πρόβλεψη καταλλήλων αρμών. Παρομοίως γίνεται και η κατασκευή των υπολοίπων στοιχείων της μόνιμης κατασκευής.

Σχετικά με τις αντιστηρίξεις, διευκρινίζεται ότι ο τρόπος αντιστήριξης των

εκσκαφών στο Μετρό της Αθήνας πραγματοποιήθηκε σχεδόν αποκλειστικά με πασσάλους διάτρησης από οπλισμένο σκυρόδεμα (φρεατοπασσάλους) και προεντεταμμένα αγκύρια. Στα πρώτα τμήματα χρησιμοποιήθηκε και η λεγόμενη «μέθοδος Βερολίνου» στην οποία μέχρι ένα βάθος τοποθετούνται μεταλλικοί πάσσαλοι αντιστηριζόμενοι αντικριστά με σιδηρές αντηρίδες, ενώ στα βαθύτερα στρώματα του υπεδάφους χρησιμοποιείται ελαφρότερη αντιστήριξη με οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και παθητικά βλίτα (“καρφιά”) εδάφους. Αυτή η μεθοδολογία χρησιμοποιήθηκε στο σταθμό Λάρισα και σε μεγάλο τμήμα της σήραγγας Αττική-Λάρισα.



Σήραγγα κατασκευασμένη με την μέθοδο ανοικτού ορύγματος.

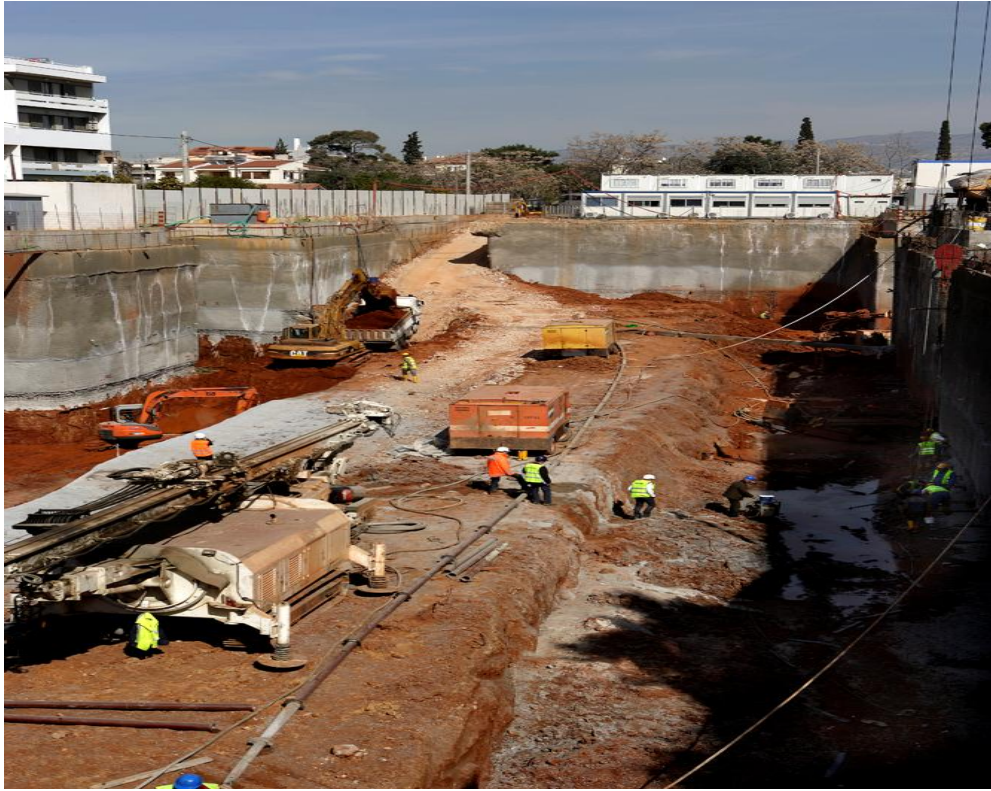
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### **2.1 Μέθοδοι κατασκευής του έργου**

Το έργο του Μέτρο Αθήνας είναι εξ ολοκλήρου υπόγειο. Με αυτό τον τρόπο εξυπηρετείται ο στόχος του, ο οποίος είναι η γρήγορη μετακίνηση των πολιτών στην ευρύτερη περιοχή της Πρωτεύουσας. Για την κατασκευή των υπόγειων σταθμών και σηράγγων του Μέτρο , χρησιμοποιήθηκαν σύγχρονες μέθοδοι που εξασφάλισαν ασφαλή, έντεχνη και ταχεία αποπεράτωση του έργου. Οι μέθοδοι κατασκευή του έργου χρησιμοποιήθηκαν μεμονωμένα ή σε συνδυασμό όπου κρίθηκαν εφαρμόσιμες, πάντα σε συσχετισμό με το γεωλογικό παράγοντα και τις επί τόπου συνθήκες του περιβάλλοντος χώρου.

- ∅ Εκσκαφή με χρήση μηχανήματος ολομέτωπης κοπής (TBM). Χρησιμοποιήθηκε για την διάνοιξη σηράγγων.
- ∅ Εκσκαφή με χρήση μηχανήματος Σημειακής Κοπής Ασπίδας. Χρησιμοποιήθηκε για την διάνοιξη σηράγγων και συγκεκριμένα για την κατασκευή της σήραγγας Δάφνη – Αγ. Ιωάννης του βασικού έργου μήκους 765 μέτρα και για το τμήμα Ανθούπολη – Περιστέρι μήκους 910 μέτρα.
- ∅ Εκσκαφή με χρήση μηχανήματος Εξισορρόπησης Εδαφικής Πίεσης. Χρησιμοποιήθηκε για την διάνοιξη της σηράγγων και συγκεκριμένα για την κατασκευή της σήραγγας από τον ΣΤ. Πλακεντίας έως το φρέαρ Ξάνθου μήκους 3,374 μέτρα.
- ∅ Χρήση Συμβατικής μεθόδου εκσκαφή σηράγγων (NATM). Χρησιμοποιήθηκε για την εκσκαφή σηράγγων σε εδάφη με φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά , καθώς και στην εκσκαφή ορισμένων σταθμών του Έργου.





- ø Χρήση μεθόδου Ανοικτού Ορύγματος. Χρησιμοποιήθηκε κατεξοχήν για την εκσκαφή των σταθμών του Έργου , καθώς και σε ελάχιστες περιπτώσεις για την εκσκαφή σηράγγων σε σημεία που παρουσιάστηκαν προβλήματα λόγω των πτωχών μηχανικών χαρακτηριστικών του εδάφους.
- ø Χρήση μεθόδου Επικάλυψης – Εκσκαφή. Πρόκειται για παραλλαγή της μέθοδος Ανοικτού Ορύγματος όπου κατασκευάζεται η πλάκα οροφής του σταθμού και οι εργασίες εκσκαφής πραγματοποιούνται υπογείως και χρησιμοποιήθηκε μόνο για τον Σταθμό του Συντάγματος.





## Εκρηκτικά

Τα εκρηκτικά κατέχουν μια χημική ιδιότητα που τους προσδίδει την ικανότητα να παράγουν στο εσωτερικό ενός περιορισμένου χώρου μια ποσότητα αέριων και θερμότητας τέτοια που οι συμπίεσεις, προκαλούνται από την γιγαντιαία επίδραση μόνο στο εσωτερικό ενός περιορισμένου τομέα και σε μια αποδράσεως δοθείσα που μειώνεται προς τα έξω. Το γεγονός αυτό θα δώσει γένεση στις ακόλουθες χαρακτηριστικές ζώνες:

- 1) ζώνη θρυμματισμού
- 2) ζώνη μετατόπισης
- 3) ζώνη σχισίματος
- 4) ζώνη δόνησης

### Ταξινόμηση εκρηκτικών

- 1) Εκρηκτικά άμεσου αποτελέσματος
- 2) Εκρηκτικά ταχέως αποτελέσματος
- 3) Πρέπει να σημειώσουμε εδώ τα εκρηκτικά με βίαιο αποτέλεσμα που χρησιμεύουν στην κατασκευή πυροκροτητών μηχανημάτων.

Στην εκσκαφή των σιηράγγων ο επιδιωκόμενος σκοπός να επιταχύνουμε την αναπήδηση (αποκόλληση) της πιο μεγάλης ποσότητας βράχου με την μικρότερη ποσότητα εκρηκτικής ύλης. Επιπλέον για την διευκόλυνση του φορτώματος και της μεταφοράς πρέπει να έχει τεμαχιστεί επαρκώς.

Για να πραγματοποιηθούν όλες αυτές οι συνθήκες πρέπει η κατάσταση των οποίων για την έκρηξη και η σειρά έκρηξης να ακολουθήσουν ένα πλάνο καλοφτιαγμένο. Εάν 2 γειτονικές οπές δεν είναι πολύ απομακρυσμένες μεταξύ τους ο παρεμβαλλόμενος βράχος θα εκριζωθεί από την ανάφλεξη και έκρηξη.

## **Εκσκαφή χωρίς υποστήριξη**

Η λύση αυτή δεν μπορεί να εφαρμοστεί παρά μόνο σε βραχώδη εδάφη. Οφείλουμε να διακρίνουμε ότι ανάμεσα στα εδάφη που υποστηρίζονται , με ένα προβλεπόμενο υποστήριγμα κατά την εκσκαφή και σε εκείνα που ακόμη και στην τελική φάση κατασκευής σηράγγων δεν χρειάζονται επένδυση.

Η ερώτηση είναι να ξέρουμε επομένως εάν ανάμεσα στις διάφορες φάσεις κατασκευής η υποστήριξη μπορεί να καταργηθεί.

Η κατασκευή των σηράγγων χωρίς υποστήριξη συνιστάται στην κυκλική επανάληψη των ακόλουθων σταδίων:

- I. Διάτρηση των οπών έκρηξης μέσα στην μετωπική επιφάνεια προσβολής
- II. Παραγέμισμα των οπών με εκρηκτική ύλη και έκρηξη.
- III. Απομάκρυνση των θρυμμάτων του βράχου
- IV. Συμπληρωματικές εργασίες (καθαρισμός των θρυμμάτων , πιθανή επένδυση..

## **Εκσκαφή με υποστήριξη**

Η τεχνική των κατασκευών με προκατασκευασμένο μπετόν οδήγησε στις μέρες μας σε χρησιμοποίηση στοιχείων με οπλισμένο σκυρόδεμα για προσωρινές υποστηρίξεις ορισμένων υπεδαφών.

Έναν από τους κυρίους λόγους είναι η τάση να θέλουμε να εξοικονομήσουμε το ξύλο και τον χάλυβα, ενώ συγχρόνως τα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να ενσωματωθούν στην τελική κατασκευή. Αντίθετα παρουσιάζουν ένα μεγάλο μειονέκτημα που είναι το βάρος τους και που είναι οι λόγοι δυσκολίας μεταχείρισης και εφαρμογής.

Η μεγάλη τους ικανότητα για μεταφορά δεν μπορεί να αξιοποιηθεί σε

σήραγγες μικρού πλάτους και αν η απόσταση είναι υπερβολικά μεγάλη , το βάρος των τσιμεντένιων ασφίδων γίνεται υπερβολικό. Για τον λόγο αυτό η χρησιμοποίησή τους δεν είναι λογική παρά μόνο σε περιπτώσεις που εφαρμόζεται εκμηχανοποιημένη τοποθέτηση. Υπήρξαν περιπτώσεις όπου τοποθετήθηκε προσωρινή υποστήριξη σε ένα υπέδαφος μεγάλων διαστάσεων αποτελούμενο μεταξύ άλλων και από τμήματα θόλου με οπλισμένο σκυρόδεμα σε σχήμα τόξων κύκλου.

Πάντως λόγω του υπερβολικού τους βάρους και τις δυσκολίας τοποθέτησης τους τα στοιχεία αυτά δεν μπόρεσαν να γίνουν γενικής χρήσης και σήμερα αντικαθίστανται από θόλους που χρησιμοποιούνται στις οικοδομές ή από μπετόν που χύνεται επί τόπου.

Οι συνθήκες δράσης σε όλη την τομή των προφίλ των σηράγγων βελτιώθηκε πολύ με την εισαγωγή της διαδικασίας καλούμενης αγκυροβόληση της θολωτής επιφάνειας ή στερέωμα με καρφιά του προφίλ, που εξασφαλίζει πλεονεκτήματα αναμφισβήτητα, όχι μεν σε ότι αφορά την προσωρινή υποστήριξη της υπό εκσκαφή τομής άλλα επίσης σαν οριστική επένδυση.

Όσο πιο λίγο ανθεκτικός είναι ο βράχος τόσο πιο μεγάλο πρόβλημα αγκύρωσης προκύπτει και γίνεται αποφασιστικό. Σε τέτοια πετρώματα θα χρησιμοποιούμε κατά προτίμηση μπουλόνια μικρής διαμέτρου άλλα σε μικρή απόσταση το ένα από το άλλο έτσι ώστε η ειδική προσκόλλησή τους να είναι μεγαλύτερη και ο κίνδυνος απόστασης του βράχου μεταξύ των άγκιστρων μειωμένος. Αν όχι μας δίνει την δυνατότητα να αλλάξουμε το σύστημα και να προτιμήσουμε αγκύρωση με οπλισμένο σκυρόδεμα.

Αγκυρώσεις με BETON APME χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά κατά την διάρκεια προσπαθειών κατά της αποκόλλησης των επενδύσεων των δομών που έγιναν σε αργιλώδη εδάφη για να υπερνικήσουν το αποτέλεσμα της διόγκωσης του βράχου.

Τέτοιες περιπτώσεις εκδηλώνονται κυρίως στο θόλωμα και στους δοκούς στηρίξεις (κολώνες) στα σημεία αυτά ενδείκνυται να γίνει το αγκίστρωμα.

Σύμφωνα με μετρήσεις των πραγματοποιούμενων παραμορφώσεων στα ορυχεία RUHR το ανασήκωμα του θόλου στερεωμένο με άγκιστρο σε BETON ARME ήταν μόνο 10 cm ενώ ένα τμήμα παρόμοιο που ήταν αγκιστρωμένο παραμορφώθηκε κατά 140 cm.

Έκτος από την τοποθέτηση άγκιστρων σημαντικό είναι να καλύψουμε την επιφάνεια (την αγκυρώμενη) με ένα μεταλλικό στήριγμα το οποίο όχι μόνο εξασφαλίζει μια άμεση προστασία κατά των πτώσεων λίθων που αποκολλούνται από την μάζα άλλα θα ενσωματωθεί στην στοιβάδα του πεταχτού μπετόν ή της εσωτερικής επένδυσης με BETON ARME.

Περίληπτικά, τα διάφορα πλεονεκτήματα της αγκίστρωσης του βράχου είναι τα ακόλουθα:

- 1) Καθιστά δυνατή την εκσκαφή της σήραγγας σε όλη την τομή της σε βράχους μέσης ποιότητας, χωρίς το εσωτερικό υποστήριγμα και ευνοεί έτσι την εργασία χωρίς να ενοχλούνται οι μηχανές του εργοταξίου.
- 2) Το αγκίστρωμα του βράχου καταργεί την χρήση ξύλου για τις υποστηρίξεις πράγμα το οποίο , πέρα από την οικονομία του ξύλου, επιτρέπει να γίνει οικονομία στην επιπλέον εκσκαφή για την τοποθέτηση των ξύλων που δεν μπορούν να ενσωματωθούν στην οριστική επένδυση.
- 3) Αν και η καθίζηση του θόλου, οφειλόμενη στην χαλάρωση του χάλυβα είναι αναπόφευκτη αυτή παραμένει μικρότερη από εκείνη που αναγκαζόμαστε να δεχτούμε όταν ο θόλος στηρίζεται από κάτω ,κυρίως όταν η εκσκαφή γίνεται σε περισσότερες φάσεις.
- 4) Ο RAVCEWICZ δημοσιεύει τον παρακάτω πίνακα όταν κάνει σύγκριση από οικονομική άποψη ανάμεσα σε μια υποστήριξη με μεταλλικές ασπίδες και μια υποστήριξη με μπουλόνια σε ένα τούνελ που τροφοδοτεί νερό την Νέα Υόρκη.

			ΑΨΙΔΕΣ	ΧΑΛΥΒ ΔΙΝΕΣ	ΑΓΚΙΣΤΡ ΩΜΑΤΑ		ΟΙΚΟΝ ΟΜΙΑ
ΕΙΔΟΣ	ΜΟΝ ΑΔΑ	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑ ΔΑΣ	ΠΟΣΟΤ ΗΤΑ	ΤΙΜΗ	ΠΟΣΟΤΗ ΤΑ	ΤΙΜΗ	ΠΟΣΟΤ ΗΤΑ
χάλυβας	kg	1	520	520	75	75	415
ξύλο	m <sup>3</sup>	250	01	25	-	-	01
Ωρ.εργασ.	hh	10	137	1370	108	1080	29
εκσκαφή	m <sup>3</sup>	58	155	580	14	812	1,5
μπετόν	m <sup>3</sup>	87	41	26	26	226	1,5
ξύλοτυπος	m <sup>3</sup>	7	12	12	12	84	-
σύνολο						2277	

Ας σημειώσουμε τέλος ότι το αγκίστρωμα του θόλου δεν μπορεί να θεωρηθεί σαν οριστική υποστήριξη πάρα σε εξαιρετικές και σε βράχους καλού κρατήματος. Η διάβρωση κυρίως του κεφαλιού των μπουλονιών συντελεί ώστε να μην μπορεί να γίνει σύγκριση με τα άλλα υποστυλώματα οριστικής υποστήριξης. Πάντως αν φτάσουμε να εμποδίσουμε την διάβρωση των κεφαλών (κάλυμμα αδιάβροχο στο νερό και αέρα ,ανοξειδωτο χάλυβα) και αν ο αγκυρωμένος βράχος θεωρηθεί σταθερός είναι δυνατόν να εμποδίσουμε οριστικά κάθε άλλη συμπληρωματική επένδυση.

Είναι επίσης αξιοσημείωτο ότι έναν από τους σπουδαίους τομείς χρησιμοποιήσεις των αγκυρωμάτων του βράχου που είναι η τοποθέτηση μπουλονιών μέσα σε αυτές που διανοίχτηκαν από μια γαλαρία προώθησης με ένα ικανό μήκος με σκοπό να υποστηρίξουμε την οριστική εκσκαφή.

Εκτός από την εφαρμογή του πεταχτού μπετόν στα τοιχώματα των υπεδαφών με σκοπό να καταστήσουμε αδιάβροχα ή να σταθεροποιήσουμε στοιχεία βράχου

που χαλάρωσαν με τις κινήσεις του υπεδάφους, η χρήση τσιμεντοκονιάματος εφαρμόστηκε με επιτυχία σε εργασίες υπόγειες σαν μέθοδο υποστήριξης του βράχου. Η συνένωση ορισμένων χημικών προϊόντων βελτίωσε την συγκόλληση και τις ιδιότητες της αντοχής και επέτρεψε την εφαρμογή στοιβάδων πιο παχέων.

Τα πλεονεκτήματα του πεταχτού μπετόν ή τσιμεντοκονίαμα είναι τα ακόλουθα:

- 1) Λόγω της σχετικά υψηλής αντοχής στην έλξη, η στοιβάδα του τσιμεντοκονιάματος εφαρμοζόμενη σε επιφάνειες παρόμοιες με τον βράχο σχηματίζει ένα είδος οπλισμού πάνω στο σύστημα (βράχος) που ανθίσταται στην σύνθλιψη, πράγμα που θα επιτρέψει στο σύνολο αυτό να αντέξει στις συναφείς έλξεις και κάμψεις. Η επίδραση αυτή βελτιώθηκε κυρίως με την χρησιμοποίηση μεταλλικών πλεγμάτων

ΕΝΙΑΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΛΑΦΩΝ (USCS, ASTM D-2487)			
Κύριος διαχωρισμός	Σύμβολο ομάδας	Όνομα	Εργαστηριακά κριτήρια ταξινόμησης
<p>Διατάξεις οδών (Παραπομπή στο το 30% των κόκκων έχουν διάμετρο μεγαλύτερη του κόκκου Νο. 200)</p> <p>Επιθεωρησιές που απαιτούνται για άμμοι και λεπτόκοκκους άμμοι (από 4.75 mm) με το ποσοστό των λεπτόκοκκων (0.075 mm) το χαμηλότερο εφόσον ταξινομηθούν ως αμμοί: GM, GP, SM, SP = 12% CL, SC, SM, SC = 5-12% (Ομοιογενείς, βλ. βλ. αναφορά)</p>			
Καθαροί χαλίκι (καθόλου λεπτόκοκκοι)	GW	Καλά διαβαθμισμένοι χαλίκι, μέγιστο άμμο-χαλίκια ή καθόλου λεπτόκοκκοι υλικά	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4, \quad 1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 5$ <p>Δεν ικανοποιούν όλες τις απαιτήσεις τις σχετικές με τη διαβάθμιση με τα χαρακτηριστικών GW</p>
	GP	Μη διαβαθμισμένοι χαλίκι, μέγιστο άμμο-χαλίκια ή καθόλου λεπτόκοκκοι υλικά	
Χαλίκι με λεπτόκοκκο (σημαντικό ποσοστό λεπτόκοκκων)	GM <sup>d</sup> u	Ετερογενείς χαλίκι, μέγιστο άμμο-χαλίκια-άμμο	<p>Όμοιο Απαιτείται κάτω από τη γραμμή "A" ή P.I. μικρότερος του 4</p> <p>Όμοιο Απαιτείται πάνω από τη γραμμή "A" και P.I. μεγαλύτερος του 7</p> <p>Πάνω από τη γραμμή "A" με P.I. μεταξύ 4 και 7 είναι οριστικές περιπτώσεις και απαιτείται η χρήση διαλύσιμου σιμента</p>
	GC	Αρτηροειδή χαλίκι, μέγιστο άμμο-χαλίκια-άμμο	
<p>Άμμοι (Παραπομπή στο το 30% του χαμηλότερου κομμάτι άμμοι διαμετρο μεγαλύτερη από αυτή του κόκκου Νο. 4)</p>			
Επιθεωρησιές (άμμοι ή καθόλου λεπτόκοκκοι)	SW	Καλά διαβαθμισμένοι άμμοι, καθόλου άμμοι, άμμοι ή καθόλου λεπτόκοκκοι υλικά	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6, \quad 1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 5$ <p>Δεν ικανοποιούν όλες τις απαιτήσεις τις σχετικές με τη διαβάθμιση με τα χαρακτηριστικών SW</p>
	SP	Μη διαβαθμισμένοι άμμοι, χαλίκια ή καθόλου λεπτόκοκκοι υλικά	
Άμμοι με λεπτόκοκκο (σημαντικό ποσοστό λεπτόκοκκων)	SM <sup>d</sup> u	Ετερογενείς άμμοι, μέγιστο άμμο-άμμο	<p>Όμοιο Απαιτείται κάτω από τη γραμμή "A" ή P.I. μικρότερος του 4</p> <p>Όμοιο Απαιτείται πάνω από τη γραμμή "A" και P.I. μεγαλύτερος του 7</p> <p>Οι απαιτήσεις και η χρήση διαλύσιμου σιμента στην τριμοσυστασμένη άμμο (P.I. = 4-7) είναι οριστικές και απαιτείται η χρήση διαλύσιμου σιμента</p>
	SC	Αρτηροειδή άμμοι, μέγιστο άμμο-άμμο	
<p>Διατάξεις οδών (Παραπομπή στο το 30% των κόκκων έχουν διάμετρο μεγαλύτερη του κόκκου Νο. 200)</p>			
Ψαλίδες και άμμοι (L.L. < 50)	MI	Ανθρακένιο υλικό και λεπτόκοκκοι άμμοι, βελόνες ή αρτηροειδή άμμοι, ή αρτηροειδή υλικά με μικρή πλαστικότητα	
	CL	Ανθρακένιο υλικό με μικρή έως μέτρια πλαστικότητα, χαμηλότερη άμμοι, αμμοειδή άμμοι, άμμοι-άμμοι, άμμοι χαμηλής πλαστικότητας	
	OL	Οργανικά υλικά και οργανικοί υλικοί, άμμοι χαμηλής πλαστικότητας	
Ψαλίδες και άμμοι (L.L. > 50)	MH	Ανθρακένιο υλικό, υψηλότερης ή διαφορετικής πλαστικότητας άμμοι ή υλικά εφόσον ελαστικές υλικά	
	CH	Ανθρακένιο υλικό με μέτρια πλαστικότητα, άμμοι χαμηλής πλαστικότητας	
	OH	Οργανικά υλικά με μέτρια ή υψηλή πλαστικότητα, οργανικά υλικά	
Πολύ οργανικά υλικά	PI	Υψηλή και αλλα οργανικά υλικά	

2) Ομοίως το αγκύρωμα του βράχου , το πεταχτό μίγμα άμμου και τσιμέντου προσδίδει στο έδαφος μια κατάσταση οξυμένης αντοχής που συμμετέχει έτσι στο σχηματισμό ενός θόλου φυσικού και ανθεκτικού. Μια άλλη σπουδαία επίδραση , αν και χωρίς να είναι στατικής φύσεως είναι η προστασία που επιφέρεται στους βράχους που έχουν τάση να αποσυνθέτουν όταν έρθουν σε επαφή με τον αέρα ή την υγρασία και σε εκείνα που διογκώνονται από την υγρασία οι οποίοι , με αυτό τον τρόπο προστατεύονται από καταστρεπτικούς παράγοντες. Ένα άλλο πλεονέκτημα της επικάλυψης με άμμο και τσιμέντο ευρίσκεται στην ευκολία με την οποία μπορούμε να διορθώσουμε θρυμματισμένες επιφάνειες καθώς και στην ευκολία εφαρμογής της στις εκσκαφές οποιουδήποτε σχήματος και διαστάσεων. Σύμφωνα με τα πειράματα η προσθήκη άμμου και τσιμέντου μπορεί επίσης να εφαρμοστεί για την στερέωση σωρών χωμάτων ή λίθων.

### **Κλασσικές μέθοδοι εκσκαφής**

Ανάμεσα σε αυτές εδώ σημειώνουμε τις ακόλουθες κλασσικές:

- Την βελγική μέθοδο ή μέθοδο με υποστύλωση.
- Την γερμανική μέθοδο (μέθοδο κεντρικού τμήματος STROSS)
- Την ιταλική μέθοδο (μέθοδο με κοιλότητα στην βάση)

Οι μέθοδοι αυτές εκσκαφής χρησιμοποιούνται γενικώς σε εδάφη κακής σύστασης η επιλογή μεταξύ των μεθόδων αυτών γίνεται σύμφωνα με την φύση και την αντοχή του εδάφους.

α) Εάν το έδαφος είναι επαρκώς ανθεκτικό για να μπορέσει να υποβαστάξει



προσωρινά και χωρίς σπουδαίες καθιζήσεις, το βάρος του θόλου αυξάνεται με την ώθηση στην οροφή θα υιοθετήσουμε την βελγική μέθοδο.

β) Εάν το έδαφος είναι ανίκανο για τον παραπάνω σκοπό και η κατοχή του για το ύψος της βάσεως δε του επιτρέπει να υποτάξει προσωρινά και χωρίς μεγάλο κίνδυνο καθίζησης και των αψιδοστατών της επένδυσης, η γερμανική θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί.

γ) Τέλος, εάν οι μέθοδοι φαίνονται ανεπαρκείς και αν το φορτίο δεν μπορεί να μεταδοθεί δια μέσου μιας χαμηλής επιφάνειας σε όλο το πλάτος της βάσεως, υποχρεούμαστε να εφαρμόσουμε την ιταλική μέθοδο.

### **Εκσκαφή σε εδάφη μέσης σταθερότητας**

Έχουμε την:

- α) μέθοδο εκσκαφής σε διαδοχικές φάσεις (κλασσική μέθοδος)
- β) Αυστριακή μέθοδος (τοποθέτηση τραβέρσων)
- γ) μέθοδος εκσκαφής διαδοχικών δακτυλίων
- δ) μέθοδος εκσκαφής με την βοήθεια κεντρικής τομής

### **Εκσκαφή σε ασταθή εδάφη**

Η κατασκευή των τούνελ για αστικά δημόσια έργα αστικών επικοινωνιών και γραμμές METRO εγκατεστημένες σε κατώτερα στρώματα γίνεται πιο συχνά σε εκσκαφές καλά καλυμμένες. Η εκσκαφή εξασφαλίζεται από μια κλασσική στερέωση ή από μια συστοιχία τετραγωνισμένων ενώ το νερό που διαπερνά τα στρώματα απομακρύνεται με χαμήλωμα της φρεατικής

επιφάνειας. Με τον τρόπο αυτό κατασκευάστηκε το METRO της Βουδαπέστης. Η λύση αυτή είναι η λιγότερο πολυδάπανη, αλλά αντίθετα παραλύει κάθε τι στην επιφάνεια κατά την διάρκεια των εργασιών.

Πρόσφατα μια παραλλαγή της μεθόδου αυτής είδε το φως και εφαρμόστηκε πολλές φορές για την κατασκευή γραμμών METRO κάτω από το κατάστρωμα των αστικών γραμμών. Η ουσία της μεθόδου αυτής συνίσταται στην προκαταρκτική εκσκαφή στενών τομών που διανοίγονται από τη επιφάνεια του εδάφους υπό την προστασία μιας κατακόρυφης υποστύλωσης. Αφού επιτύχουμε το επιθυμητό βάρος, κατασκευάζουμε τα πλάγια τοιχώματα του προφίλ του τούνελ. Αφού γίνει αυτό αφαιρούμε το έδαφος όπου θα συνδεθεί με τους τοίχους (οικονομία χρόνου και σκαλωσιών μπορεί να γίνει αν η πλάκα είναι προκατασκευασμένη από μπετόν). Μόλις το επιτρέψει η αντοχή της πλάκας το κατάστρωμα του δρόμου ξανακατασκευάζεται και η κυκλοφορία αποκαθίσταται εκ νέου. Τέλος, από την προστασία του πλαισίου σχήματος U τελειωμένου μπορούμε στη συνέχεια να αφαιρέσουμε το STROSS (μερικό τμήμα του βράχου) χωρίς να ενοχλείται η κυκλοφορία στην επιφάνεια. Η εργασία αυτή μπορεί να ταξινομηθεί στην κατηγορία των υπογείων εργασιών.

Η διαδικασία περιορίζει τον χρόνο κατά τον οποίο η κυκλοφορία στην επιφάνεια οφείλει να παρεμποδίζεται λόγω κατασκευής της επίστρωσης και διευκολύνει επιπλέον την μετατόπιση των διαφόρων δικτύων που συναντάμε στην πορεία του έργου. Μια προκαταρκτική συνθήκη της εργασίας αυτής είναι η ύπαρξη κάτω από το θεμέλια των τοίχων μιας ανθεκτικής στοιβάδας εδάφους ειδικά για να υποβαστάζει προσωρινά και χωρίς υπερβολικές υποχωρήσεις των τοίχων, της πλάκας και των οχημάτων που μετακινούνται κατά μήκος αυτής. Κατά τα άλλα η μέθοδος αυτή μπορεί να θεωρηθεί αρκετά οικονομική, γιατί επιτρέπει να εξοικονομήσουμε σκαλωσιές και υποστύλωση που στοιχίζει πολύ.

Μια έξυπνη και πολύ οικονομική λύση του συστήματος είναι το σχήμα που

δόθηκε την πρώτη φορά όταν κατασκευάστηκε το METRO του Μιλάνου (μέθοδος ICOS-UEDER)

Ένα καινούργιο σύστημα κατασκευής κοιλωμάτων είδε το φως πρόσφατα. Πρόκειται για την μέθοδο BENOTO της οποίας η αρχή συνίσταται στην κατασκευή των διάτρητων πασσάλων είτε δίπλα-δίπλα είτε απομακρυσμένα το ένα από τα άλλα, ενώ η σειρά των πασσάλων τακτοποιείται με ένα τεμάχιο BETON ARME που τοποθετείται στην βάση του θόλου.

### **Συνδυασμένες μέθοδοι**

Στις μέρες μας, καμιά μέθοδος από τις προαναφερόμενες δεν χρησιμοποιείται όπως ήταν αρχικά για την κατασκευή σηράγγων κυρίως όταν πρόκειται για υπόγεια έργα μεγάλων διαστάσεων. Καλύτερα αποτελέσματα προκύπτουν με τον συνδυασμό των διαφόρων μεθόδων, όπως της αγγλικής με την αυστριακή και της βελγικής με την γερμανική.

Οι δυνατότητες αυτές συνδυασμού μπορούν να οδηγήσουν σε έναν πολύ μεγάλο αριθμό παραλλαγών, ένα μέρος των οποίων παρουσιάστηκε σε προηγούμενες περιγραφές. Μια από τις παραλλαγές αυτές συγκεντρώνει τα πλεονεκτήματα της αγγλικής και της αυστριακής μεθόδου με το να χρησιμοποιεί για την υποστήριξη του θόλου ένα σύστημα βεντάλιας.

Σύμφωνα με την παραλλαγή που χρησιμοποιείται πιο συχνά η εκτέλεση γίνεται όπως στην αγγλική μέθοδο, με διαδοχικούς δακτυλίους, έτσι ώστε ένα είδος εργασίας να γίνεται στο εσωτερικό ενός και του αυτού δακτυλίου.

Αντίθετα με σκοπό την επιτάχυνση τω εργασιών, σκάπτονται περισσότερα τμήματα του βράχου συγχρόνως μέσω μιας γαλαρίας προώθησης που έχει επιμηκυνθεί για τον λόγο αυτό.

Η συνέχιση της εργασίας σε διαφορετικές θέσεις μπορεί να πραγματοποιηθεί με τον τρόπο αυτό και επιπλέον σε διάφορα μέρη του

υπεδάφους δεν μένουν χωρίς υποστήριξη παρά μόνο για ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα σε σύγκριση με την αυστριακή μέθοδο όπου οι διάφορες φάσεις εργασίας γίνονται με την μεσολάβηση αρκετού χρόνου.

Από την αυστριακή μέθοδο κρατάμε την υποστήριξη με τη βοήθεια τμημάτων ξύλου για την επέκταση άλλων προσαρμοσμένων καλά στις μεταβολές πιέσεων του εδάφους. Η υποστήριξη αυτή συνδυάζεται στα άσχημα εδάφη, με την τοποθέτηση εγκάρσιας θωράκισης, χρησιμοποιώντας τεμάχια ξύλου σε σχήμα βεντάλιας η εκσκαφή το θόλου μπορεί να περιοριστεί στα στηρίγματα του θόλου. Οι επεκτάσεις (τεμάχια ξύλου) της οροφής δεν πρέπει να φθάνουν πέρα από το θεωρητικό προφίλ, πράγμα που βοηθάει στην αποφυγή εκσκαφής τομής πιο μεγάλης από εκείνης που καταλαμβάνει συνθήκη η οριστική τοιχοποιία. Τα υποστηρίγματα τοποθετημένα σε σχήμα βεντάλιας προσφέρουν επίσης την δυνατότητα να μην μεταφέρουν μακριά. Τα στοιχεία υποστήριξης και θωράκισης αλλά σε ζώνες πολύ περιορισμένες και λίγο χρόνο πριν γίνει η τοιχοποιία που εξασφαλίζει σιγουριά έναντι των πτώσεων των βράχων.

### **Μέθοδος των Βυσμάτων ή προκατασκευασμένων κιβωτίων**

Μια άλλη διαδικασία κατασκευής τούνελ σε έδαφος βάθους κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και το βύθισμα κιβωτίων ή άλλων προκατασκευασμένων στοιχείων

Οι δύο παραλλαγές που δύναται να εφαρμοστούν είτε η ξηροκατασκευή του προφίλ του τούνελ, σε χώρους δημιουργείται από πλάγια τοιχώματα πάνω από τον χώρο εργασιών, παράδειγμα τα κομμάτια εργασιών του METRO του Παρισιού, είτε η διαμόρφωση του χώρου εργασίας ανά το προφίλ του οριστικού τούνελ (τούνελ για τα νερά της οδού SORAKSAS) της Βουδαπέστης.

Η κατασκευαστική αυτή μέθοδος επιλέχτηκε για την εκτέλεση τούνελ που

περνούν κάτω από πέρασμα νερού και κυρίως ανάμεσα σε μεγάλα βάθη ή κοίτη συνιστά τα από ύλη, ή αμμώδη ύλη πολύ διαπερατά υλικά.

Πράγματι σε τέτοιες περιπτώσεις οι πιο πάνω μέθοδοι δεν είναι ικανές από μόνες τους να λύσουν την αδιαπερατότητα του υπεδάφους που παρουσιάζονται κατά την κατασκευή λόγω διαφυγής αέρος δια μέσω του υπεδάφους. Από το γεγονός ότι η διαδικασία αυτή απαιτεί παρά μια ελάχιστη κάλυψη του εδάφους πάνω σε τούνελ, αυτό θα μπορούσε να κατασκευαστεί όσο το δυνατό πιο ψηλά πράγμα που μειώνει το ύψος της ράμπας υποδοχής.

Στην πραγματικότητα η παραπάνω διαδικασία δεν συνιστάται καθόλου από τις πνευματικές μεθόδους εργασιών. Τα προκατασκευασμένα κιβώτια κατασκευάζονται ανάμεσα στις σκαλωσιές των οδηγών μέχρι το βάθος όπου είναι η επιφάνεια του νερού.

Η εργασία αυτή πραγματοποιείται από τα έξω με προστασία από κώδωνες που πρόκειται να βυθιστούν ή ταυτόχρονα από το εσωτερικό του κιβωτίου, τρυπώντας τα κιβώτια για να δημιουργηθούν σημεία σύνδεσης.

Η ερμητικότητα επιτυγχάνεται με αέρα υπό πίεση σε συνδυασμό με την προστατευτική επάλειψη από άργιλο που συνιστάται στο βάθος των υδατικών στρωμάτων.

Ο πυθμένας του υδατικού στρώματος εκβαθύνεται με κάθαρση της κοίτης για να επιτευχθεί το βάθος τοποθέτησης. Ο κλιτής της τάφρου που κατασκευάζεται διατηρούνται λίγο κεκλιμένες.

Στην συνέχεια από υπόγεια (προσάραξης) τοποθέτησης (καταβύθιση) των τούνελ του οποίου τα άκρα κλείνονται προσωρινά μετά ακολουθείται η επιχωμάτωσή τους με την βοήθεια που προέρχονται απ βάθος. Η σύνθεση ανάμεσα σε γειτονικά στοιχεία πραγματοποιείται κάτω από την πίεση πεπιεσμένου αέρα με την βοήθεια κλωβού δύτη.

Κατά αρχήν κατασκευάζονται τα πλαϊνά τοιχώματα της σύνδεσης, γεμίζοντας με τσιμέντο κάτω από το νερό ένα διάστημα που ορίζεται από 2 πλάκες από της οποίες η εσωτερική είναι επίπεδη ενώ η εξωτερική έχει σχήμα κυρτό. Στην

συνέχεια μεταφέρεται επί τόπου με επίπλευση ένας κλωβός δύτη, κατά τρόπο ώστε να είναι εντελώς στην κατακόρυφη διεύθυνση του συνδέσμου, μετά κατεβάζεται ώστε να στηριχθεί στα 2 γειτονικά κιβώτια. Μετά την απομάκρυνση των υδάτων και την στεγανοποίηση με πεπιεσμένο αέρα του κλειστού χώρου που κατασκευάστηκε με τον τρόπο αυτό, κατασκευάζουμε την ανώτερη πλάκα η οποία συνδέεται καλά με τις αντίστοιχες πλάκες των κιβωτίων.

Αφού τελειώσει η εργασία αυτή και αφού τοποθετηθούν ένας αδιάβροχος μηχανισμός (είδος μεμβράνης) στηριγμένο σε ένα από τα διάτρητα μετωπικά τοιχώματα αποκλείεται από τον χώρο που περιλαμβάνεται ανάμεσα στα μετωπικά τοιχώματα από το δημιουργούμενο.

Στην συνέχεια κατασκευάζουμε την πλάκα του πυθμένα που συνδυάζει με τα πλάγια τοιχώματα ένα μονολιθικό σύνολο.

Συναντάμε επιπλέον, κυρίως μέσα στα κιβώτια των τούνελ μεταλλικής κατασκευής, λύσεις συνενώσεως που συνιστάται σε έναν μηχανισμό προσαρμογής (θηλύκωμα). Τα άκρα των σωλήνων στις 2 πλευρές φέρουν στεφάνι (περιλαίμιο) καθώς επίσης και στο άνω μέρος, ενώ το στοιχείο σύνδεσης που λείπει πραγματοποιείται εξασφαλίζοντας την ερμητικότητα του συνδέσμου με την βοήθεια πεπιεσμένου αέρα που τροφοδοτείται από το εσωτερικό.

Στην περίπτωση όπου τα στοιχεία είναι προκατασκευασμένα η διαμόρφωση του εσωτερικού χώρου των τούνελ μπορεί να εκτελεσθεί πριν από την προσάραξη. Αντίθετα στις ζώνες σύνδεσης της μπορεί να γίνει η εργασία αυτή πριν τελειώσουν οι σύνδεσμοι και να εξασφαλιστεί η στεγανότητα. Για να πάρουν τα στοιχεία που ρίχνονται στο βάθος του στρώματος νερού την επιθυμητή θέση τους, σε περίπτωση ανάγκης τοποθετούμε (εκ των προτέρων) κάτω από το νερό ένα στήριγμα πιλοτής ή καβαλέτα ή ακόμα καλύτερα, σύμφωνα με τις νέες τεχνικές, ο βυθός της υποδοχής ρυθμίζεται με EPANDA με εισαγωγή κάτω από τα τοποθετημένα στοιχεία ενός στρώματος άμμου ή άλλων

ανάλογων υλικών.

Η κατασκευαστική αυτή μέθοδος βρίσκεται πρόσφατα σε ανάπτυξη και μένει να προβλέψουμε όσον αφορά την χρησιμοποίηση των SUBAQUATIQUE τούνελ εγκαταστημένων σε ρευστά εδάφη, ότι θα εκθρονίσει τελείως με την μέθοδο, παραθέτουμε επίσης το παράδειγμα του WASABIERN που κατασκευάστηκε με μεταλλικά στοιχεία και τα τούνελ του ROTTERDAM του AMSTERDAM και της ANVERS, όπου τα προσαραγμένα στοιχεία πραγματοποιούνται από μπετόν αρμέ σε μεγάλες διαστάσεις (100xd 7,8m)

## 2.2 Μηχανολογικός εξοπλισμός του Μετρό Αθήνας

Εκσκαφή με χρήση μηχανήματος Ολομέτωπης Κοπής (Tunnel Boring Machine ή TBM). Χρησιμοποιήθηκε για τη διάνοιξη σηράγγων και συγκεκριμένα, το TBM1 (με το όνομα «ΙΑΣΟΝΑΣ») χρησιμοποιήθηκε στο τμήμα της Γραμμής 2 από τον Στ. Λαρίσης έως τον Στ. ΑΓΙΟ ΙΩΑΝΝΗ, ενώ το TBM2 (με το όνομα «ΠΕΡΣΕΦΟΝΗ») χρησιμοποιήθηκε στο τμήμα της Γραμμής 3 από το Στ. ΚΑΤΕΧΑΚΗ έως το Στ. ΣΥΝΤΑΓΜΑ.



Περσεφόνη



Ιάσονας

#### **α. Μηχάνημα εξισορρόπησης εδαφικής πίεσης**

Το EPB που χρησιμοποιήθηκε στην επέκταση της γραμμής 3 προς Δουκ. Πλακεντίας σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από τη Γερμανική εταιρία HERRENKNECHT A.G , ώστε να λειτουργεί σε ετερογενή εδάφη. Χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή της σήραγγας από τον ΣΤ. Χαλάνδρι έως Φρέαρ Ξανθού μήκους 3.374 μέτρα.

Η αρχή λειτουργίας της μηχανής EPB σε ασταθείς ειδικές καταστάσεις είναι η ελαχιστοποίηση των επιφανειακών καθιζήσεων , μέσω του έλεγχου της φυσικής εδαφικής πίεσης (υποστήριξη εξισορρόπησης της εδαφικής πίεσης ) στο μέτωπο της σήραγγας. Η πίεση εξισορρόπησης του εδάφους πρέπει να είναι ισοδύναμη ή ελάχιστα υψηλότερη από την επικρατούσα πίεση του περιβάλλοντος εδάφους για να αντιστέκεται στις μετακινήσεις και τη δυναμική εισροή του νερού. Η φυσική πίεση του εδάφους ποικίλει από 1 έως 4 bar. Η εξισορρόπηση του μετώπου καθώς το EPB προωθείται επιτυγχάνεται κρατώντας τον θάλαμο της κοπτικής κεφαλής μπροστά από το κλειστό διάφραγμα και τον ατέρμονα κοχλία μεταφοράς προϊόντων εκσκαφής γεμάτο από υλικό εκσκαφής. Το εξοργισμένο υλικό αποσπάται με ελεγχόμενο τρόπο μέσω ενός μεταφορικού ατέρμονα κοχλία , μαζί με τους ρυθμιστικούς παράγοντες , από το θάλαμο της κοπτικής κεφαλής.

Η κεφαλή κοπής του EPB είναι εξοπλισμένη με σταθερούς κοπτικούς δίσκους , σιαγόνες σύνθλιψης και ρυθμιζόμενους έκκεντρους μονταρισμένους κοπτικούς δίσκους , οι οποίοι επιτρέπουν υπερεκσκαφή μέχρι και 30 χιλιοστά περιμετρικά της κεφαλής κοπής. Η ασπίδα EPB είναι ικανή να λειτουργεί σε <<ανοικτό



τρόπο>>, όπου ο ατέρμων κοχλίας και ο θάλαμος της κεφαλής κοπής δεν λειτουργεί υπό πίεση και σε <<κλειστό τρόπο>>, όπου ο ατέρμων κοχλίας και ο θάλαμος της κεφαλής κοπής λειτουργεί υπό πίεση.

Το EPB χωρίζεται σε δυο κύρια τμήματα:

- 1) την κεφαλή ολομέτωπης κοπής με ασπίδα
- 2) το σύστημα υποστήριξης

Η κεφαλή κοπής και το σύστημα υποστήριξης του EPB χωρίζεται σε τομείς για την εύκολη μεταφορά και συναρμολόγηση τους στο εκάστοτε εργοτάξιο. Η πίεσης λειτουργίας είναι 3 bar και η εξωτερική διάμετρο της μπροστινής ασπίδας είναι 9,44 μέτρα. Το συνολικό μήκος του EPB είναι 94,00 μέτρα, ενώ το βάρος του είναι 1.100 τόνοι.



Μηχανή εξισορρόπησης εδαφικής πίεσης

Η ασπίδα του EPB σχεδιάστηκε με τρόπο ώστε να αντέχει όλα τα φορτία και τις δυνάμεις που εμφανίζονται από το υπερκείμενο έδαφος, αλλά και από την λειτουργία του μηχανήματος, κανονική ή διορθωτική. Η ασπίδα χωρίζεται στην πρόσθια, την κεντρική και την οπίσθια ασπίδα. Η κοπτική ασπίδα, που βρίσκεται στην πρόσθια ασπίδα, είναι μια βαριά κατασκευή που παρέχει την αναγκαία μηχανική υποστήριξη στο μέτωπο της σήραγγας. Περιλαμβάνει ένα συνδυασμό εναλλασσόμενων σιαγόνων σύνθλιψης και κοπτικών δίσκων. Όλα τα κοπτικά εργαλεία της κεφαλής έχουν σχεδιαστεί έτσι, ώστε να αντικαθίστανται από το πίσω μέρος της κοπτικής κεφαλής, μέσα από τον θάλαμο αποκομιδής των προϊόντων εκσκαφής.

Για να διατηρηθεί ο έλεγχος του εδάφους σε συνάρτηση με την αποκομιδή προϊόντων εκσκαφής, η εκσκαφή ξεκίνα ρυθμίζοντας στον ατέρμονα κοχλίας το άνοιγμα της θύρας αποκομιδής του υλικού. Καθώς τα έμβολα προώθησης του μηχανήματος εκτείνονται, τα προϊόντα εκσκαφής γεμίζουν το θάλαμο της κεφαλής κοπής, με αποτέλεσμα το έδαφος μπροστά από το EPB και μέσα στην κοπτική κεφαλή να είναι υπό πίεση. Οι κυψέλες μέτρησης της πίεσης του εδάφους που βρίσκονται μέσα στον θάλαμο της κοπτικής κεφαλής μετρούν την πίεση του εδάφους και εάν αυτή υπερβεί ένα συγκεκριμένο όριο, οι υδραυλικά ελεγχόμενες θύρες εκτόνωσης της πίεσης που βρίσκονται στον περιστρεφόμενο ατέρμονα κοχλία, αναγκάζονται να ανοίξουν και επιτρέπουν στο υλικό εκσκαφής να περάσει από τις θύρες αυτές στην πρώτη μεταφορική ταινία.

Στην πρόσθια ασπίδα υπάρχουν 2 ανθρωποθυρίδες, δηλ. ένας αεροστεγής θάλαμος προσαρμοσμένος στις απαιτήσεις των πρότυπων ασφαλείας, ο οποίος περιλαμβάνει δυο διαμερίσματα, που λειτουργούν με πίεση εργασίας 3 bar:

- 1) της εκτάκτου ανάγκης (δυο ατόμων)
- 2) του κυρίως διαμερίσματος (τεσσάρων ατόμων), για την επέμβαση στην κεφαλή καθώς και την διατήρηση της πίεσης στο έδαφος.

Το έδαφος μπορεί να ρυθμιστεί με πρόσθετα υλικά ώστε να αποκτήσει την αναγκαία πλαστική ρευστότητα , ελέγχοντας τον όγκο που εκσκάπτεται κατά την προχώρηση του EPB . Η πλαστική ρευστότητα του εξορυγμένου υλικού είναι απαραίτητη ώστε να υπάρχει ομαλή ροή πάνω στον ατέρμονα κοχλία. Τα ρυθμιστικά υλικά προστίθενται διαμέσου του διαφράγματος στο υπό εκσκαφή έδαφος ώστε να διασφαλιστεί ότι το υλικό που βρίσκεται στο θάλαμο της κοπτικής κεφαλής έχει αποκτήσει την επιθυμητή σύσταση. Οι ρυθμιστικοί παράγοντες, περιλαμβανομένου του απλού νερού, της ιλύος με βάση τον μπεντονίτη , τα χημικά πολυμερή και τους παράγοντες με βάση τον αφρό, έχουν εισαχθεί για τρεις λόγους:

- 1) για να λιπαίνεται το υλικό και να διευκολύνεται η ροή του διαμέσου του διαμερίσματος της κοπτικής κεφαλής.
- 2) Για να βελτιώνεται η διαπερατότητα του υλικού σε πολύ υγρές εδαφικές συνθήκες
- 3) για να βελτιώνεται η σύσταση του υλικού για καλύτερη διαχείριση της ιλύος.

Τα 28 έμβολα ώθησης του EPB είναι τοποθετημένα γύρω από την οπίσθια ασπίδα ομαδοποιημένα ανά δυο σε ένα πέδιλο (συνολικά 14 πέδιλα), σχήματος ορθογώνιου παραλληλόγραμμου, που έρχεται σε επαφή με τα προκατασκευασμένα στοιχεία. Το υδραυλικό σύστημα των γρύλων είναι σχεδιασμένο να παρέχει 2 λειτουργίες: προέκτασης και επαναφοράς.

- ∅ Κατά την προχώρηση του μηχανήματος, που συμπίπτει με τη φάση εκσκαφής , τα έμβολα έχουν μικρή ταχύτητα έκτασης και ασκούν μεγάλη πίεση.
- ∅ Κατά την τοποθέτηση της επένδυσης των προκατασκευασμένων στοιχείων, τα έμβολα λειτουργούν με μεγάλη ταχύτητα έκτασης και επαναφοράς και ασκούν μικρές πιέσεις, ώστε να αποτραπεί πιθανή

κατάρρευση του δακτυλίου.



Οι κοπτήρες , που κατασκευάστηκαν από ειδικό σκληροχάλυβα είναι στερεωμένοι στην περιφέρεια των δορυφορικών κοπτικών κεφαλών. Οι πιο επιθυμητές ιδιότητες του σκληροχάλυβα για κοπτικές αιχμές είναι: η ανθεκτικότητα στην τριβή, η σκληρότητα και το ότι δεν είναι καθόλου εύθραυστος. Το μέγεθος, το σχήμα και το διάστημα των κοπτικών αιχμών μπορεί να επηρεάζει την αντάξια στο μέτωπο και μπορεί να προκαλέσει τον επαναθρυμματισμό των άχρηστων υλικών.

Τρεις διαφορετικές κατηγορίες κοπτικών αιχμών χρησιμοποιούνται στα TBM ανάλογα με την σκληρότητα του εδάφους.

Οι δυνάμεις εργαλείων περιλαμβάνουν τα εξής δυο σημεία:

- I. τις δυνάμεις κάθετες στο μέτωπο
- II. τις εφαπτόμενες δυνάμεις στο μέτωπο σήραγγας.

**Οι κάθετες δυνάμεις** τείνουν να ελέγχουν το βάθος διάτρησης , το μέγεθος των προϊόντων της εκσκαφής και την φθορά των κοπτικών αιχμών. Όσο μεγαλύτερο είναι το κάθετο φορτίο μαζί με την φέρουσα ικανότητα της κοπτικής αιχμής τόσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος της διάτρησης καθώς επίσης τόσο χαμηλότερη είναι και η φθορά. Η κάθετη δύναμη συνήθως εφαρμόζεται με την μορφή ώθησης στην κοπτική κεφαλή και μεταφέρεται στις κοπτικές αιχμές.

**Οι εφαπτόμενες δυνάμεις** πρέπει να είναι ικανές να συνεχίσουν να κινούν τις κοπτικές αιχμές μέσα από το πέτρωμα με βάθος διάτρησης αυτό που διατηρείται στην κάθετη φόρτιση.

Η σχέση μεταξύ των δυο αυτών δυνάμεων προσδιορίζεται ως εξής :

$$C = \frac{\text{ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΗ ΔΥΝΑΜΗ}}{\text{ΚΑΘΕΤΗ ΔΥΝΑΜΗ}}$$

Όπου C είναι γνωστός κοπτικός συντελεστής γύρω στο 0,15

ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΚΕΦΑΛΩΝ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ.

Σκληρότητα πετρώματος	μαλακό	μέτριο	σκληρό	Πολύ σκληρό
ΕΙΔΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	Αργιλικός σχιστόλιθος	ασβεστόλιθος	πυρίτιο	Σιδηρούχοι σχηματισμοί
	Αργιλικός ασβεστόλιθος	ψαμμίτης	γρανίτης	χαλαζίτης
	Κοκκώδη εδάφη	αμμώδης	χαλαζίας	Σκληρά πυρογενή
		Σιδηρούχα ορυκτά		
Αντοχή σε θλίψη (N/MM <sup>2</sup> )	Μέχρι 50	100	200	300
Κοπτικός μηχανές	Με δόντια	Κυλιόμενοι δίσκοι	Κυλιόμενα κουμπιά (EPB)	Χρήση εκρηκτικών

**β. Ασπίδα ανοικτού μετώπου**

Το μηχανήματα τύπου Ανοικτής Ασπίδας (OFS) χρησιμοποιούνται για την διάνοιξη σηράγγων σε χαλαρά εδάφη. Παρέχουν αρχική υποστήριξη στη στέψη του εδάφους και του μετώπου της εκσκαφής, τα οποία υποστηρίζονται από περίβλημα της ασπίδας και τις πλάκες προπορείας.

Τα OFS του Μετρό Αθήνας στο οποίο είχε δοθεί το όνομα "ΔΑΦΝΗ" σχεδιάστηκε από την εταιρεία HERRENKNECHT GMDH, για εκσκαφή σε πετρώματα με μέγιστη αντοχή Ανεμπόδιστης θλίψης της τάξεως 120ρα. Είχε συνολικό μήκος 150μ. Με τα βαγόνια υποστήριξης και λειτουργούσε υπό

ατμοσφαιρική πίεση. Χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή της σήραγγας Στ. Δάφνης-Στ. Αγ. Ιωάννη του βασικού Έργου, μήκους 765μ.και για το τμήμα Στ. Ανθούπολη -Στ. Περιστέρι της επέκτασης της γραμμής 2, μήκους 910μ. Ουσιαστικά πρόκειται για το TBM2, το οποίο μετά την διάνοιξη του τμήματος μεταξύ των Σταθμών Κατεχάκη -Σύνταγμα, μεταφέρθηκε στο σταθμό Δάφνη, όπου η κεφαλή κοπής κλειστού τύπου του TBM2 απομακρύνθηκε και η εταιρία προχώρησε στη συναρμολόγηση της νέας κεφαλής Ανοικτής Ασπίδας. Τα βαγόνια υποστήριξης του μηχανήματος παραμείναν ίδια με το TBM2 , με αλλαγές-βελτιώσεις ηλεκτρομηχανολογικής φύσεως για την υποστήριξη της νέας κεφαλής.

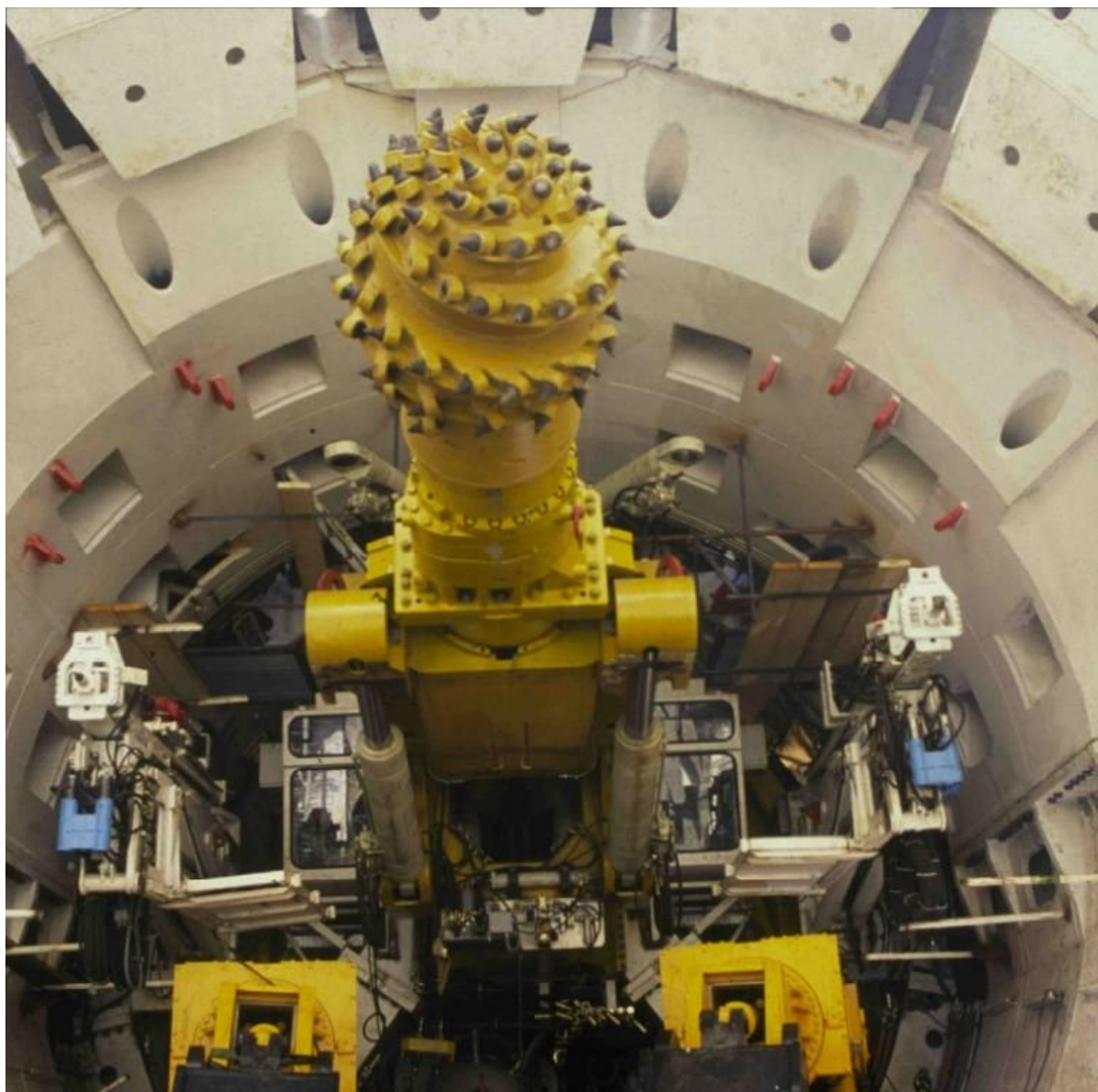
Η ασπίδα αποτελείται από 2 κύρια μέρη:

- ø Πρόσθιο τμήμα διαμέτρου 9,495χιλιοστα και μήκος 7,920 χιλιοστά , που περιλαμβάνει τις πλάκες προπορείας, τον εκσκαφέα Σημειακής Κοπής, δυο καδοφόρους εκσκαφείς, δυο τηλεσκοπικά γεωτρύπανα, έμβολα υποστήριξης του μετώπου εκσκαφής, δυο θαλάμους ελέγχου και μεταφορικό κοχλία υλικών εκσκαφής.
- ø Οπίσθιο τμήμα διαμέτρου 9,460 χιλιοστά και μήκους 3,415 χιλιοστά, που περιλαμβάνει το σύστημα εγκατάστασης των προκατασκευασμένων στοιχείων δακτυλίων, τα σημεία έκχυσης του πρωτογενούς ενέματος, το διάφραγμα μόνωσης τύπου συρματόβουτσας και τον εξοπλισμό άντλησης υδάτων.

Η κινητήρια δύναμη του βασικού εξοπλισμού της OFS είναι ηλεκτροδραυλική και τα χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα:



Ολικό μήκος	12,680 χιλιοστά
Ισχύς	4,000 KW
Παροχή τάσεως	20 KV
Συνολικό βάρος	840 τόνοι



Μηχάνημα Ανοικτού Μετώπου OFS



Το πρόσθιο και το οπίσθιο τμήμα της ανοικτής ασπίδας συνδέονται μεταξύ τους με αρθρωτούς γρύλους διαμέτρου 360 χιλιοστά, με συνολική διαδρομή κυλίνδρων άρθρωσης 500 χιλιοστά, γεγονός το οποίο επιτρέπει να προσανατολισθεί το ένα τμήμα σε σχέση με το άλλο προς κάθε κατεύθυνση του χώρου εκσκαφής της σήραγγας.

Το πρόσθιο τμήμα της ανοικτής ασπίδας είναι εξοπλισμένο με τηλεσκοπικό βραχίονα-εκσκαφέα σημειακής κοπής, ο οποίος περιλαμβάνει 83 δόντια διατεταγμένα σπειροειδώς καθώς και δυο τηλεσκοπικούς κάδους εκσκαφείς. Κατά τη διάρκεια της εκσκαφής, δυο χειριστές μέσω δυο παρόμοιων θαλάμων ελέγχου έχουν από κοινού την ίδια ορατότητα του μετώπου εκσκαφής και χειρίζονται τα μηχανήματα εκσκαφής.

Ο χειριστής του εκσκαφέα σημειακής κοπής μπορεί να δρα ανάλογα με τις συνθήκες εδάφους προκειμένου να εξασφαλίσει τη σταθερότητα του μετώπου και επεμβαίνει στις πλάκες προπορείας, αρχίζοντας από τη στέψη της σήραγγας. Κάθε προωθητική εκσκαφή 1,50μ. Μήκους της σήραγγας για την τοποθέτηση του προκατασκευασμένου δακτυλίου σήραγγας, πραγματοποιείται σε δυο στάδια της τάξης των 750 χιλιοστών. Ο τηλεσκοπικός βραχίονας του εκσκαφέα σημειακής κοπής έχει ικανότητα αξονικής επιμήκυνσης μέχρι 1,700 χιλιοστά. Η μέγιστη διάμετρο εκσκαφής από εκσκαφέα σημειακής κοπής είναι 9,895 χιλιοστά και επιτυγχάνεται μέσω ηλεκτρονικό υπολογιστή. Τα προϊόντα εκσκαφής οδηγούνται στον κύλινδρο τροφοδοσίας του μεταφορικού κοχλία, μέσω των τηλεσκοπικών κάδων του εκσκαφέα, που επιμηκύνονται έως 2,000 χιλιοστά, και οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στις δυο πλευρές του εκσκαφέα σημειακής κοπής.

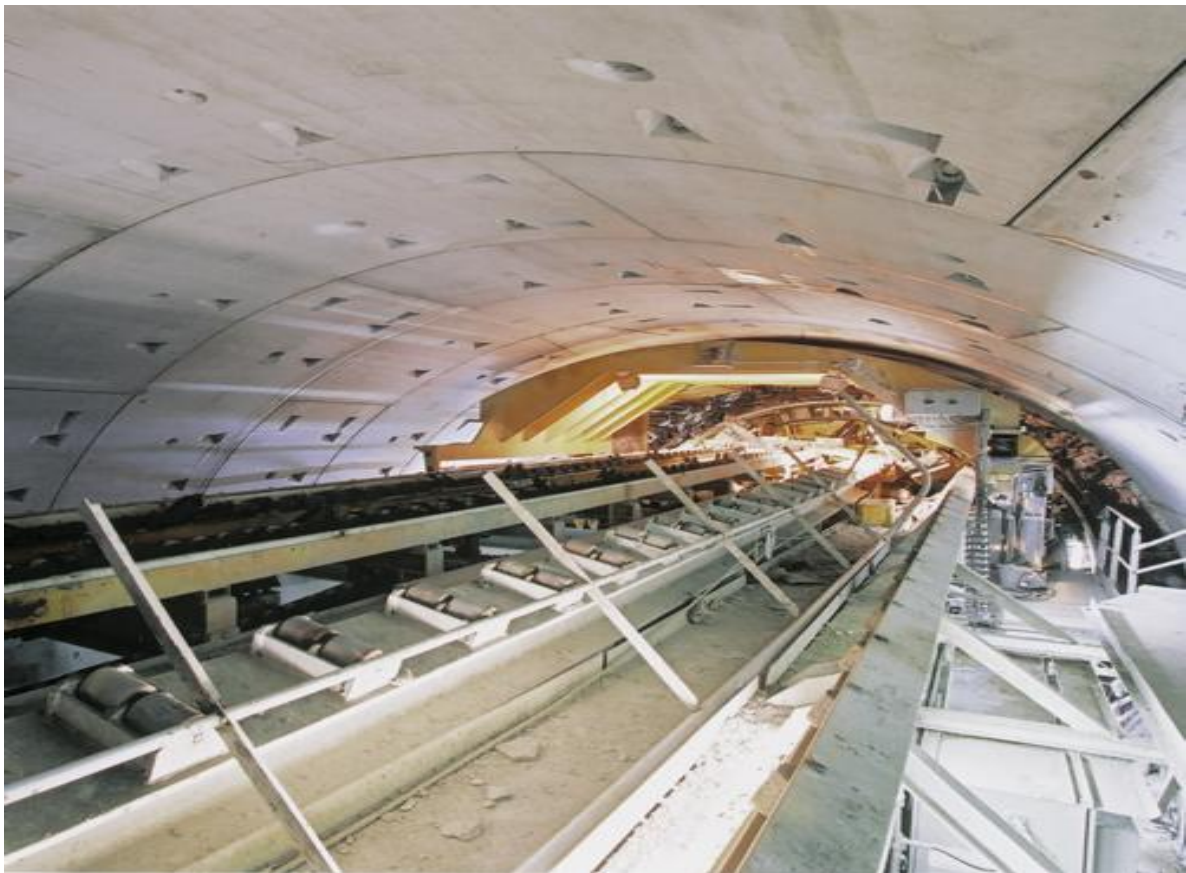


Ο μεταφορικός κοχλίας, ο οποίος είναι στερεωμένος στο πρόσθιο και οπίσθιο τμήμα της ασπίδας, εναποθέτει τα προϊόντα εκσκαφής στην πρώτη μεταφορική ταινία, η οποία βρίσκεται στο επίπεδο του άξονα της σήραγγας.



Τα 28 υδραυλικά έμβολα ώθησης της ασπίδας είναι τοποθετημένα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να υποστηρίζονται τα προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος κατά την εγκατάστασή τους. Συνολική ώθηση 5,600 τόνοι ασκείται από τα 28 έμβολα ώθησης στα προκατασκευασμένα στοιχεία της σήραγγας, προκειμένου να προωθήσει το μηχάνημα.

Στην υποστήριξη της ανοικτής ασπίδας, υπάρχει ο θραυστήρας που είναι τοποθετημένος μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης μεταφορικής ταινίας υλικών εκσκαφής. Το μέγιστο μέγεθος μετά τη θραύση των υλικών εκσκαφής δεν υπερβαίνει τα 200 χιλιοστά. Από την πρώτη μεταφορική ταινία, τα προϊόντα εκσκαφής ρίπτονται στον θραυστήρα, κατόπιν στη δεύτερη μεταφορική ταινία και στην συνέχεια στην τρίτη μεταφορική ταινία, που βρίσκονται στον συρμό υποστήριξης στο πίσω μέρος της ανοικτής ασπίδας.



Στην συνέχεια, η τρίτη μεταφορική ταινία, μήκους 30μ. που κινείται παράλληλα

προς τον άξονα της σήραγγας και γεμίζει κάδους των βαγονιών του συρμού χωρίς να τα κινεί. Οι μεταφορικές ταινίες έχουν μελετηθεί για μεταφορική απόδοση προϊόντων εκσκαφής 950τονοι / ώρα ή 750 κυβικά μέτρα / ώρα.

Ο συρμός με τους άδειους κάδους μεταφέρει τα προϊόντα εκσκαφής μέσω της σήραγγας και τα αδειάζει στο χώρο αποθήκευσης του εργοταξίου.

Το κέντρο ελέγχου βρίσκεται στο πρώτο βαγόνι υποστήριξης, σε απόσταση 27μ.



από το μέτωπο εκσκαφής. Ο χειριστής του OFS ελέγχει το πρόσθιο και οπίσθιο τμήμα της ασπίδας, προκειμένου να παραμείνει ο άξονας εκσκαφής παράλληλος με τον άξονα της σήραγγας μελέτης. Η αποδεκτή ανοχή μεταξύ του άξονα της ολοκληρωμένης σήραγγας των προκατασκευασμένων στοιχείων και του άξονα της σήραγγας μελέτης είναι 80 χιλιοστά.

Το OFS είναι εξοπλισμένο με σύστημα προσανατολισμού και σύστημα CAP αυτόματης επιλογής τύπου δακτυλίου προκατασκευασμένων στοιχείων, για τη σήραγγα Στ. Δάφνη – Στ. Αγ. Ιωάννης, και σύστημα VMT αυτόματης επιλογής τύπου δακτυλίου προκατασκευασμένων στοιχείων, για το τμήμα Ανθούπολη – Ι.Μ Ευαγγελίστρια.

Η τοποθέτηση των προκατασκευασμένων στοιχείων δακτυλίων γίνεται στην οπίσθια ασπίδα, μετά από εκσκαφή 1,50μ.. Η εξωτερική διάμετρο των δακτυλίων είναι 9,180 χιλιοστά, με μήκος 1,500 χιλιοστά και διάμετρο της σήραγγας 8,480 χιλιοστά. Υπάρχουν δυο τύποι κωνικού δακτυλίου επιτρέπει την στροφή της σήραγγας προς αριστερά , δεξιά ,επάνω και κάτω. Κάθε τύπος δακτυλίου βάρους 40,60 τόνοι αποτελείται από 8 τεμάχια προκατασκευασμένων στοιχείων.

Η τοποθέτηση των προκατασκευασμένων στοιχείων ξεκινά από τον πυθμένα της οπίσθιας ασπίδας του OFS και συνεχίζεται εναλλάξ , αριστερά / δεξιά προς τα επάνω, έως την τοποθέτηση της κλείδας. Η τοποθέτηση των στοιχείων γίνεται με την χρήση ειδικού βραχίονα ανέγερσης και με τη βοήθεια του κενού αέρα. Το ελάχιστο παρέμβυσμα, που συγκολλάτε θερμικά στην αντίστοιχη υποδοχή των όψεων του κάθε προκατασκευασμένου στοιχείου, συμπιέζεται μεταξύ των στοιχείων και των δακτυλίων της σήραγγας, εξασφαλίζοντας την υδατοστεγανότητα της μόνιμης σήραγγας.

Τα προκατασκευασμένα στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους με χαλύβδινους κοχλίες υψηλής



αντοχής, διαμέτρου 25 χιλιοστά και μήκους 500 χιλιοστά και με πλαστικές υποδοχές που είναι ενσωματωμένες στα προκατασκευασμένα στοιχεία.

Το προκατασκευασμένο στοιχείο για τον πυθμένα της σήραγγας τοποθετείται μετά από την ολοκλήρωση της εγκατάστασης του δακτυλίου.

Σε συνθήκες χαλαρού εδάφους, η υποστήριξη της στρέψης και του μετώπου εκσκαφής του εδάφους επιτυγχάνεται ενδεικτικά με:

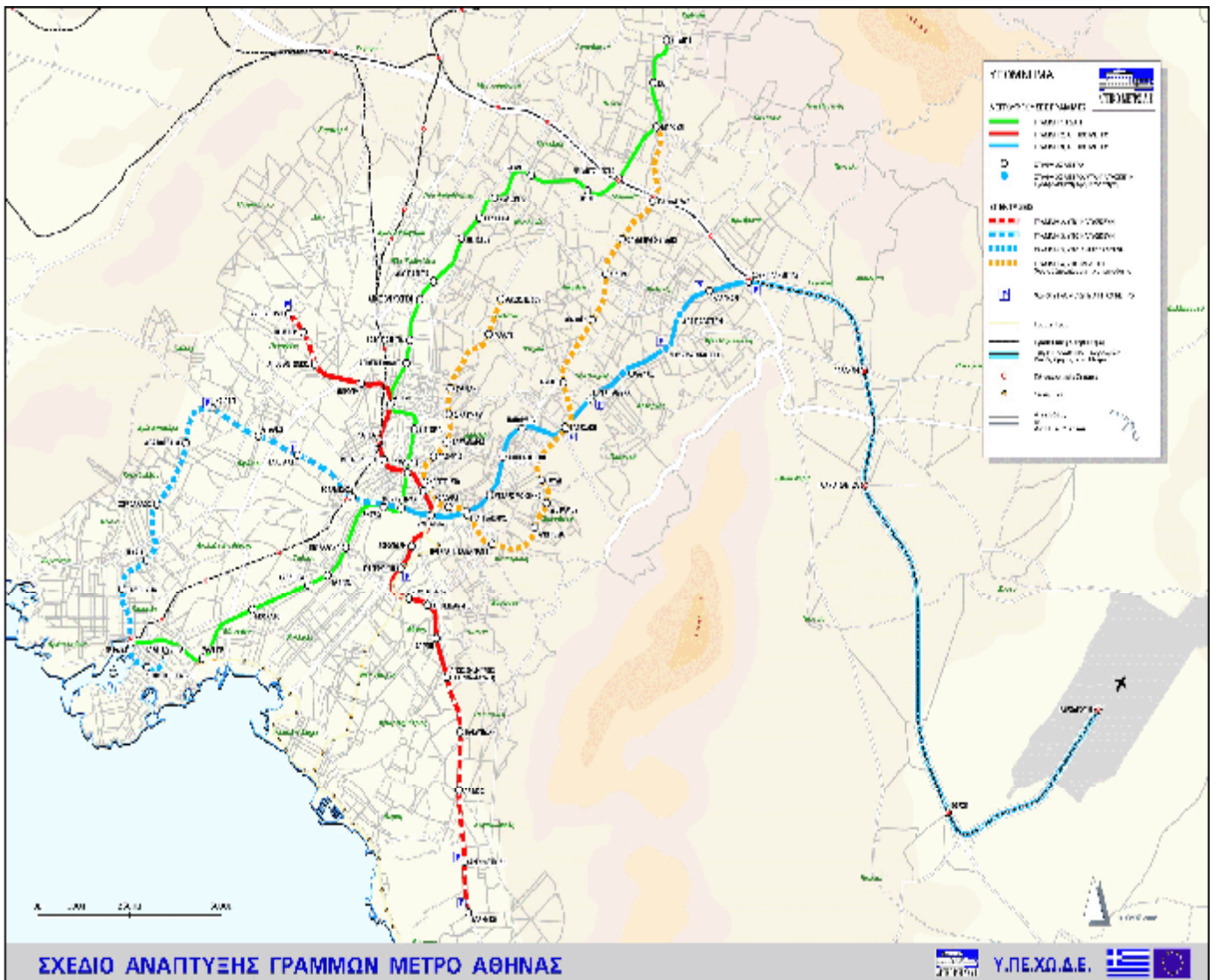
- ∅ Ενεμάτωση του εδάφους μέσω βαλβιδωτών σωλήνων
- ∅ Υαλόκαρφα μήκους 6 μέτρα
- ∅ Δοκούς προπορείας

Σε υγρό έδαφος εκτελούνται οριζόντιες γεωτρήσεις (Διάμετρος=60 χιλιοστά , Μήκος=20 μέτρα) στο μέτωπο, μειώνοντας την ποσότητα και την πίεση του υπάρχοντος ύδατος στις ρωγμές του εδάφους.

## **2.3 Γραμμές του Μετρό Αθήνας**

Στην πρώτη φάση κατασκευής του Μετρό προστέθηκαν να κατασκευαστούν οι 2 γραμμές:

- α) Μοναστηράκι - Σύνταγμα
- β) Ολύμπειο - Πάντειος



## 2.4 Γεωλογικά και υδρολογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών

Η περιοχή των Αθηνών χαρακτηρίζεται από ένα ανάγλυφο κοιλάδας με πολυάριθμους λόφους. Οι συνθήκες εδάφους κατά μήκος των 2 γραμμών του Μετρό περιγράφονται στην ευθεία γεωτεχνική σύνθεση που έγινε κατά την προκαταρκτική μελέτη από την κοινοπραξία SOFRETU-SETE-ADK. Ο κύριος τύπος του εδάφους που θα συναντηθεί κατά την εκτέλεση των εργασιών είναι το βραχώδες υπόστρωμα που αποκαλείται αθηναϊκός Σχιστόλιθος. Οι σχιστόλιθοι

αυτοί είναι τοπικά αργιλώδες και μπορεί να περικλείουν τοπικά ασβεστολιθικά ή ηφαιστειογενή πετρώματα.

Η διαπερατότητα του υποστρώματος είναι χαμηλή και δεν υπάρχει πραγματικός υδροφόρος ορίζοντας. Η εμπειρία βαθέων ορυγμάτων έχει δείξει ότι οι εισροές νερού είναι συνήθως πολύ μικρές, εκτός από μερικά συγκεκριμένα σημεία κοντά σε κοίτες παλαιών ποταμών.

### **Στρωματογραφία**

Οι διάφοροι σχηματισμοί που συναντιούνται στον χώρο των Αθηνών, από τον παλαιότερο έως τον πιο πρόσφατο είναι οι ακόλουθοι:

1) Ο Αθηναίικος σχιστόλιθος που αποτελεί το υπόβαθρο της πόλης , είναι της ανώτερης κρητιδικής περιόδου και περιλαμβάνει 2 ορίζοντες:

α) Τον κατώτερο ορίζοντα που αποτελείται από στρώσεις αργιλλοαμμώδους σχιστόλιθου, του τύπου φλύσχης με παρεμβολή αργιλικού ψαμμίτη, κατακερματισμένου ή καρστικού χρώματος τεφρού έως τεφροπράσινου. Περιέχει πολλές αλλαγές πλευρικών όψεων.

Έτσι, είναι δυνατόν να συναντηθούν ασβεστολιθικές διαστρώσεις , λίγο – πολύ ψαργώδεις και πυριτιδικές διαστρώσεις.

Πρέπει να σημειωθεί ότι έχουν δημιουργηθεί εγχύσεις ηφαιστειογενών πετρωμάτων. Έτσι σε αυτόν τον ορίζοντα μπορούν να συναντηθούν βασικά ηφαιστειογενή πετρώματα τύπου αλβίτη.

β) Του ανώτερου ορίζοντα αποτελούμενο βασικά από ψαμμίτη και ασβεστόλιθο. Στην πραγματικότητα η μετάβαση από τον κατώτερο ορίζοντα είναι προοδευτική . Ο ψαμμίτης κυριαρχεί διαρκώς και περισσότερο. Αποτελείται από στρώσεις μεταβλητού πάχους , υποκίτρινου ασβεστόλιθου, ασβεστολιθικών μάργων και διαστρώσεις νεφρών πυρίτη. Περιλαμβάνει πλακοειδή ασβεστόλιθο.



Όπως και ο κατώτερος ορίζοντας περιλαμβάνει ηφαιστειογενές βασικό πέτρωμα. Το πάχος του ορίζοντα αυτού είναι πολύ μεταβλητό. Στα ανατολικά του χώρου εξαφανίζεται εντελώς.

2) Ο ασβεστόλιθος των Αθηναϊκών λόφων είναι κρυσταλλικός ασβεστόλιθος συμπαγής σε ακανόνιστες στρώσεις μεγάλου πάχους. Μερικές φορές έχει φασματική όψη.

3) Οι νεογενείς διαστρώσεις αποτελείται από μαργαϊκούς ασβεστόλιθους , ψαμμίτες και κροκαλοπαγή.

4) Οι τεταρτογενείς αποθέσεις μπορούν να διακριθούν ως εξής:

α) Στις ζώνες με ομαλό ανάγλυφο , τα αργιλικά και αργιλοαμμώδη υλικά που καλύπτουν το σχιστολιθικό και ψαμμιτικό υπόβαθρο.

β) Στις πιο πρόσφατες αλλουβιανές αποθέσεις που αποτελούνται από χαλαρό, λεπτόκοκκο υλικό στο άκρο δυτικό τμήμα ενώ οι παλαιότερες αποτελούνται από συμπαγή κροκαλοτυποπαγή.

γ) Στους πρόποδες των ασβεστολιθικών λόφων, σε πάχος μικρότερο των 3μ. είναι υλικά χαλαρά, μικρής συνοχής και τοπικά υλικά μέσης συνοχής.

Η Β γραμμή του Μετρό θα βρεθεί στον ορίζοντα του Αθηναϊκού σχιστόλιθου με επικάλυψη τεταρτογενών αποθέσεων , πάχους μικρότερο από 10 μέτρα.

### **Υδρογεωλογία της περιοχής**

Το κλίμα των Αθηνών χαρακτηρίζεται από βροχοπτώσεις συνολικού μέσου ετήσιου ύψους 400 χιλ. Η περίοδος των βρόχων μεταξύ Οκτωβρίου και Μαρτίου με ύψος βροχοπτώσεων άνω των 35 χιλ.

Οι βροχοπτώσεις αυτές, σχετικά μικρού ύψους, συνιστούν μικρή προσαγωγή ύδατος για τις φρεατικές λεκάνες.

### **Αθηναίικος σχιστόλιθος**

Ο κατώτερος ορίζοντας χαρακτηρίζεται από την παρουσία μερικών διαπερατών επιπέδων, με καθορισμένη διεύθυνση σε ένα σχηματισμό λίγο διαπερατό στο σύνολο του. Αποτελείται από εναλλαγή αδιαπέραστου σχιστόλιθου και στρώσεων με περισσότερη περιεκτικότητα άμμου και με μέση διαπερατότητα, συνάρτηση του βαθμού τερματισμού και διογένεσης.

Η παρεμβολή ηφαιστειογενών πετρωμάτων είναι στοιχείο αύξησης της διαπερατότητας του στρώματος. Πάντως, η διαπερατότητα αυτή μειώνεται με το βάθος, επειδή οι ρωγμές που κυριαρχούν στα πετρώματα αυτά έχουν μικρή διαπερατότητα.

Σαν συμπέρασμα, ο κατώτερος ορίζοντας στο σύνολο του είναι λίγο διαπερατός. Η διαπερατότητα είναι μεγαλύτερη κοντά στην επιφάνεια του εδάφους.

Ο ανώτερος ορίζοντας έχει μεγαλύτερη διαπερατότητα, λόγω αύξησης των κλαστικών υλικών και των ανθρακούχων πετρωμάτων.

### **Ασβεστόλιθοι των Αθηναίικων λόφων**

Είναι κατακερματισμοί και καρτικοί. Τοπικά παρατηρούνται μερικές πηγές στην βάση τους.

### **Τεταρτογενείς αποθέσεις**

Οι αλλουβιακές προσχώσεις που προέρχονται από τον Αθηναίικο ασβεστόλιθο είναι πιο διαπερατές από τους σχιστόλιθους, επειδή η κοκκομετρική τους σύνθεση είναι ποιο μεταβλητή.

## **Γεωλογικά δεδομένα της γραμμής Α**

Από το Αιγάλεω 280 μέτρα πριν από τον Άγιο Σάββα υπερκείμενες γαίες σε πάχος γενικά μικρότερο των 3 μέτρων και υπόβαθρο αποτελούμενο από κατακερματισμένο σχιστόλιθο εκτός από ένα τμήμα 600 μέτρα που βρίσκεται αξονικά προς τον σταθμό Αιγάλεω και αποτελείται από μάργα ασβεστολιθική.

280 μέτρα πριν από τον Άγιο Σάββα έως τον Κεραμικό άργιλος με αμμοχάλικο σε πάχος μεγαλύτερο των 15 μέτρων. Πρόκειται για τα φερτά του Κηφισού. Πρέπει να σημειωθεί μια ανύψωση του υπόβαθρου περί την Γεωπονική Σχολή που συναντάται σε βάθος μεταξύ 11 – 18 μέτρων και αποτελείται από σχιστόλιθο.

Από τον Κεραμικό έως 150 μέτρα πριν από το Μοναστηράκι\_ υπερκείμενες γαίες σε πάχος 2 έως 8 μέτρα και υπόβαθρο αποτελούμενο από μάργα ασβεστολιθική.

Σε μήκος 150 μέτρα δυτικά και 100 μέτρα ανατολικά του Μοναστηριακίου υπερκείμενες γαίες σε πάχος 2,5 – 8 μέτρα και υπόβαθρο αποτελούμενο από εναλλαγή σχιστόλιθου και ασβεστόλιθου.

100 μέτρα μετά το Μοναστηράκι έως 250 μέτρα πριν τον Ευαγγελισμό υπερκείμενες γαίες σε πάχος 7 μέτρων και υπόβαθρο αποτελούμενο από σχιστόλιθο.

## **Γεωλογικά δεδομένα της γραμμής Β**

Από το συνεργείο Σεπολίων έως την έξοδο του σταθμού άργιλος με αμμοχάλικο σε πάχος άνω των 15 εκ.

Από την έξοδο του Σταθμού Σεπολίων έως 150 μέτρα πέρα από τον σταθμό Αττικής υπερκείμενες γαίες (κυρίως άμμος και χαλίκι) σε πάχος 4 μέτρα. Το

υπόβαθρο παρουσιάζει πολύ μικρή ποικίλη λιθολογία. Στην αρχή του τμήματος ασβεστόλιθος μέτρια κερματισμένος σε μήκος 150 μέτρα, κατόπιν αργιλικός σχιστόλιθος.

Από 150 μέτρα πέρα από τον Σταθμό Αττικής έως 1250 μέτρα πριν από τον σταθμό Δεληγιάννη οι υπερκείμενες γαίες σε πάχος πολύ μεταβλητό που μπορεί να φτάσει τοπικά τα 7,00 μέτρα. Το υπόβαθρο αποτελείται από το λεγόμενο (3Α).

Από 150 μέτρα προς την Ακαδημία έως 50 μέτρα μετά την Ακαδημία υπερκείμενες γαίες , πάχους των 5 μέτρων και παρεμβολές σχιστόλιθου.

50 μέτρα μετά την Ακαδημία έως 200 μέτρα προ Ολυμπίου υπερκείμενες γαίες πάχους μέχρι 8 μέτρα και υπόβαθρο αποτελούμενο από σχιστόλιθο.

200 μέτρα πριν από Ολύμπιο έως 250 μέτρα προς του Ν. Κόσμου υπερκείμενες γαίες σε πάχος που τοπικά μπορεί να φτάσει τα 8 μέτρα αποτελούμενες κυρίως από άργιλο με αμμοχάλικο.

250 μέτρα από τον Ν. Κόσμο έως 180 μέτρα μετά το Ν. Κόσμο υπερκείμενες γαίες σε πάχος που μπορεί να φτάσει τα 7,5 μέτρα και υπόβαθρο αποτελούμενο από μια εναλλαγή σχιστόλιθου και ασβεστόλιθου.

180 μέτρα μετά το Ν Κόσμο έως τον Αγ. Ιωάννη υπερκείμενες γαίες , σε πάχος μεταβλητό. Στην αρχή του τμήματος σε 350 μέτρα περίπου , το πάχος αυτό περιλαμβάνεται μεταξύ 6 – 14 μέτρα. Πρόκειται για αλλουβιακά του Ιλισού αποτελούμενα στο άνω μέρος από Άργιλο με Αμμοχάλικο και στο κάτω μέρος από χαλίκι και κροκάλες. Στο υπόλοιπο τμήμα το πάχος των υπερκείμενων γαιών , που αποτελούνται κυρίως από άργιλο με αμμοχάλικο περιλαμβάνονται μεταξύ 2 και 7 μ. Το υπόβαθρο αποτελείται από αργιλικό σχιστόλιθο.

Από τον Αγ. Ιωάννη έως την Δάφνη υπερκείμενες γαίες πάχους 2 έως 7 μέτρα και υπόβαθρο αποτελούμενο από σχιστόλιθο .

## **2.5 Μεταφορά υλικών εκσκαφής**

Η φόρτωση του υλικού εκσκαφής και η μεταφορά έξω από την σήραγγα είναι ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα στην διάνοιξη σηράγγων με μηχανικά μέσα. Το πρόβλημα οφείλεται στο γεγονός ότι η διατηρητική μηχανή είναι σύστημα συνεχούς λειτουργίας , δηλαδή θα μπορούσε να εργάζεται συνεχώς χωρίς διακοπή , ενώ τα μεταφορικά μέσα , εξαίρεση τους μεταφορικούς ιμάντες, είναι μηχανήματα μη συνεχούς λειτουργίας. Η αναμονή του μηχανήματος διάτρησης , όταν δεν υπάρχει όχημα για φόρτωση έχει ως αποτέλεσμα την σημαντική μείωση της απόδοσης του, εφόσον χώρος αναμονής για τα οχήματα μεταφοράς πίσω από το μηχάνημα ουσιαστικά δεν υπάρχει, επομένως κατά κανόνα περιμένει το μηχάνημα.

Επίσης, το μεταφορικό σύστημα πρέπει να είναι κατάλληλο για την μεταφορά των διαφόρων δομικών υλικών. Τα κλασικά μεταφορικά συστήματα για την απαγωγή των προϊόντων εκσκαφής εκτός της σήραγγας και την υπηρετήση του μετώπου είναι ο μεταφορικός ελαστικός ιμάντας ελαστιχοφόρα οχήματα, ανατρεπόμενα σιδηροδρομικά οχήματα και σιδηροδρομικά οχήματα με σύστημα αυτοφόρτωσης.

Ο μεταφορικός ιμάντας χρησιμοποιείται μόνο στις στοές μεταλλείων με μικρή διατομή. Τα ελαστιχοφόρα οχήματα αρχίζουν να γίνονται ανταγωνιστικά έναντι των σιδηροδρομικών οχημάτων για διατομή σήραγγας πάνω από 20 m<sup>2</sup>.

## Ελαστιχοφόρα οχήματα

Χρησιμοποιούνται κυρίως σε σήραγγες μεγάλης διατομής. Το πλεονέκτημα τους είναι ότι δεν απαιτείται τη τοποθετείται η τοποθέτηση σιδηροτροχιών. Είναι όμως απαραίτητη η συνεχής συντήρηση του δαπέδου κύλισης με σκυρόδεμα ταχείας ωρίμανσης.

Μειονέκτημα είναι η μικρή σε σχέση με τα άλλα μεταφορικά συστήματα ωριαία μεταφορική απόδοση εφόσον η ταχύτητα κίνησης είναι πολύ μικρότερη αυτής των σιδηροδρομικών οχημάτων.

Ο χρόνος κυκλοφορίας του ελαστιχοφόρου οχήματος υπολογίζεται από την σχέση:

$$t_s = 0,006 L \left( \frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2} \right) + t_b + t_e + t_f \quad (\text{min})$$

οπου  $L$ = απλό μήκος μεταφοράς (m)

$V_1$ =ταχύτητα μεταφοράς φορτωμένα (km/h)

$V_2$ =ταχύτητα μεταφοράς άδεια (km/h)

$t_b$ =χρόνος φόρτωσης (min)

$t_e$ =χρόνος απόρριψης (min)

$t_f$ =σταθερός χρόνος (περίπου 1 min)

Οι ταχύτητες υπολογίζονται από την σχέση :

$$V_1 = \frac{270 \cdot N \cdot n_y}{(B_a + B_0) \cdot (W_r + W_s)} \cdot n_r \quad (\text{km/h})$$

οπου  $N$ =ισχύ κινητήρα (PS)

$n_y$ =μηχανικός βαθμός απόδοσης  
 $B_a$ = απόβαρο οχήματος (Mr)  
 $B_o$ = ωφέλιμο φορτίο (Mr)  
 $W_r$ = αντίσταση κύλισης οχήματος (Kr/Mr)  
 $W_s$ = αντίσταση κλίσης οχήματος (Kr/Mr)  
 $n_r$ =συντελεστής ταχύτητας

### **Σιδηροδρομικά οχήματα**

Η χρησιμοποίηση σιδηροδρομικού υλικού είναι οικονομικότερη των ελαστιχοφόρων οχημάτων για σήραγγες μικρής διατομής μέχρι 20 m<sup>3</sup>. Για μεγαλύτερες διατομές η επιλογή γίνεται με βάση τις γεωλογικές συνθήκες, το μήκος της σήραγγας και την ταχύτητα προώθησης του διατρητικού μηχανήματος. Με τους σιδηροδρομικούς συρμούς αντιμετωπίζεται ικανοποιητικά το πρόβλημα σύνδεσης του συστήματος συνεχούς λειτουργίας του μηχανήματος με το σύστημα μη συνεχούς λειτουργίας των μεταφορικών συρμών.

Το πρόβλημα μεταφοράς αρχίζει με την φόρτωση των σιδηροδρομικών οχημάτων. Η ασφαλέστερη μέθοδος είναι η φόρτωση με ένα μεταφορικό ιμάντα ο οποίος αναρτάται με κύλιση από μια ή δυο τροχιές, οι οποίες είναι στερεωμένες στην οροφή της σήραγγας. Η κεφαλή του ιμάντα φτάνει μέχρι την μηχανή έλξης. Όταν γεμίζει το πρώτο βαγόνι ο συρμός κινείται κατά το μήκος ενός βαγονιού έτσι ώστε διαδοχικά να γεμίσουν όλα τα βαγόνια.

Για να μην σταματήσει το διατρητικό μηχανήμα χρησιμοποιούνται δυο συρμοί που βρίσκονται πάνω σε δυο παράλληλες τροχιές, όπως είναι οι διακλαδώσεις τύπου Καλιφόρνιας.

Στο άκρο απόρριψης του ιμάντα υπάρχει ένας κάθετος ιμάντας διατομής μικρού μήκους ο οποίος με αναστροφή της φοράς κίνησης του απορρίπτει υλικό στον ένα και μετά στον άλλο συρμό. Το σύστημα του αναρτημένου ιμάντα έλκεται από το διατρητικό μηχανήμα.

## 2.6 Μηχάνημα Διάνοιξης Μικρό-σηράγγων (MTBM)

Μία τέταρτη μέθοδος που εφαρμόστηκε στο Μετρό της Αθήνας στα υπόγεια έργα είναι η διάνοιξη μικρό-σηράγγων με τα Micro TBM.

Ο Σταθμός Μοναστηράκι έχει μελετηθεί και κατασκευάζεται με τη χρήση της συμβατικής μεθόδου NATM.

Λόγω των φτωχών εδαφικών συνθηκών, την παρουσία πολλών αρχαίων ευρημάτων σε βάθος μέχρι 6 μ., των αρχαίων πηγαδιών και λαμβάνοντας υπόψη ότι το υπερκείμενο είναι στα 16 μ., εφαρμόστηκε η μέθοδο διάνοιξης μικροσηράγγων για την προϋποστήριξη του θόλου του σταθμού, σχήματος πετάλου, μήκους 100 μ. Το μηχάνημα μικροσηράγγων τύπου Slurry μελετήθηκε και κατασκευάστηκε από την Γερμανική Εταιρεία Herrenknecht GmbH.

Η διάμετρος εκσκαφής του micro-TBM ήταν 1250 χιλ.

Σε κάθε πλευρά του θόλου του σταθμού, τοποθετήθηκαν 22 σειρές χαλύβδινων δακτυλίων, διαμέτρου 1.193 χιλ., και συνολικού μήκους 2002 μέτρων

Τα δύο micro-TBM που χρησιμοποιήθηκαν για την προϋποστήριξη του σταθμού, μπήκαν σε λειτουργία στις 18 Οκτωβρίου 1996.

Ο τυπικός κύκλος εργασιών που απαιτήθηκε για την τοποθέτηση ενός χαλύβδινου σωλήνα μήκους 5 μέτρων ήταν περίπου 3 ώρες.

Τα σημαντικά προβλήματα κατά την κατασκευή ήταν οι καθιζήσεις που σταθεροποιήθηκαν στο μέγιστο των 65 χιλ. στην επιφάνεια της οδού, με ρυθμό 1,5 χιλ. ανά ημέρα κατά τη διάνοιξη της μικρό-σήραγγας.

Δύο πιλοτικές σήραγγες (3 μ. διάμετρο) κατασκευάστηκαν στην κορυφή του πετάλου με τη χρήση της συμβατικής μεθόδου καθώς και δύο στοές αφίξεως σε κάθε μία πλευρά του σταθμού για να δώσουν πρόσβαση στην κεφαλή εκσκαφής του micro-TBM. Στην κορυφή του πετάλου συναντήθηκαν 14 αρχαία πηγάδια κατά την εκσκαφή. Τα πηγάδια αυτά πληρώθηκαν με σκυρόδεμα από τις στοές και από την επιφάνεια.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### **3.1 Αστοχία υλικών - εδαφικά προβλήματα – καθιζήσεις**

#### **Προβλήματα κατά την διάνοιξη**

- A) Στα στόμια : Αστάθεια (ρωγμές στο εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα , σημαντικές μετακινήσεις)
- B) Στο μέτωπο εκσκαφής: Αστοχία , εκτεταμένη εισροή υδάτων , αστάθεια της οροφής κατά την προώθηση του μετώπου.
- Γ) Πίσω από το μέτωπο εκσκαφής: μεγάλες και χρονικά εξελισσόμενες συγκλίσεις του τοιχώματος (βύθιση οροφής , σύγκλιση παρειών , ανύψωση πυθμένα).

Βύθιση των βάσεων του εκσκαφής , εμφάνιση ρωγμών στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα , μεγάλες και χρονικά εξελισσόμενες υποχωρήσεις της επιφάνειας του εδάφους.



Αστοχία υπό κατασκευή σήραγγας του Μέτρο στην Οδό Πλακεντίας



Αστοχία υπό κατασκευή σήραγγας Μέτρο στην Πλατεία Καραϊσκάκη

## Καθιζήσεις

Καθίζηση είναι η υποχώρηση ή παραμόρφωση του εδάφους, που προκαλείται από το βάρος ενός τεχνικού έργου, που βρίσκεται πάνω σε αυτό. Είναι δηλαδή η συμπίεση του εδάφους, όταν το υπερκείμενο έργο υπερβεί την αντοχή του.

Είδη των καθιζήσεων: α)γενικές – ολικές καθιζήσεις, β) διαφορικές καθιζήσεις. Γενικές καθιζήσεις είναι εκείνες στις οποίες το έδαφος υποχωρεί ομοιόμορφα και <<συμπαρασύρει>> το υπερκείμενο έργο. Οι ρωγμές που δημιουργούνται είναι συνήθως λίγες και αδύνατες.

Στις διαφορικές καθιζήσεις το έδαφος υποχωρεί, ανομοιόμορφα με αποτέλεσμα να δημιουργούνται συνήθως πολλές και μεγάλες ρωγμές με διαφορετική κλίση και κατεύθυνση.



Τα μέτρα μείωσης των καθιζήσεων είναι τα εξής:

- 1) Η ορθολογική επιλογή της τεχνικής διάνοιξης και της μηχανής.
- 2) Η εφαρμογή συνολικού συστήματος διασφάλισης ποιότητας, μέσα από το οποίο θα διασφαλίζεται και η ορθή λειτουργία και προώθηση της μηχανής.
- 3) Στην περίπτωση υπάρξεως μαλακού εδαφικού υλικού με παρουσία νερού, η μηχανή θα πρέπει να μπορεί να λειτουργεί εφαρμόζοντας πίεση υποστήριξης στο μέτωπο και στην περίμετρο της εκσκαφής. Η λύση του υποβιβασμού της στάθμης του υπόγειου ορίζοντα με άντληση

- απαγορεύεται, έκτος και αν κατάλληλη ανάλυση επικινδυνότητας αποδείξει ότι η πιθανότητα εμφάνισης μη αποδεκτών καθιζήσεων είναι επαρκώς μικρή.
- 4) Η βελτίωση από πριν του εδαφικού υλικού μπροστά από την κοπτική κεφαλή.
  - 5) Η μέτρηση και ο έλεγχος του εκσκαπόμενου υλικού. Η μηχανή θα είναι εφοδιασμένη με διάταξη μέτρησης του όγκου του εκσκαπόμενου υλικού.
  - 6) Η ρύθμιση της ταχύτητας εκσκαφής σε συνδυασμό με την εφαρμογή των μέσω προσωρινής και μόνιμης επένδυσης της σήραγγας.
  - 7) Η επιλογή, η συνεχής παρακολούθηση και η ρύθμιση της πίεσης υποστήριξης που η μηχανή εφαρμόζει στο μέτωπο και στην περίμετρο της εκσκαφής.
  - 8) Το σύστημα τροφοδοσίας του μετώπου με αιώρημα θα σχεδιάζεται έτσι να μπορεί να αντιμετωπίσει απώλειες μέχρι κάποιο μέγεθος που προκύπτει από την ανάλυση επικινδυνότητας.
  - 9) Η πίεση στον θάλαμο της κοπτικής κεφαλής θα διατηρείται σε κατάλληλο επίπεδο σε όλες τις κατασκευαστικές και λειτουργικές φάσεις.
  - 10) Εφόσον απαιτείται η είσοδος στον θάλαμο της κοπτικής κεφαλής μηχανής αιωρημάτων , ο θάλαμος θα εκκενώνεται από το αιώρημα με παράλληλη πίεσης αέρα. Αν η λάσπη ξηραίνεται και υπάρχει κίνδυνος αστοχίας του και διαφυγής του αέρα , τότε είτε θα σφραγίζεται τα μέτωπα με πρόσθετα μέτρα είτε κατά διάστημα θα προστίθεται αιώρημα για την επαναδημιουργία του πλακούντα.
  - 11) Η υπερκοπή που πραγματοποιείται κατά την προώθηση της μηχανής θα διατηρείται όσο το δυνατόν μικρότερη.

## **Αντιστήριξη**

Σκοπός των συστημάτων άμεσης αντιστήριξης είναι η μετατροπή του σχηματιζόμενου κενού χώρου σε ένα ισχυρό κέλυφος , το οποίο να είναι σε θέση να παραλάβει τα υπερκείμενα φορτία του διαταραγμένου πετρώματος, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ευστάθεια του έργου και η ασφάλεια του προσωπικού. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν διάφορα συστήματα "ραφής" του πετρώματος , με κύρια στοιχεία τα αγκύρια και το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε συνδυασμό στην συνέχεια εφόσον απαιτείται με την τοποθέτηση μεταλλικών πλαισίων ή δακτυλίων από χάλυβα ή οπλισμένο σκυρόδεμα.

Με τα αγκύρια συρρέονται τα διαταραγμένα βραχώδη στοιχεία.

Διακρίνονται οι τύποι που περιγράφονται παρακάτω:

Το αγκύριο εκτόνωσης αποτελείται από το στέλεχος του αγκυρίου , του οποίου το κατώτερο άκρο εισάγεται μέσα στην οπή διάτρησης. Το άκρο αυτό φέρει την κεφαλή εκτόνωση με την κοχλίωση του αγκυρίου. Το άλλο άκρο φέρει ένα κοχλία με τετράγωνη κεφαλή για την κοχλίωση του αγκυρίου. Με την περιστροφή του κοχλία και κατά συνέπεια του στελέχους του αγκυρίου εκτόνωση στα τοιχώματα οπής εξασφαλίζει την σταθερή έδραση του αγκυρίου.

## **Αγκύρια σκυροδέματος**

Ο όρος χρησιμοποιείται για σκυρόδεμα που συνίσταται από τσιμέντο, νερό, και λεπτόκκοκα υλικά τα οποία εφαρμόζονται με εκτόξευση. 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. Η αντοχή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη μεταλλικών ινών οι οποίες δρουν ως οπλισμός. Οι πιο αντιπροσωπευτικοί τύποι είναι των εργοστασίων σκυροδέματος είναι plastiment & store Nortors. Και στους τύπους με την βοήθεια διάτρητων ημικέλυφων εισάγεται μέσα στην οπή διάτρησης τσιμεντένεμα υψηλής αντοχής και στην συνέχεια με κρούσεις το χαλύβδινο

στέλεχος. Με την συμπίεση του τσιμεντενέματος μέσα από τις οπές των κελυφών προς τα τοιχώματα της διάτρησης αναπτύσσονται μετά την σκλήρυνση του τσιμεντενέματος σχετικά υψηλές δυνάμεις συνάφειας. Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι το αυξημένο ενεργό μήκος του αγκυρίου , που έχει ιδιαίτερη σημασία στην περίπτωση σαθρού πετρώματος και η προστασία του αγκυρίου από διάβρωση. Το μειονέκτημα είναι η χρονική διάρκεια για την απόκτηση της πλήρους αντοχής του σκυροδέματος



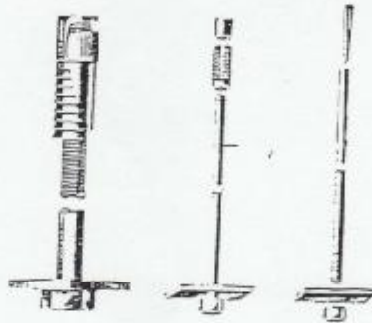




Panepistimio station (7/95)  
(Photo by N. Adams)



## Διάφοροι τύποι αγκυρίων



- Διάφοροι τύποι αγκυρίων εκτόνωσης.
- α) Αγκύριο διπλής σφήνας
  - β) Αγκύριο με διμερή ελατηριωτό λωβό
  - γ) Αγκύριο με σχισμή και σφήνα

## Κατάταξη πετρωμάτων ανάλογα με την μονοαξονική αντοχή σε θλίψη

ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ MPa	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
Μεγαλύτερη από 280	Πολύ υψηλή
180 έως 280	υψηλή
80 έως 180	μέση
40 έως 80	Χαμηλή
Μικρότερη από 40	Πολύ χαμηλή

### Αγκύρια τριβής υδραυλικής εκτόνωσης

Θεωρείται σκόπιμο να δοθεί μια ιδιαίτερη έμφαση στο θέμα της αντιστήριξης σηράγγων με τα αγκύρια τριβής υδραυλικής εκτόνωσης, μια νέα μέθοδος η οποία μειώνει σημαντικά τους μη παραγωγικούς χρόνους π.χ. ωρίμανση σκυροδέματος. Τα αγκύρια αυτά, γνωστά στην αγορά με την ονομασία Swellex, χρησιμεύουν για την άμεση αντιστήριξη της βραχύδους μάζας των τοιχωμάτων της σήραγγας.

Το αγκύριο Swellex αποτελείται από ένα αναδιπλωμένο κατά του διαμήκη άξονα τον κοίλο χαλύβδινο σωλήνα , πάχους 2 mm και σε ειδικές περιπτώσεις 3 mm. με τάπες εισόδου νερού και πέρατος πιεσμένες και κολλημένες στα δυο άκρα. Ο αναδιπλωμένο σωλήνας εισάγεται μέσα στη οπή της διάτρησης και πρεσάρεται με νερό πίεσης 300 bar. Τα τοιχώματα του σωλήνα εκτονώνονται προς τα τοιχώματα της οπής και με την τριβή που αναπτύσσεται δίνουν μια άμεση αντιστήριξη σε όλο το μήκος του αγκυρίου με συνολικό φορτίο 30 MPa.

Χημικά ή τσιμεντενέματα δεν απαιτούνται. Κανονικά μήκη μέχρι 8m και με ειδική παραγγελία μέχρι 12 m. Το πιεσμένο νερό εισάγεται μέσα στο σωλήνα

μέσω ενός ταχυσυνδέσμου υψηλής πίεσης. Αντλείται στο σωλήνα από μια αντλία υψηλής πίεσης υδροστατικής λειτουργίας , την οποία προμηθεύει ο κατασκευαστής του αγκυρίου.

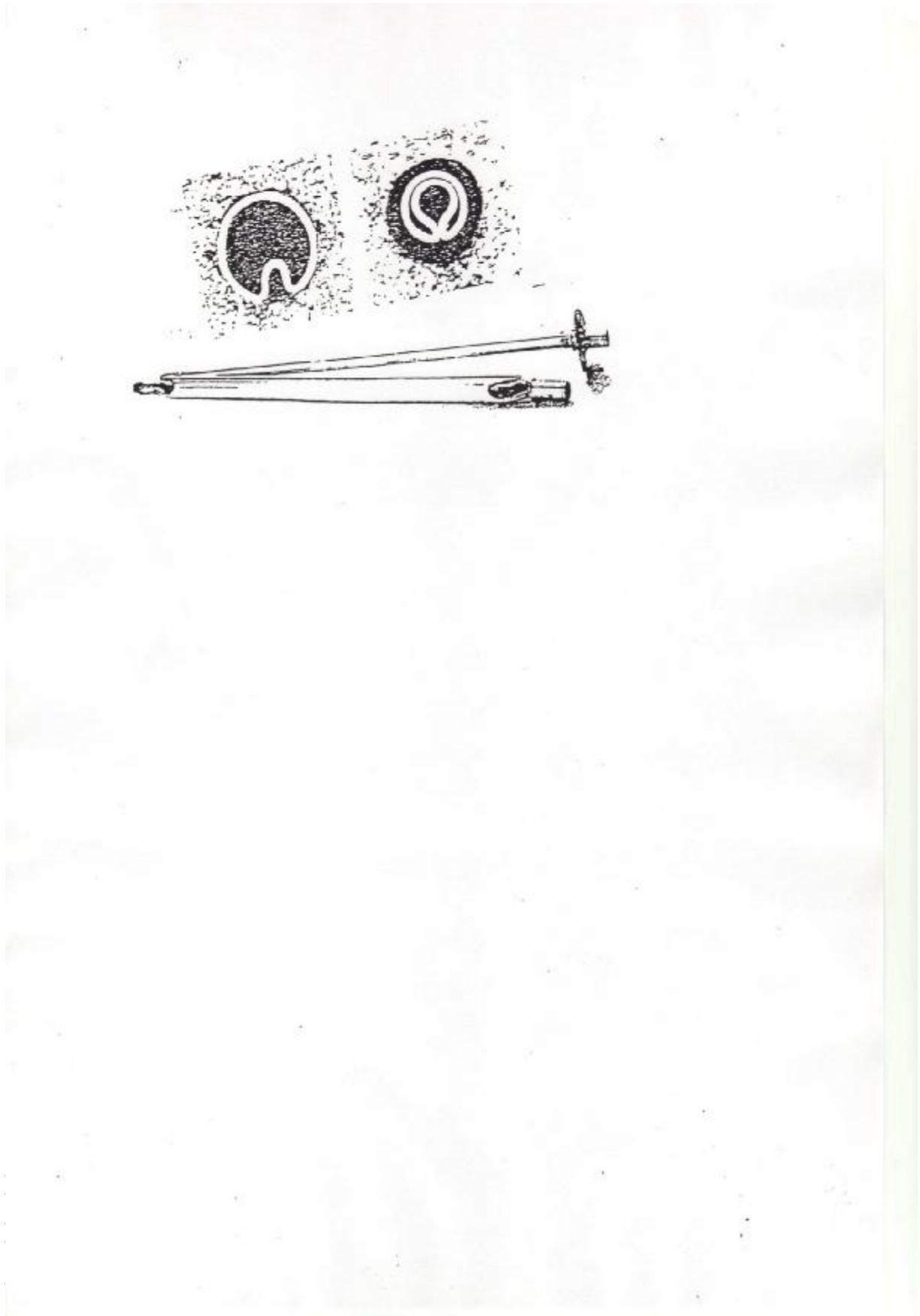
**Τα πλεονεκτήματα είναι τα εξής:**

- 1) Άμεση ετοιμότητα αντιστήριξης.
- 2) Άμεση ανάπτυξη της ολικής φέρουσας ικανότητας του αγκυρίου.
- 3) Υψηλές τιμές αντοχής ως προς την διάμετρο διάτρησης.
- 4) Η ποιότητα εγκατάστασης του αγκυρίου δεν εξαρτάται από την ικανότητα του χειριστή
- 5) Η λειτουργία του αγκυρίου είναι ανεξάρτητη από τις δονήσεις των ανατινάξεων.
- 6) Το αγκύριο προσαρμόζεται στις ανωμαλίες της οπής και εφάπτεται σφικτά σε όλο το μήκος του.

Το συμπέρασμα είναι ότι ο χρόνος που απαιτείται για την αντιστήριξη μειώνεται στο ελάχιστο δυνατό.

Η εργοταξιακή εμπειρία από την εφαρμογή του Swellex χαρακτηρίζεται ως πολύ καλή , ιδιαίτερα για ταχύτητα της εγκατάστασης και την αξιοπιστία της αντιστήριξης. Ο χρόνος εγκατάστασης από εργοταξιακές μετρήσεις είναι της τάξεως 10 – 15 λεπτά για 7 – 8 αγκύρια.

## Αγκύριο υδραυλικής εκτόνωσης Swellex



στην οπή προς τα τοιχώματα της , με αποτέλεσμα της ανάπτυξη μέσω της τριβής ισχυρών δυνάμεων συνάφειας καθ' όλο το μήκος του αγκυρίου.

Παραδίδονται και γαλβανισμένα θερμικά και με επένδυση επομιδικής ρητίνης για προστασία από την διάβρωση.

### **Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στην άμεση υποστήριξη σήραγγων**

Όταν το σκυρόδεμα εφαρμόζεται σε μια βραχώδη επιφάνεια με εκτόξευση , τότε το υλικό υπό την επίδραση της δύναμης εκτόξευσης εισχωρεί μέσα στις ρωγμές και στους ανοικτούς αρμούς του πετρώματος και συμπεριφέρεται όπως η κονία σε μια επιφάνεια τοιχοποιίας. Συγχρόνως , εμποδίζει την ροή νερού από τα τοιχώματα και προστατεύει το υλικό πλήρωσης των αρμών , ιδιαίτερα όταν η εκτόξευση του υλικού γίνει πριν το νερό , το οποίο με την πίεση της βραχώδους μάζας επιτρέπει στη επιφάνεια βράχου.

Η στρώση του εκτοξευμένου σκυροδέματος προστατεύει το πέτρωμα από καταπτώσεις , εισροή νερού στην σήραγγα. Ακόμη και μια λεπτή στρώση εκτοξευμένου σκυροδέματος έχει αυξημένη ικανότητα να αποτρέπει την κατάπτωση του βράχου.

Παχύτερη στρώση εκτοξευμένου σκυροδέματος προκαλεί μια μορφή κελύφους με σημαντική αύξηση της φέρουσας αντοχής. Στρώση πάχους 15 εκατοστά όταν εφαρμοστεί σε σήραγγα διαμέτρου 10 μέτρα να κρατήσει φορτίο 45 τόνους/μέτρο.

Πολλές φορές τονίζεται με έμφαση , ότι η επιτυχία του εκτοξευμένου σκυροδέματος ως μέσου ασφάλισης της σήραγγας εξαρτάται από την ταχύτητα με την οποία αποκτάται η μέγιστη αντοχή. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ψήγματα χημικών επιταχυντών κατά κανόνα υπό μορφή σκόνης , τα οποία προστίθενται στο σκυρόδεμα. Πρέπει να γίνει σαφές ότι τα χημικά επιταχυντικά μειώνουν την τελική αντοχή του σκυροδέματος , πολλές φορές σε απροσδιόριστες τιμές. Δεν είναι σκόπιμο να προστίθενται το επιταχυντικό στο αναμικτήρα, όταν χρησιμοποιείται μηχανικό σύστημα

παραγωγής , λόγω της παρουσίας υγρασίας στα αδρανή υλικά. Για αυτό τον το επιταχυντικό δίνεται στο ακροφύσιο εκτόξευσης, πράγμα όμως που οδηγεί σε λανθασμένη δοσολογία και ανομοιόμορφη διανομή.

Πολύ καλά αποτελέσματα έχουν ρευστοί επιταχυντές με μηχανικό σύστημα πρόσδεσης στο ακροφύσιο. Η διάταξη αυτή δίνει την δυνατότητα εφαρμογής εκτοξευμένου σκυροδέματος σχεδόν ακαριαία σκλήρυνσης.

Το νερό και ο επιταχυντής τροφοδοτούνται στην αντλία με χωρισμούς σωλήνες, αναμιγνύονται και τροφοδοτούνται κατευθείαν στο ακροφύσιο . Η αντλία ρυθμίζεται για να τροφοδοτεί διαλύματα επιταχυντή νερού σε όλες τις αναλογίες μεταξύ 1:20 & 1:1. Για την ευκολία της εκτόξευσης χρησιμοποιούνται ειδικοί πρόβολοι εκτόξευσης , τοποθετημένοι πάνω σε αυτοκινούμενους κιλλίβαντες ή και πάνω στο σώμα του διατρητικού μηχανήματος.

### **3.2 Τεχνικά προβλήματα**

#### **Προβλήματα κατά τη διάνοιξη σηράγγων με χρήση των μηχανημάτων ολομέτωπης κοπής.**

Η σειρά των Αθηναϊκών Σχιστόλιθων, αποτελεί το γεωλογικό υπόβαθρο του λεκανοπεδίου των Αθηνών, που ενισχύεται από έντονη ανισοτροπία και ανομοιόμορφη μηχανική συμπεριφορά των σχηματισμών.

Πρόσθετοι παράγοντες που ελέγχουν την ποιότητα και τη συμπεριφορά των υλικών της βραχώμαζας, είναι η τοπική αποσάθρωση και εξαλλοίωση των σχηματισμών.

Αυτή η ιδιαιτερότητα του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου ήταν που έκανε μερικές φορές το σχηματισμό απρόβλεπτο.

Παρά το γεγονός της προκαταρκτικής μελέτης του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου κατά μήκος των γραμμών του Μετρό της Αθήνας, κατά την διαδικασία της

εκσκαφής των σηράγγων παρουσιάστηκαν κατά τόπους προβλήματα σχετικά με το γεωλογικό υπόβαθρο.

Οι εδαφικές μετακινήσεις γύρω και πάνω από την κοπτική κεφαλή του TBM ήταν ένα από τα κρισιμότερα προβλήματα του έργου. Οι κύριοι λόγοι ήταν οι φτωχές εδαφικές συνθήκες πάνω από το επίπεδο της στέψης του TBM, το μικρό εύρος υπερκείμενων προς την επιφάνεια, η ύπαρξη παλιών περιοχών διέλευσης ύδατος η παρουσία υπονόμων, αρχαίων πηγαδιών και άλλων ανθρωπογενών παραγόντων.

Οι σχηματιζόμενες σπηλιές, σαν άμεσο μέτρο συνήθως υποστηρίζονταν και γεμίζονταν με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, μέσα από την κοπτική κεφαλή του μηχανήματος ή σκυροδετούνταν από την επιφάνεια.

Τα δύο Μηχανήματα ολομέτωπης κοπής διάνοιξης σηράγγων σε σκληρό πέτρωμα που χρησιμοποιήθηκαν στις δύο νέες γραμμές του Μετρό, ήταν σχεδιασμένα από τη Mitsubishi Ιαπωνίας και κατασκευασμένα από τη Neyric Framatome Mechanique (NFM), Γαλλίας.

Η πρώτη εκσκαφή με το TBM 1, Γραμμής 2, άρχισε στις 25 Απριλίου 1994 από το Σταθμό Λαρίσης προς το σταθμό Μεταξουργείο.

Τα προκατασκευασμένα δακτύλια σηράγγων που τοποθετούνται από το TBM έχουν εξωτερική διάμετρο σήραγγας 9.180 χιλ. και εσωτερική διάμετρο 8.480 χιλ.

Κάθε δακτύλιος, βάρους 40,6 τόνων, αποτελείται από 8 προκατασκευασμένα στοιχεία, 5 κανονικά, 2 με υποδοχή και μία σφήνα.

Ο ρυθμός προόδου του μηχανήματος ήταν 10,5 μέτρα ανά εργάσιμη ημέρα.

Η μεγαλύτερη απόδοση που επιτεύχθηκε ήταν στο μεσοδιάστημα από το σταθμό Πανεπιστήμιο προς τον Σταθμό του Συντάγματος, με ρυθμό 28,5 μέτρα και τοποθέτηση 18 δακτυλίων.

Ο τυπικός κύκλος εκσκαφής, προώθησης του TBM κατά 1,5 μέτρο και η τοποθέτηση του προκατασκευασμένου δακτυλίου σήραγγας, απαιτεί 1 ώρα.

Η σήραγγα διέρχεται κατά το μεγαλύτερο τμήμα της χάραξης, κάτω από

κεντρικούς οδούς της πόλης, με ελάχιστο υπερκείμενο που φθάνει μία φορά τη διάμετρο της σήραγγας.

Το μήκος της σήραγγας που κατασκευάστηκε με TBM είναι 9.365 μ.

### **3.2.1 Προβλήματα κατά την διάνοιξη σήραγγας σε διάφορους σταθμούς**

#### **Προβλήματα κατά την διάνοιξη της σήραγγας σταθμού Λαρίσης - Αγίος Ιωάννης, Γραμμής 2.**

Το TBM άρχισε τις εργασίες εκσκαφής από τον σταθμό Λαρίσης στις 25 Απριλίου 1994 και έφθασε στις 21 Δεκεμβρίου 1998 στο σταθμό του Αγίου Ιωάννη.

Παρακάτω αναφέρονται μερικά από τα σημαντικά κατασκευαστικά προβλήματα.

Ο συνολικός αριθμός υπέρ-εκσκαφών που παρουσιάστηκαν γύρω και πάνω από την κοπτική κεφαλή, κατά την προώθηση του TBM, ήταν 412, με διαστάσεις 1x0,5x2 μέτρα περίπου.

Η ποσότητα από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα που εφαρμόστηκε από την κοπτική κεφαλή του μηχανήματος για την προστασία και ενίσχυση του εδάφους ήταν 5.500 μ<sup>3</sup>.

#### **Διάνοιξη Τμήματος Σήραγγας Σταθμός Λαρίσης - Μεταξουργείο**

Οι πρόσφατες αποθέσεις και οι αλουβιακοί σχηματισμοί ακολουθούνται από περιδοτίτη, συχνά αναμεμιγμένο ή σε εναλλαγές με μεταψαμμίτη και ασβεστόλιθο. Η ποιότητα του περιδοτίτη ποικίλλει ευρέως από υγιής βράχος ως έντονα μυλονιτιωμένος ή έντονα αποσαθρωμένος με πολύ φτωχή συμπεριφορά



(προσομοιάζει με έδαφος). Αυτό το φτωχό υλικό επικρατεί κατά μήκος του μεσοδιαστήματος.

### **Σημαντικά προβλήματα και μέτρα που ελήφθησαν**

Το TBM έφθασε στο σταθμό Μεταξουργείο στις 13 Μαΐου 1995 κατασκευάζοντας 526 μέτρα σήραγγας σε διάστημα 383 ημερών.

Το TBM πλημμύρισε δύο φορές στις 31 Μαΐου 1994 και στις 21 Οκτωβρίου 1994, λόγω μεγάλων βροχοπτώσεων, στο Σταθμό Λαρίσης πριν την ολική προώθησή του στη σήραγγα.

Έγινε κατάρρευση τμήματος επιφανείας επί της Οδού Δεληγιάννη στις 6 Μαΐου 1995 λόγω δημιουργίας υπερεκσκαφής ύψους 5μ., όπου καλύφθηκε η τρύπα από την επιφάνεια με 104 μ<sup>3</sup> σκυροδέματος τύπου B160.

Η πρόοδος του TBM ήταν μικρή με ρυθμό 1.8μ, ανά ημερολογιακή ημέρα με πολλές υπέρ-εκσκαφές (σύνολο 103 σπηλαιώσεων), επάνω και εμπρός από την κοπτική κεφαλή λόγω των φτωχών εδαφικών συνθηκών. Εφαρμόσθηκε εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μέσα από την κοπτική κεφαλή του μηχανήματος TBM για την προστασία του εδάφους.

Η μεταβατική περίοδος εκμάθησης του μηχανήματος (Leaning Curve) διήρκησε 4 μήνες περίπου.

Τα μέτρα που ελήφθησαν για τη βελτίωση του εδάφους προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι υπέρ-εκσκαφές (σπηλαιώσεις) κατά την προώθηση του TBM ήταν η εφαρμογή έκχυσης ενέματος, τοποθέτηση μικροπασσάλων και αγκυρίων σε ορισμένα τμήματα της επιφανείας.

### **Διάνοιξη Τμήματος Σήραγγας Σταθμός Μεταξουργείο - Ομόνοια**

Από το Σταθμό Μεταξουργείο μέχρι την πλατεία Καραϊσκάκη, το υλικό ήταν έντονα ως εντελώς αποσαθρωμένος περιδοτίτη.

Το έδαφος για τα πρώτα 147μ. της σήραγγας που διέρχεται από την Πλατεία Καραϊσκάκη συνίσταται σε μικτές συνθήκες με εναλλαγές ισχυρού κρυσταλλικού ασβεστόλιθου που εναλλάσσεται με ασθενείς αργιλικούς σχιστόλιθους με διαφορετική συμπεριφορά κατά την εκσκαφή.

Στα επόμενα 160 μέτρα επικρατεί πτωχός μαύρος αργιλικός σχιστόλιθος (φυλλίτης). Στα υπόλοιπα 314μ. μέχρι την Ομόνοια, το υλικό σταδιακά βελτιώνεται με επικράτηση βραχώδους σερικιτικού σχιστόλιθου και μόνο τοπική παρουσία ζωνών με υλικά πτωχής ποιότητας.

Σημαντικά προβλήματα και μέτρα που ελήφθησαν

Το TBM άρχισε τη διάνοιξη της σήραγγας στις 16 Ιουνίου 1995 από τον σταθμό Μεταξουργείο και έφθασε στην Ομόνοια στις 30 Ιουλίου 1997, κατασκευάζοντας σήραγγα μήκους 621 μ.

Κατά τα πρώτα 3 μ. της πορείας του TBM το έδαφος που συνάντησε ήταν σκληρός βράχος. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε υπερ-εκσκαφή ύψους 7μ., πλάτους 11μ., σε απόσταση προώθησης του TBM 19,5 μ. λόγω των αντίξοων εδαφικών συνθηκών, όπου για την προστασία του Εδάφους εφαρμόστηκε εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μέσα από την κοπτική κεφαλή του μηχανήματος.

Το υπερκείμενο έδαφος ήταν στα 10 μέτρα. Κατά το τέλος αυτής της διαδρομής κατέρρευσε ο υφιστάμενος κυκλοβόρος H1 που βρισκόταν σε βάθος 5 μ. από την επιφάνεια.

Την ίδια ημέρα ακολούθησε πλημμύρα, λόγω βροχοπτώσεων, η οποία προκάλεσε κατάπτωση του οδοστρώματος στην πλατεία Καραϊσκάκη πάνω από το TBM και τη δημιουργία μεγάλου ανοίγματος στην επιφάνεια.

Τα μέτρα που ελήφθησαν ήταν η ενίσχυση του εδάφους, εφαρμόζοντας ένεμα υπό πίεση, τοποθέτηση μικροπασσάλων και αγκύρια από την επιφάνεια

Κατασκευάστηκε όρυγμα ώστε να αποφευχθούν συνεχείς καταρρεύσεις του εδάφους και να επιταχυνθεί η πρόοδος του TBM.

Το όρυγμα είχε πλάτος 24 μ. στην άνω επιφάνεια και 11 μ. πάνω από το TBM και υποστηρίχθηκε με αντηρίδες, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, πλέγμα και αγκύρια

Αποφασίσθηκε η εκκένωση καθώς και η κατεδάφιση τριών (3) κτιρίων επί της οδού Αγίου Κωνσταντίνου, δίπλα στην πλατεία Καραϊσκάκη.

Κατασκευάστηκε πιλοτική σήραγγα μήκους 188μ. από την Ομόνοια προς το Μεταξουργείο για την έρευνα και ενίσχυση του εδάφους, μέσω διερευνητικών οπών σκυροδέτησης, της στέψης της σήραγγας.

Αυτή η εργασία εξασφάλισε την προώθηση του TBM στα αντίξοα εδάφη.

Τέλος κατασκευάστηκε προσωρινό φρέαρ πρόσβασης στην πλατεία Καραϊσκάκη για την εκσκαφή της υπόγειας σήραγγας NATM μήκους 42μ. που χρησιμοποιήθηκε για την ολίσθηση και στήριξη της κεφαλής του TBM πριν την επανέναρξη εργασίας εκσκαφής.

### **Διάνοιξη Τμήματος Σήραγγας Σταθμός Ομόνοια - Πανεπιστήμιο**

Σημαντικά προβλήματα και μέτρα που ελήφθησαν

Το TBM άρχισε την διάνοιξη της σήραγγας στις 19 Αυγούστου 1997 και έφθασε στις 25 Οκτωβρίου 1997 στο Σταθμό Πανεπιστήμιο κατασκευάζοντας 524 μέτρα σήραγγας.

Κατά τη διέλευση του TBM στη διασταύρωση της Χαριλάου Τρικούπη και Πανεπιστημίου έγινε υπερ-εκσκαφή με αποτέλεσμα την κατάρρευση μέρους του οδοστρώματος επί της οδού Πανεπιστημίου, του φρεατίου επίσκεψης, μέρους του αγωγού ακαθάρτων (Φ300, μήκος 30 μ.) και μέρους του αγωγού όμβριων (Ωοειδούς διατομής διαστάσεων 1,2 χ 1,9 μέτρα).

Στην έρευνα που ακολούθησε διαπιστώθηκε η φθορά του δαπέδου του αγωγού των ομβρίων καθώς και παράνομες συνδέσεις αγωγών ακαθάρτων των παρακείμενων κτιρίων με τον Παλιό αγωγό ομβρίων καθώς και η διάχυση των λυμάτων στο έδαφος.

Συνεχίστηκε η προώθηση του TBM, παρουσία συνεχών υπερεκσκαφών που είχαν σαν αποτέλεσμα την κατάρρευση του οδοστρώματος (7μΧ7μ) επί της Οδού Πανεπιστημίου, στο σημείο του Περιπτέρου, στις 3 Οκτωβρίου 1997 στις

08: 30 μ.μ.. Έγινε Πλήρωση των κενών της κατάπτωσης από την επιφάνεια, χρησιμοποιώντας 200 μ<sup>3</sup> υλικού πλήρωσης τσιμεντένεμα και 27 μ<sup>3</sup> εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Εφαρμόστηκαν επίσης τσιμεντενέσεις διάχυσης ενέματος (Tube-a-Manchette) από την επιφάνεια για την προστασία και βελτίωση του εδάφους κατά την προώθηση του TBM.

Μετά την ολοκλήρωση κατασκευής της σήραγγας και την άφιξη του TBM στον σταθμό Πανεπιστήμιο έγινε η αντικατάσταση του αγωγού ομβρίων και αποχέτευσης.

### **Διάνοιξη Τμήματος Σήραγγας Σταθμός Σύνταγμα - Ακρόπολη**

Σημαντικά προβλήματα και μέτρα που ελήφθησαν

Το TBM άρχισε τη διάνοιξη της σήραγγας στις 15 Δεκεμβρίου 1997 και έφθασε στις 5 Μαρτίου 1998 στον Σταθμό Ακρόπολη κατασκευάζοντας σήραγγα μήκους 795 μ.

Η διέλευση του TBM ήταν κάτω από κτίρια και την παλαιά πόλη όπου συναντήθηκαν αρχαία πηγάδια και πολλά αρχαιολογικά ευρήματα.

Για την ασφαλή προώθηση και επιτάχυνση του TBM κατασκευάστηκε πιλοτική σήραγγα μήκους 654 μ. από όπου έγινε η βελτίωση του εδάφους στην στέψη της σήραγγας.

Επίσης έγινε ενίσχυση του εδάφους με τσιμεντενέσεις διάχυσης ενέματος (Tube a Manchette), από την επιφάνεια για την προώθηση του TBM.

### **Διάνοιξη Τμήματος Σήραγγας Σταθμός Συγγρού □ Ν. Κόσμος**

Σημαντικά προβλήματα και μέτρα που ελήφθησαν

Το TBM άρχισε τη διάνοιξη της σήραγγας στις 18 Μαΐου 1998 και έφθασε στις

15 Οκτωβρίου 1998 στον Σταθμό του Νέου Κόσμου, κατασκευάζοντας 935 μέτρα σήραγγας.

Κατά την προώθηση του TBM δημιουργήθηκαν εκτεταμένες υπέρ-εκσκαφές λόγω φτωχών εδαφικών συνθηκών, όπου εφαρμόστηκε το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα 477 μ<sup>3</sup> από την κεφαλή κοπής, για την προστασία του εδάφους. Έγινε η διέλευση του Μηχανήματος κάτω από τον ποταμό Ιλισό και τον ανισόπεδο κόμβο της οδού Καλλιρρόης.

Τα μέτρα που ελήφθησαν ήταν η κατασκευή πιλοτικής σήραγγας μήκους 764 μ. για τη βελτίωση του εδάφους από τη στέψη της σήραγγας.

Ενίσχυση επιφανείας με τσιμεντενέσεις διάχυσης ενέματος (Tube-a-Manchette) και διερευνητικές οπές.

### **Τα σημαντικότερα κατασκευαστικά προβλήματα κατά την διάνοιξη της σήραγγας σταθμού Κατεχάκη - Σύνταγμα γραμμής 3**

Η πρώτη εκσκαφή με το TBM 2, Γραμμή 3, άρχισε στις 10 Οκτωβρίου 1994 από το Σταθμό Κατεχάκη και έφθασε στο σταθμό του Συντάγματος κάτω από την οδό Νίκης στις 3 Αυγούστου 1996.

Ο συνολικός αριθμός των υπερεκσκαφών ήταν 38, που παρουσιάστηκαν γύρω και πάνω από την κεφαλή κοπής κατά την προώθηση του TBM με διαστάσεις 1,5 x 0,5 x 3 μέτρα.

Η ποσότητα από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα που εφαρμόστηκε από την κεφαλή κοπής για την ενίσχυση του εδάφους ήταν 2800 μ<sup>3</sup>.

### **Διάνοιξη Τμήματος Σήραγγας Σταθμός Κατεχάκη - Πανόρμου**

Σημαντικά προβλήματα και μέτρα που ελήφθησαν

Το σημαντικότερο πρόβλημα που αντιμετώπισε το TBM σε αυτό το

μεσοδιάστημα ήταν το Αδριάνειο Υδραγωγείο δίπλα στο σταθμό Πανόρμου όπου πριν την άφιξη του Μηχανήματος έγινε η κατασκευή και εκτροπή του Αδριάνειου αγωγού.

### **Διάνοιξη Τμήματος Σήραγγας Σταθμός Ευαγγελισμός - Σύνταγμα**

Σημαντικά προβλήματα και μέτρα που ελήφθησαν

Το TBM άρχισε τη διάνοιξη της σήραγγας στις 24 Φεβρουαρίου 1996 και έφθασε στις 22 Ιουνίου 1996 στο Σταθμό του Συντάγματος, κατασκευάζοντας 858 μέτρα σήραγγας.

Κατά την πορεία του το TBM διασταυρώθηκε με το Αδριάνειο Υδραγωγείο κάτω από την οδό Βασιλίσσης Σοφίας

Στις 16 Απριλίου 1996, μετά τις Διακοπές του Πάσχα σημειώθηκε κατάρρευση της επιφάνειας στον Εθνικό Κήπο.

Οι λόγοι ήταν οι φτωχές εδαφικές συνθήκες, η παρουσία υπογείων υδάτων και αρχαίων πηγαδιών.

Η κοιλότητα είχε διάμετρο 15 μέτρα και βάθος 20 μέτρα. Τα μέτρα που ελήφθησαν ήταν η πλήρωση της κοιλότητας με 318 μ<sup>3</sup> σκυρόδεμα τύπου B160, με 32μ<sup>3</sup> εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και με 1360 μ<sup>3</sup> υλικό επίχωσης

### **Διάνοιξη Τμήματος Σήραγγας □ Σταθμός Σύνταγμα - Νίκης**

Σημαντικά προβλήματα και μέτρα που ελήφθησαν

Το TBM άρχισε τις εργασίες εκσκαφής στις 11 Ιουλίου 1996 και σταμάτησε στις 03 Αυγούστου 1996, κάτω από την οδό Νίκης, διανύοντας 181 μέτρα σήραγγας.

Κατά την πορεία του TBM σχηματίστηκαν 7 υπερεκσκαφές από την παρουσία αρχαίων πηγαδιών άνω όπου οι 4 σχηματίστηκαν κάτω από το υπουργείο Εθνικής Οικονομίας.

Τα αρχαία πηγάδια βρίσκονται σε βάθος 20 μ. και ήταν γεμάτα με νερό. Η κατάρρευση των πηγαδιών δημιούργησε υπερεκσκαφές ύψους μέχρι και 6μ. Το υπερκείμενο ήταν στα 11 μ.

Οι εργασίες σταμάτησαν και έγινε προστασία μετώπου εκσκαφής με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα από την κεφαλή κοπής.

Οι υπερεκσκαφές προκάλεσαν μερική κατάρρευση οδοστρώματος επί της Οδού Νίκης όπου έγινε πλήρωση της κοιλότητας με σκυρόδεμα, από την επιφάνεια.

Εφαρμόστηκαν τσιμεντενέσεις διάχυσης ενέματος (Tube-a-Manchette) επί της Οδού Νίκης

Αποφασίστηκε από την Διοίκηση του έργου για λόγους ασφαλείας το υπόλοιπο κομμάτι της σήραγγας μήκους 1100μ που διέρχεται κάτω από την οδό Ερμού να κατασκευασθεί με τη συμβατική μέθοδο NATM.

Τέλος αποσυναρμολογήθηκε το TBM και απομακρύνθηκε από τη σήραγγα. Η ασπίδα του TBM παραμένει στη σήραγγα όπου και θα καλυφθεί με την τελική στρώση σκυροδέματος.

### **3.2.2 Προβλήματα κατά την διάνοιξη σήραγγας με (OFS)**

#### **Τα σημαντικότερα προβλήματα κατά την διάνοιξη της σήραγγας με το Μηχάνημα σημειακής κοπής ανοικτή ασπίδα (OFS)**

Διάνοιξη Τμήματος Σήραγγας Σταθμός Δάφνη - Άγιος Ιωάννης

Το OFS ξεκίνησε την εκσκαφή του τμήματος σήραγγας Δάφνη-Άγιος Ιωάννης (μήκους 765μ.) στις 02 Σεπτεμβρίου 1998.

Ο μέσος ρυθμός προόδου ήταν 8,5μ. ανά ημέρα. Η μέγιστη πρόοδος που επιτεύχθηκε ήταν 16 μ. σε μία ημέρα.

Η άφιξη του TBM στο σταθμό του Αγίου Ιωάννη, σημειώθηκε στις 25 Μαρτίου 1999.

Το μηχάνημα OFS μελετήθηκε από την Εταιρεία Herrenknecht GmbH για

εκσκαφή σε βραχώδη εδάφη με Μέγιστη Αντοχή Ανεμπόδιστης Θλίψης (UCS) 120 Μρα

Η OFS χρησιμοποιείται για να προσφέρει αρχική υποστήριξη εδάφους κατά τη διάνοιξη σηράγγων σε μαλακά εδάφη, όπως αργιλώδη και ιλυώδη.

### **Γεωλογικές Συνθήκες**

Η γεωλογική σύνθεση του μεσοδιαστήματος Δάφνη □ Αγιος Ιωάννης αποτελείται από πρόσφατες αποθέσεις και αλλουβιακούς σχηματισμούς που έχουν πάχος 2 ως 7μ.

Ο δε σχηματισμός του Αθηναϊκού σχιστόλιθου αποτελείται από Σερικιτικό μεταψαμμίτη, αλλού πλούσιο σε χαλαζία κι αλλού σε σερικήτη. Επίσης βρίσκεται με μαύρο αργιλικό υλικό πλήρωσης στις ασυνέχειες, που υποβαθμίζει την ποιότητα του βράχου. Υπάρχει επίσης Ασβεστιτικός μεταψαμμίτης, τοπικά, που αποτελεί τον ισχυρότερο σχηματισμό. Υπάρχει και παρουσία λεπτοκοκκώδη μεταψαμμίτη ως μεταλλειόλιθο με καλά διαμορφωμένη σχιστότητα, σκούρο γκρίζο ως μαύρο φυλλίτη, με σημαντική περιεκτικότητα αργιλικού υλικού, και πτωχή μηχανική συμπεριφορά

Τοπικά απαντώνται ζώνες διάτμησης με υλικά τύπου breccia ή μυλονιτικά πολύ πτωχής μηχανικής συμπεριφοράς.

Το υπόγειο νερό βρίσκεται πάνω από την σήραγγα και λόγω της μικρής περατότητας η στάθμη του δεν σημείωσε σημαντική πτώση κατά την εκσκαφή.

Οι εισροές στην σήραγγα ήταν τοπικές.

### **Σημαντικά προβλήματα και μέτρα που ελήφθησαν**

Κατά την πορεία του TBM παρουσιάσθηκαν εκτεταμένες καθιζήσεις επιφανείας λόγω των φτωχών εδαφικών συνθηκών που προκάλεσαν ζημιές σε ορισμένα



κτίρια (ρωγμές).

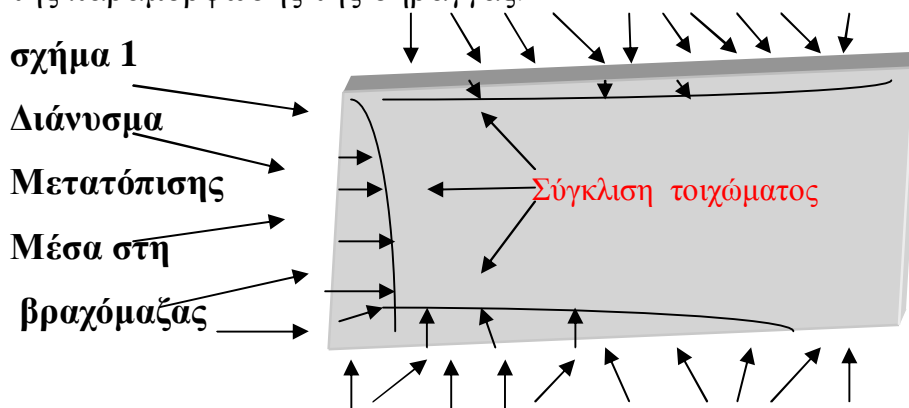
Τα μέτρα που ελήφθησαν ήταν η κατασκευή πιλοτικής σήραγγας μήκους 238 μ. για τη βελτίωση του εδάφους από τη στέψη της σήραγγας από το Σταθμό Άγιος Ιωάννη

Εφαρμόστηκαν τιμμεντενέσεις διάχυσης ενέματος και τένοντες από ίνες υέλου από την πιλοτική σήραγγα.

### 3.3 Καθίζηση στην σήραγγα της γραμμής 3 (Εθνική Άμυνας – Σταυρός)

#### ΣΥΓΚΛΙΣΕΙΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Κατά τη διάνοιξη σήραγγας οι μετατοπίσεις του εδάφους αρχίζουν σε θέσεις αρκετά μπροστά από το μέτωπο εκσκαφής, δηλαδή πριν αυτό φτάσει σε κάποια συγκεκριμένη θέση. Στην Εικόνα 1 φαίνεται η παραμόρφωση της βραχώμαζας κατά την προώθηση μιας κυκλικής σήραγγας μέσα σε υδροστατικό τασικό πεδίο ( $K=1$ ), μέσω μιας τρισδιάστατης ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία. Το σχήμα δείχνει τα διανύσματα μετατόπισης μέσα στη βραχώμαζα καθώς και τη μορφή της παραμόρφωσης της σήραγγας.

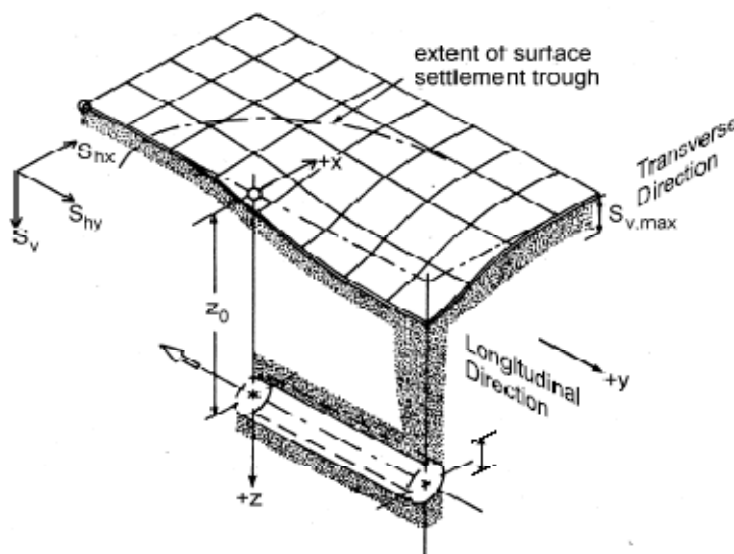


Η παραμόρφωση της βραχώμαζας ξεκινά σε απόσταση περίπου  $1.5d$  μπροστά από το μέτωπο εκσκαφής, όπου  $d$  είναι η διάμετρος της σήραγγας και αποκτά τη μέγιστη τιμή της σε απόσταση περίπου  $(1 \div 1.5)d$  μπροστά από το μέτωπο. Στη θέση του μετώπου το  $1/3$  περίπου της συνολικής σύγκλισης έχει ήδη σημειωθεί



μέτρων προσωρινής υποστήριξης είναι ο περιορισμός της σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας, η αποφυγή κατάρρευσης της οροφής (στην περίπτωση συμπεριφοράς τύπου χαλάρωσης) καθώς και η αποφυγή αποσφηνώσεων βραχωδών τεμαχών.

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. Η τελική επένδυση της σήραγγας σχεδιάζεται για να αναλάβει μέρος (ή το σύνολο) των φορτίων της περιβάλλουσας βραχώμαζας. Η Εικόνα 3 παρουσιάζει την κατανομή των επιφανειακών καθιζήσεων που προκαλούνται από την κατασκευή σήραγγας. Οι όροι που καθορίζουν τη γεωμετρία, την καθίζηση και το σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται καθορίζονται στην εικόνα αυτή.

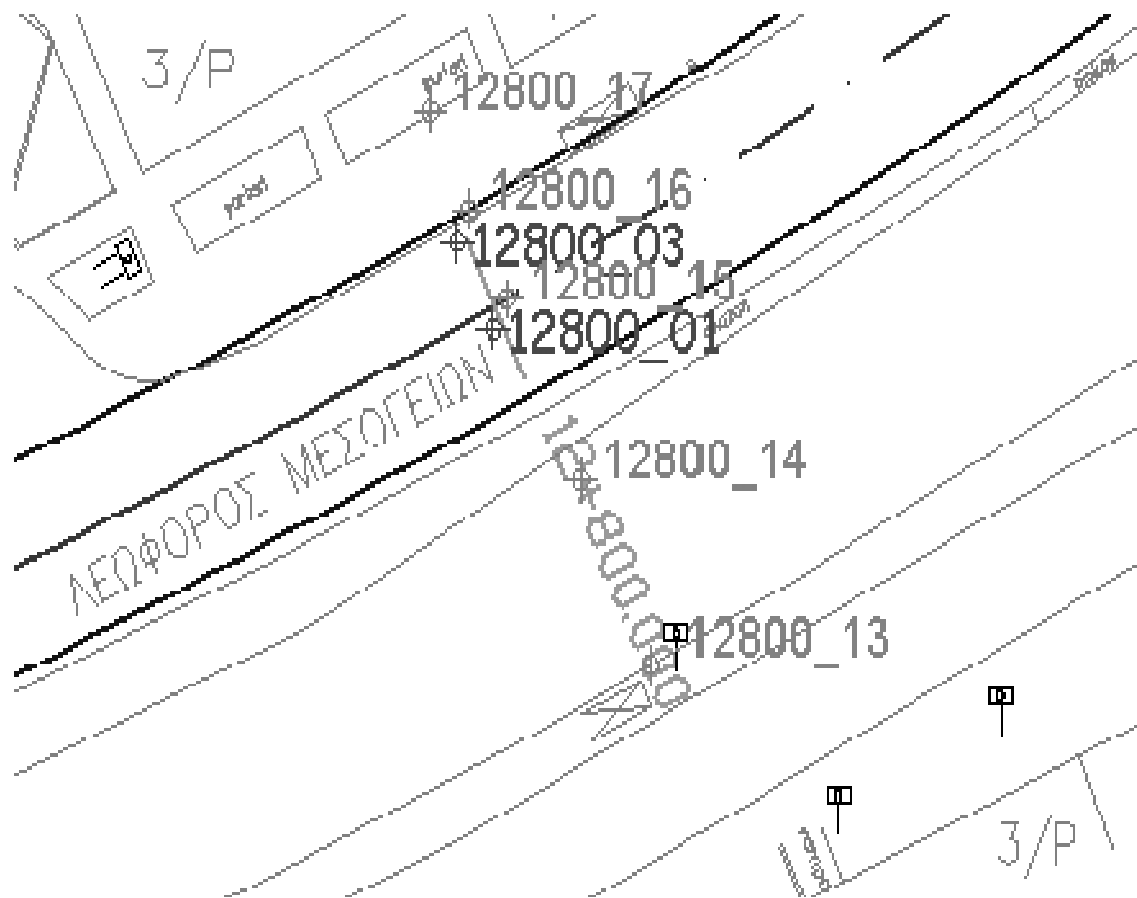


Εικόνα 3. Καμπύλη των καθιζήσεων που προκαλούνται από τη διάνοιξη σήραγγας

## Παρακολούθηση επιφανειακών καθιζήσεων

Για τον προσδιορισμό των επιφανειακών καθιζήσεων πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις προς στόχους οι οποίοι τοποθετήθηκαν στην επιφάνεια του εδάφους, σε παρακείμενα κτίρια ή σε άλλες διαθέσιμες κατασκευές, κάθε 10m ή πιο σπάνια κάθε 50m. Οι μετρήσεις έγιναν με ψηφιακούς χωροβάτες έτσι ώστε να μετρηθούν οι απόλυτες καθιζήσεις των σημείων όπου τοποθετήθηκαν οι στόχοι και να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα από κοινού με άλλα όργανα. Η συνήθης ακρίβεια των μετρήσεων αυτών είναι 1-2mm.

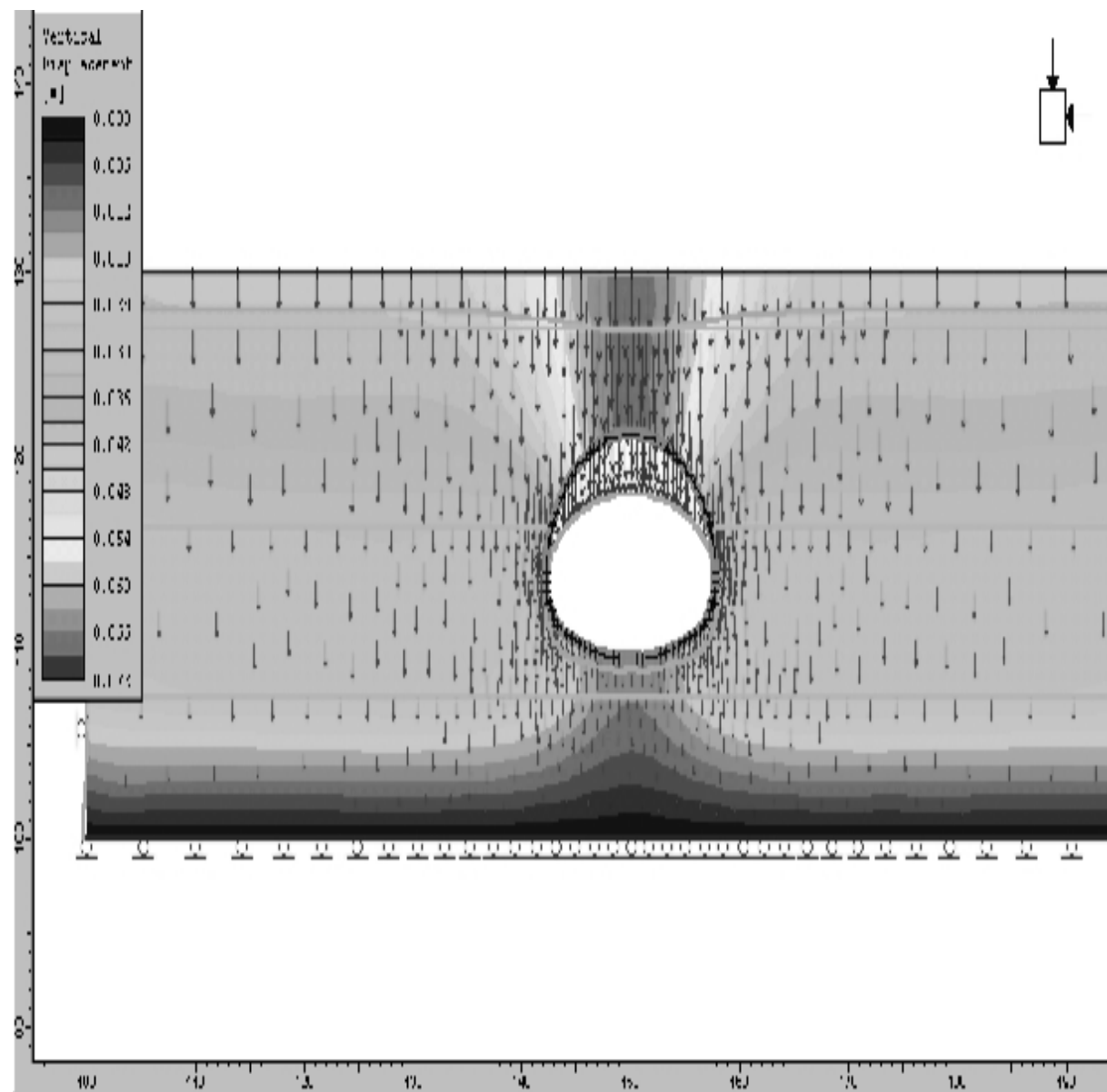
Στην Εικόνα 5 φαίνεται η διάταξη των σημείων που μετρήθηκαν στη Χ.Θ. 12+800 (13, 14, 15, 16 και 17 από τα στοιχεία των μετρήσεων που μας διατέθηκαν από την Αττικό Μετρό Α.Ε.

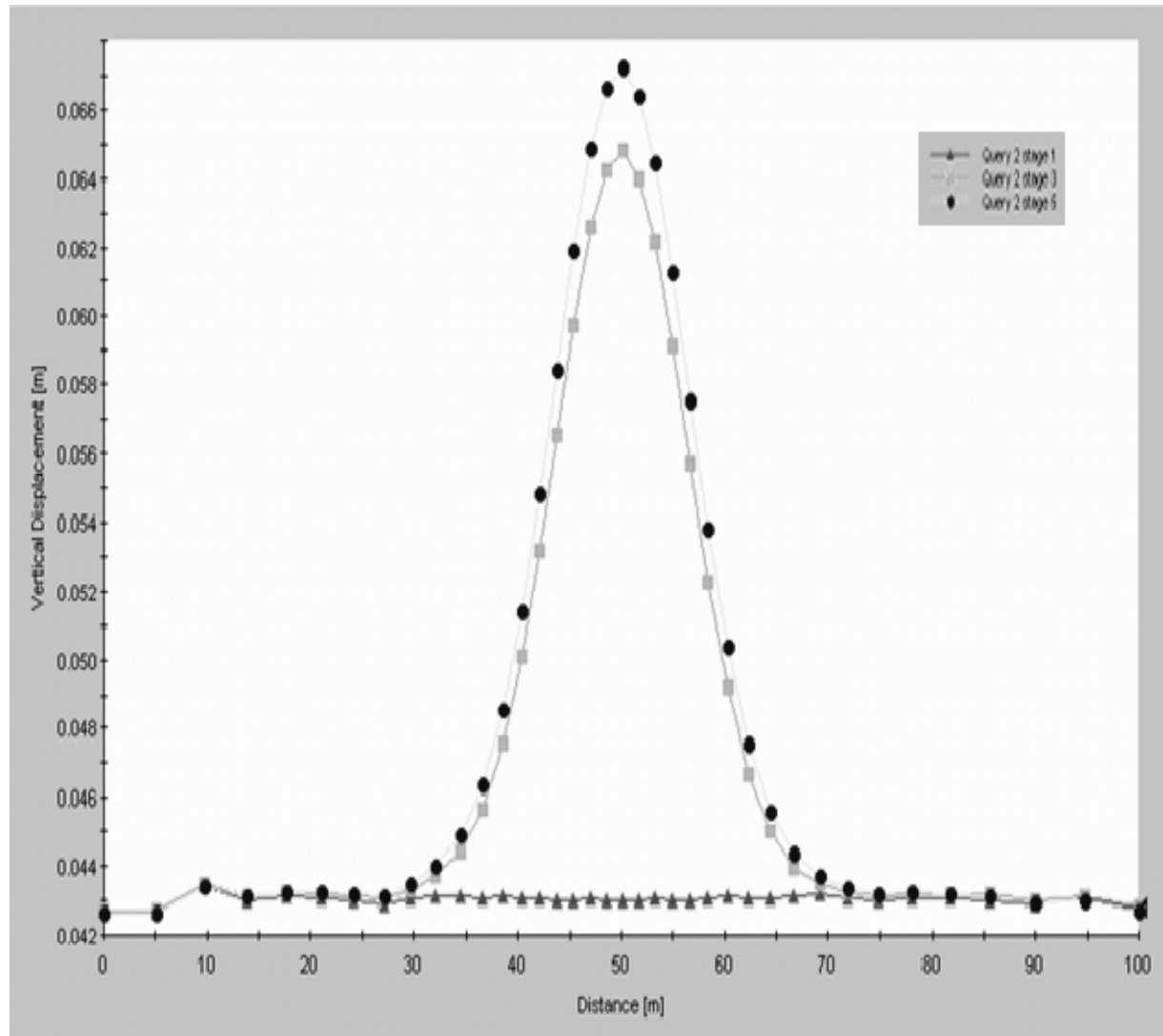


Στο πρώτο στάδιο, παρόλο που δεν πραγματοποιείται καμμία εκσκαφή, εμφανίζεται μία σταθερή επιφανειακή εδαφική καθίζηση που ισούται περίπου με 0.043m και οφείλεται στο ίδιο βάρος των υλικών. Στο τρίτο στάδιο, όπου έχει εκσκαφθεί το πάνω μέρος της σήραγγας και έχει τοποθετηθεί επένδυση, η επιφανειακή καθίζηση αυξάνεται, όπως είναι αναμενόμενο, και αποκτά τιμή 0.064m περίπου. Στο πέμπτο στάδιο, όπου έχει ολοκληρωθεί η εκσκαφή και η τοποθέτηση της επένδυσης της σήραγγας, η καθίζηση φτάνει την τιμή 0.068m περίπου. Επομένως, η επιφανειακή καθίζηση που προκαλείται λόγω της διάνοιξης της σήραγγας έχει τιμή 0.025m περίπου, η οποία ισούται και με τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή. Παρατηρούμε επίσης ότι το διάγραμμα των επιφανειακών καθιζήσεων ακολουθεί την καμπύλη Gauss και εμφανίζει μέγιστη τιμή πάνω από τον άξονα της σήραγγας.

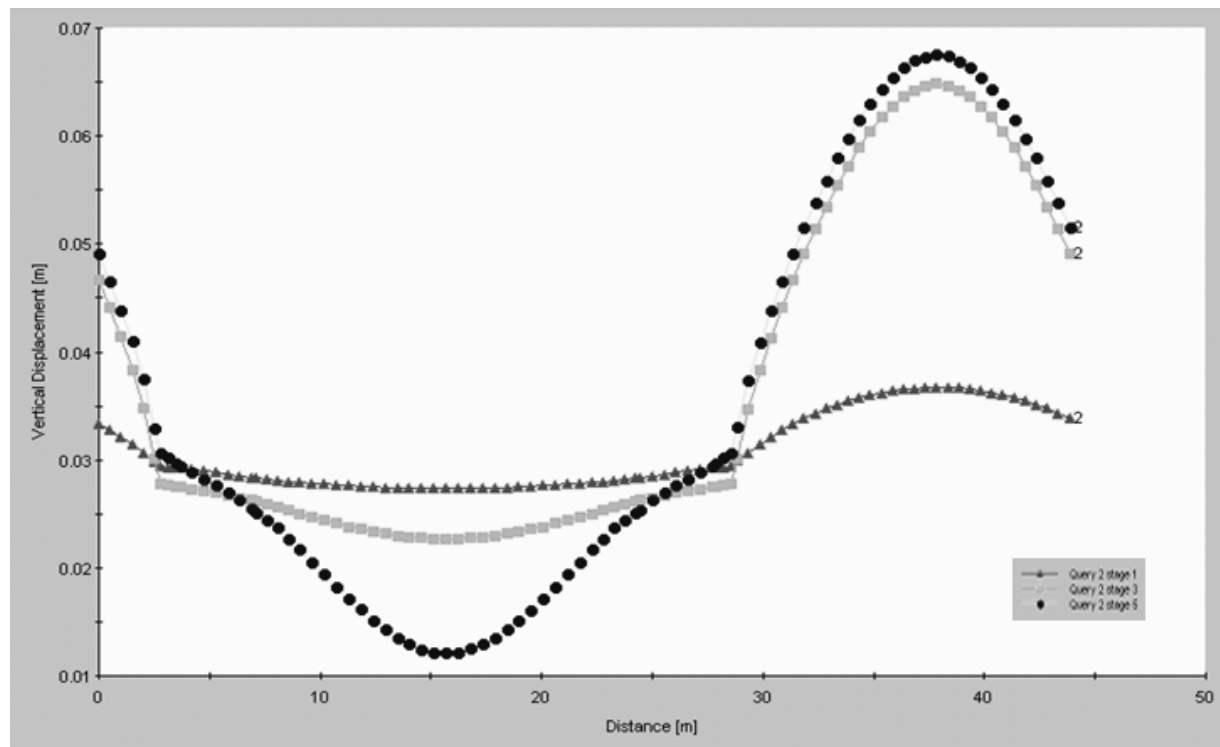
Όπως φαίνεται στην Εικόνα 13, το διάγραμμα των κατακόρυφων μετατοπίσεων στην οροφή της σήραγγας ακολουθεί την καμπύλη του Gauss και η μέγιστη τιμή σύγκλισης εμφανίζεται επάνω στον άξονα της σήραγγας. Επίσης, παρατηρείται ανύψωση του πυθμένα της σήραγγας. Κατά την εκσκαφή και επένδυση του “άνω” μέρους της σήραγγας η μέγιστη καθίζηση της οροφής εμφανίζεται στη στέψη της σήραγγας και είναι της τάξεως των 2.7 cm. Κατά την εκσκαφή και του “κάτω” μέρους της σήραγγας η στέψη υποχωρεί κι άλλο και η επιπλέον αυτή υποχώρηση είναι περίπου 3mm. Όπως φαίνεται, η μέγιστη υποχώρηση στην οροφή σημειώνεται επάνω στον άξονα της σήραγγας, ενώ όσο απομακρυνόμαστε από τον άξονα μικραίνουν οι υποχωρήσεις. Η συνολική μέγιστη καθίζηση στη στέψη της σήραγγας είναι της τάξεως των 3cm και αντιστοιχεί σε σύγκλιση (ακτινική μετατόπιση). Κατά την εκσκαφή και επένδυση του “κάτω” μέρους της σήραγγας η μέγιστη ανύψωση του πυθμένα εμφανίζεται επάνω στον άξονα της σήραγγας και είναι της τάξεως των 11 mm. Κατά την εκσκαφή και του “κάτω” μέρους της σήραγγας ο πυθμένας

ανυψώνεται κι άλλο, περίπου κατά 5mm. Είναι φανερό πως όσο απομακρυνόμαστε από τον άξονα η ανύψωση του πυθμένα μικραίνει.





Έικονα 12: Διάγραμμα επιφανειακών καθιζήσεων (κάθετη καθίζηση – απόσταση)



Εικόνα 13: Διάγραμμα κατακόρυφων μετατοπίσεων τοιχώματος σήραγγας



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### **4.1 Ανασκαφές και αρχαία ευρήματα σε διάφορους σταθμούς**

Οι πλέον σημαντικές αρχαιολογικές ανασκαφές κατά την πρώτη φάση κατασκευής του έργου έγιναν σε τέσσερις σταθμούς του Ιστορικού Κέντρου:

Σύνταγμα, Κεραμεικός, Μοναστηράκι και Ακρόπολη. Συνολικά διενεργήθηκαν περισσότερες από είκοσι αρχαιολογικές ανασκαφές σε σταθμούς και φρεάτια εξαερισμού. Το βάθος των αρχαιογικών στρωμάτων κυμαίνονται από 0,5 έως 7,0 μέτρα, αλλά μερικές υδραυλικές κατασκευές, πηγάδια, αγωγοί, δεξαμενές και υδραγωγεία αποκαλύφθηκαν σε μεγάλα βάθη. Οι αρχαιότητες καταγράφηκαν λεπτομερώς και αποτυπώθηκαν με σύγχρονες τεχνικές μεθόδους υπό την επιστημονική εποπτεία των αρμόδιων υπηρεσιών του Υπουργείου Πολιτισμού.

Συγκεκριμένα στους τέσσερις σταθμούς του ιστορικού κέντρου ήλθαν στο φως, πολύ συνοπτικά, τα ακόλουθα αρχαιολογικά εύρηματα:

Στο σταθμό του Συντάγματος αποκαλύφθηκαν χυτήρια χάλκευσης αγαλμάτων κλασικής εποχής, νεκροταφείο που χρονολογείται από τους υπομυκηναϊκούς έως και τους βυζαντινούς χρόνους, λουτρικό συγκρότημα ρωμαϊκών χρόνων, τμήμα του πεισιστράτειου υδραγωγείου, η κοίτη του Ηριδάτου ποταμού καθώς και ο αρχαίος δρόμος που από τις πύλες του τείχους οδήγησε στους δήμους της Μεσογαίας.

Πλησίον του σταθμού Κεραμεικός ανασκάφηκε τμήμα του σπουδαιότερου νεκροταφείου της αρχαίας Αθήνας. Ερευνήθηκαν 1200 τάφοι χρονολογούμενες από τις αρχές του 7ου αιώνα πχ έως τα ρωμαϊκά χρόνια. Σημαντικό εύρημα αποτελούν οι δυο ομόδικες ταφές που χρονολογούνται στις αρχές του

πελοποννησιακού πολέμου. Βρέθηκε επίσης ο δυτικός περίβολος του νεκροταφείου, κατάλοιπα κεραμικού εργαστηρίου και η κοίτη του Ηριδανού ποταμού.

Από τα σημαντικά εύρηματα του σταθμού Μοναστηρακίου είναι η εγκιβωτισμένη κοίτη του ηριδάνου ποταμού. Αποδείχθηκε η συνεχής χρήση του χώρου από Μυκηναϊκή περίοδο έως τα νεώτερα χρόνια. Βρέθηκαν κτίρια, εργαστήρια, τάφοι και πλήθος συστημάτων ύδρευσης και αποχέτευσης.



Η ανασκαφική έρευνα στο σταθμό Ακρόπολη σε έκταση 2500τ.μ, απέδειξε την χρήση του χώρου από τα τέλη της 3ης χιλιετίας π.χ. Μέχρι τα βυζαντινά χρόνια . Επίσης, ανακαλύφθηκαν λίγοι τάφοι της μεσοελλαδικής και υστεροελλαδικής εποχής, οικίες, εργαστήρια, δρόμοι και λουτρά. Έκτος από τους τέσσερις σταθμούς του ιστορικού κέντρου, σημαντικά εύρηματα αποκαλύφθηκαν και σε άλλες θέσεις:

- ∅ Στο σταθμό Ευαγγελισμού. Αρχαίο νεκροταφείο με ταφικό περίβολο, αγωγός και δρόμος.



- ∅ Στο σταθμό Πανεπιστημίου. Αρχαίο νεκροταφείο.



Σημαντικές αρχαιότητες βρέθηκαν και στα φρεάτια εξαερισμού:

- ∅ Στο φρεάτιο <<Ηρώδου Αττικού>>. Ρωμαϊκή οικία, νεκροταφείο και υδραυλικά συστήματα.



- ∅ Στο φρεάτιο <<Αμαλίας>>. Σημαντικό ρωμαϊκό λουτρό.
- ∅ Στο φρεάτιο <<Μητροπόλεως>>. Σημαντικά κτίρια κατάλοιπα
- ∅ Στο φρεάτιο <<Πέτμεζα>>. Νεκροταφείο που χρονολογείται από κλασικούς έως βυζαντινούς χρόνους καθώς και υπόστυλη αίθουσα.
- ∅ Στο φρεάτιο <<Φωκίωνος>>. Κτίριο ρωμαϊκών χρόνων και βυζαντινοί αποθηκευτικοί σιροί.
- ∅ Στο φρεάτιο <<θησείο>>. Κτίριο υστεροκλασικών χρόνων και εργαστήρια.
- ∅ Στο φρεάτιο <<Ερμού – Αρίωνος>>. Εργαστηριακοί χώροι και υδραυλικά συστήματα.
- ∅ Στο φρεάτιο <<Ίακχου>>. Αρχαίο νεκροταφείο.
- ∅ Στο φρεάτιο <<Ασωμάτων>>. Σημαντικό κτίριο.





Με συνεχή αρχαιολογική παρακολούθηση πραγματοποιήθηκε η διάνοιξη των σηράγγων όπου βρέθηκαν αρκετά πηγάδια με σημαντικά αρχαιολογικά εύρηματα στο εσωτερικό τους καθώς και τμήμα του Αδριανείου υδραγωγείου. Εκτός από τις δεκάδες χιλιάδες αρχαιολογικών αντικειμένων τα οποία φυλάσσονται στις συνθήκες του Υπουργείου Πολιτισμού, σημαντικό και πρωτότυπο έργο απέλεσαν οι αποσπάσεις και επανατοποθετήσει βαρέων κτιριακών και άλλων κατάλοιπων που κρίθηκαν από Υπουργείο Πολιτισμού διατηρητέα και αναδείξιμα πλην των έξι εκθεσιακών χώρων που διαμορφώθηκαν σε ισάριθμους σταθμούς, αρχαία αποσπάστηκαν και επανατοποθέτησαν στο φρεάτιο Πετμεζιάς, στην πλατεία Συντάγματος και στον σταθμό Ευαγγελισμού. Στο φρεάτιο Αμαλίας διατηρήθηκε και αναδείχθηκε λουτρό ρωμαϊκής εποχής , ενώ στο Μοναστηράκι διατηρήθηκε στη θέση που ανακαλύφθηκε η εγκιβωτισμένη κοίτη του αρχαίου Ηριαδάνου ποταμού.

## **4.2 Αρχαιολογικό έργο στο Μετρό Αθήνας**

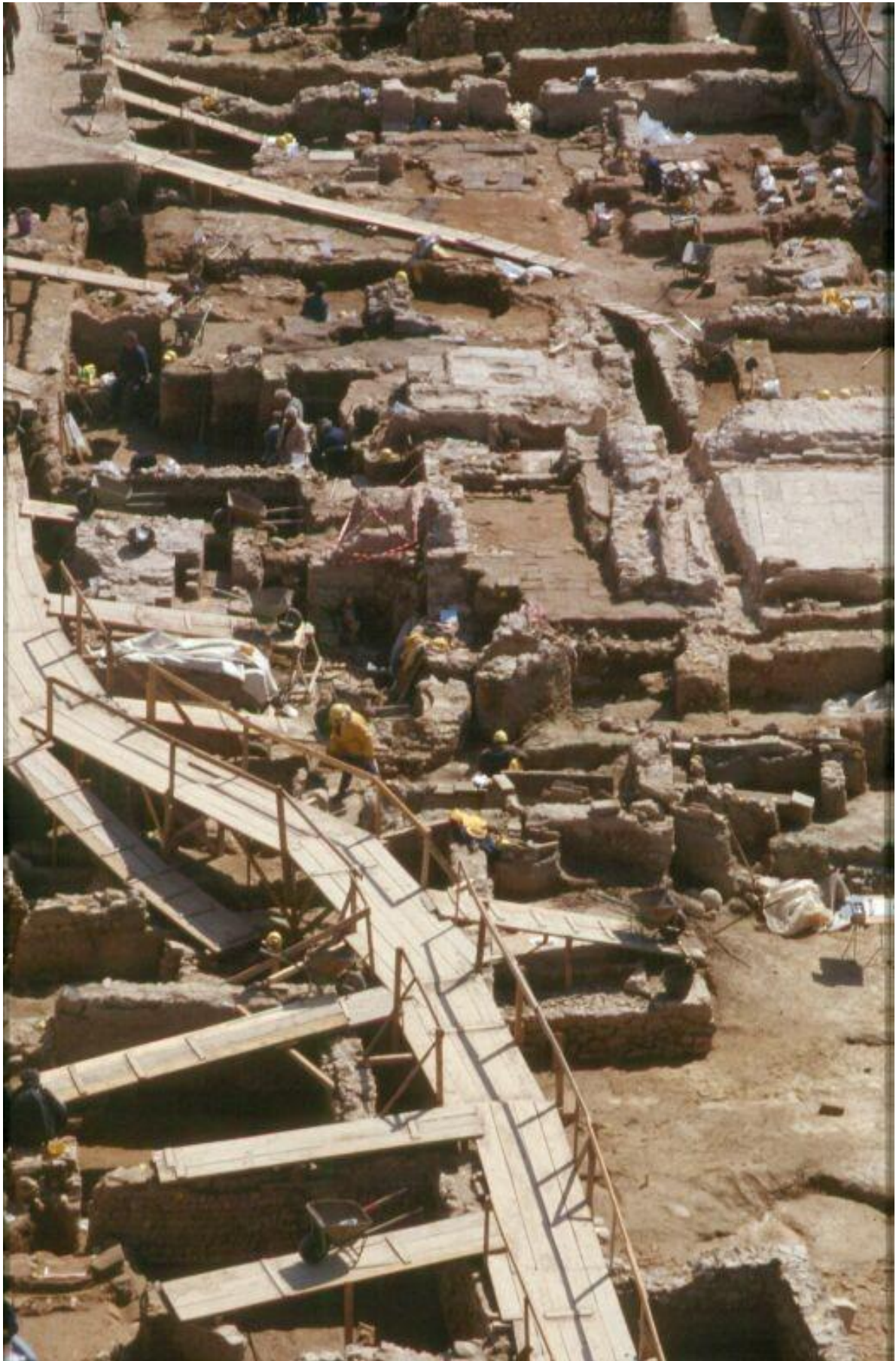
Μια από τις μοναδικές ιδιαιτερότητες του Μετρό Αθήνας είναι ότι η κατασκευή του αποτέλεσε παράλληλα αφορμή για την υλοποίηση ενός σπουδαίου αρχαιολογικού έργου. Συγκεκριμένα, στο πλαίσιο της κατασκευής του Μετρό Αθήνας, πραγματοποιήθηκε η μεγαλύτερη αρχαιολογική ανασκαφή στην πρωτεύουσα έκτασης 79,000 τ.μ η οποία έφερε στο φως περισσότερα από 50,000 αρχαιολογικά εύρηματα.

Από την αρχή του σχεδιασμού του έργου, το Υπουργείο Πολιτισμού ενημέρωσε τους μελετητές για τον πλούτο των αρχαιοτήτων του Αθηναϊκού υπεδάφους και για τους περιορισμούς που επέβαλε το χρέος για την προστασία τους. Έτσι , τόσο κατά τον σχεδιασμό όσο και κατά την κατασκευή του έργου έγιναν οι αναγκαίες προβλέψεις και μετατροπές. Οι ανασκαφές, η συντήρηση, η

μεταφορά, έκθεση των αρχαίων ευρημάτων αποτέλεσε συντονισμένη προσπάθεια τριών φορέων: ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε , που είναι ο κύριος του έργου, της κοινοπραξίας ΟΛΥΜΠΙΑΚΟ ΜΕΤΡΟ, που κατασκεύασε το βασικό έργο και του ΥΠΟΥΡΓΕΙΟΥ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ, το οποίο σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία έχει την ευθύνη και επιστασία όλων των αρχαιολογικών δραστηριοτήτων. Οι αρμόδιες αρχαιολογικές υπηρεσίες του Υπουργείου Πολιτισμού επέβλεπαν όλες τις φάσεις του αρχαιολογικού έργου, ενώ η Αττικό Μετρό χρηματοδότησε όλες τις αρχαιολογικές ανασκαφές και παράλληλα συντόνισε τους αναδόχους των έργων και όλους τους εμπλεκόμενους φορείς και υπηρεσίες.

Σήμερα, σε έξι κεντρικούς σταθμούς του Μετρό , αρχαία αντικείμενα εκτίθενται για πρώτη φορά σε δημόσιο χώρο πίσω από καλαίσθητες προσθήκες προκαλώντας τον κάθε βιαστικό επιβάτη, έλληνα ή ξένο να τα κοιτάξει και να τα περιεργασθεί.





### 4.3 Αρχαιολογία και Κατασκευή

Η Ελλάδα είναι διάσπαρτη από μνημεία και μαρτυρίες του ιστορικού παρελθόντος.

Η Αθήνα είναι μια από τις σημαντικότερες πόλεις του Ελληνικού κόσμου με μακρά ιστορία. Μια πόλη που διατηρεί λείψανα ανθρώπινης δραστηριότητας τεσσάρων χιλιάδων χρόνων.

Στα πλαίσια του αναπτυξιακού έργου, ΜΕΤΡΟ της ΑΘΗΝΑΣ, έργου πνοής για τη σύγχρονη πόλη είναι αναπόφευκτη η συνάντηση του νέου κόσμου με τον παλιό.

Τεχνικοί και αρχαιολόγοι, ΥΠΕΧΩΔΕ και Υπουργείο Πολιτισμού, απέδειξαν ότι η υψηλή ποιότητα ανασκαφικού έργου με την άψογη τεχνική υποστήριξη και χρηματοδότηση μπορεί να συνδυαστεί με την ταχύτητα και να ευδοκιμήσει.

Το ΜΕΤΡΟ έδωσε τη δυνατότητα να ερευνηθούν ανασκαφικά 70.000 τ.μ. συγκεντρώνοντας ένα πλήθος από νέες και σημαντικές αρχαιολογικές μαρτυρίες για την ιστορία της Αθήνας προβάλλοντας την πολιτιστική μας κληρονομιά σε συνδυασμό με την ανάπτυξη και την τεχνολογία.

Οι εκθέσεις των ευρημάτων των ανασκαφών στους σταθμούς, η διατήρηση σημαντικών αρχαιοτήτων, οι επανατοποθετήσεις αρχαιοτήτων στις θέσεις που αποκαλύφθηκαν, η έκθεση των κινητών ευρημάτων των ανασκαφών στο Μουσείο Γουλανδρή, η χρηματοδότηση για την συντήρηση και την καταγραφή του αρχαιολογικού υλικού (πάνω από 50.000 κινητά ευρήματα) δείχνουν μια νέα αντίληψη για τα δημόσια έργα και τον πολιτισμό. Αντίληψη που εφάρμοσε η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ.

## 4.4 Πρόγραμμα εικαστικής πλαισίωσης

Στους 27 σταθμούς του Μετρό Αθήνας που λειτουργούν σήμερα αναδεικνύεται η κρυμμένη πόλη και η πολιτιστική μας κληρονομία με την συνύπαρξη σημαντικών αρχαιολογικών ευρημάτων με έργα σύγχρονων Ελλήνων δημιουργών. Η προσπάθεια αυτή δεν ξεκίνησε, βεβαίως, από κάποια συμβατική ή νόμιμη υποχρέωση της ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΑΕ, αλλά είναι αποτέλεσμα της ιδιαίτερης σημασίας που δόθηκε στην βελτίωση της ποιότητας ζωής στην πρωτεύουσα.

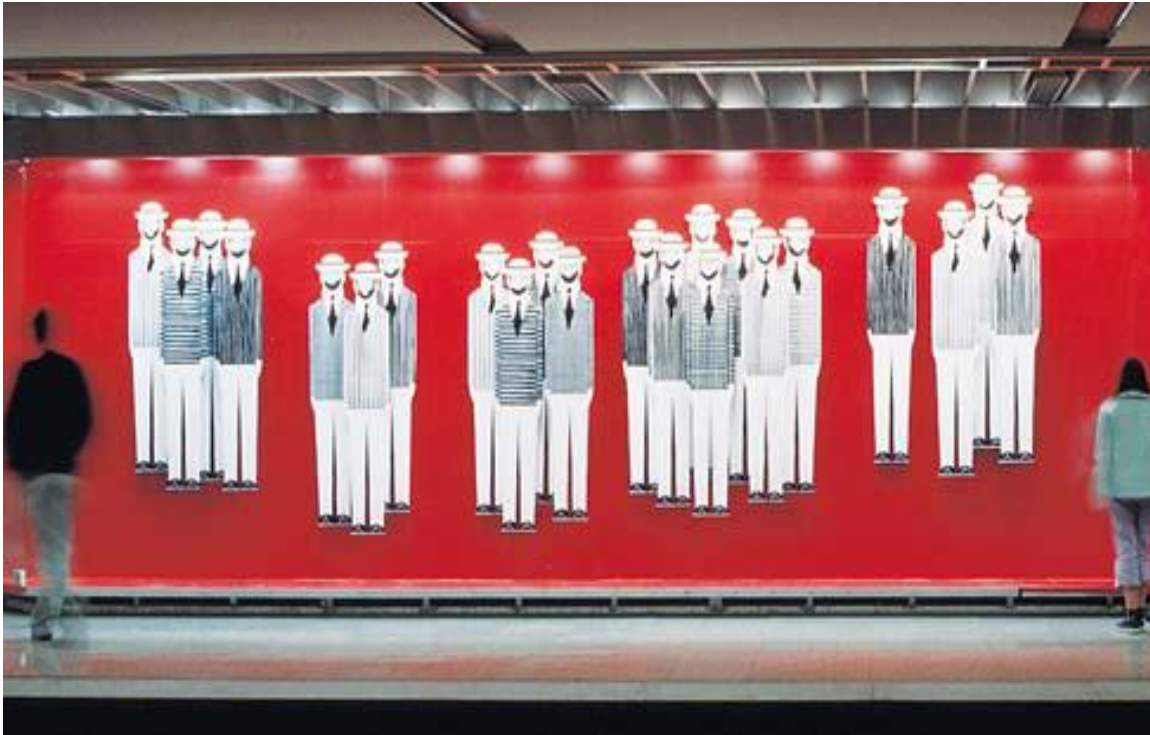
Παράλληλα με τη δημιουργία ειδικών χώρων για την ανάδειξη των σπουδαιότερων αρχαιολογικών ευρημάτων, η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΑΕ εφάρμοσε ένα πρόγραμμα όπου έργα τέχνης διακεκριμένων Ελλήνων καλλιτεχνών κοσμούν σχεδόν το σύνολο των σταθμών του Μετρό Αθήνας.

Διεθνώς καταξιωμένοι Έλληνες καλλιτέχνες λαμβάνοντας υπόψη τους τις πολλαπλές δυνατότητες που προσφέρει το δίκτυο, δημιούργησαν ειδικά για τον εκάστοτε Σταθμό και σήμερα ο πλούτος της πολιτιστικής μας κληρονομιάς αναδεικνύεται μέσα στον νέο μητροπολιτικό σιδηρόδρομο της πρωτεύουσας.





Παράλληλα, προκειμένου να δοθεί η δυνατότητα της προβολής των ιδεών νεότερων καλλιτεχνών, η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΑΕ προκηρύσσει διαγωνισμούς αισθητικής πλαισίωσης για συγκεκριμένους Σταθμούς και έως σήμερα τρία έργα έχουν ενταχθεί στο δίκτυο. Το πρόγραμμα της αισθητικής πλαισίωσης θα συνεχισθεί και στους νέους Σταθμούς των επεκτάσεων του Μετρό Αθήνας, καθώς και στο έργο Μετρό Θεσσαλονίκης.



Σταθμό Λαρίσης



Σταθμός Μεταξουργείου

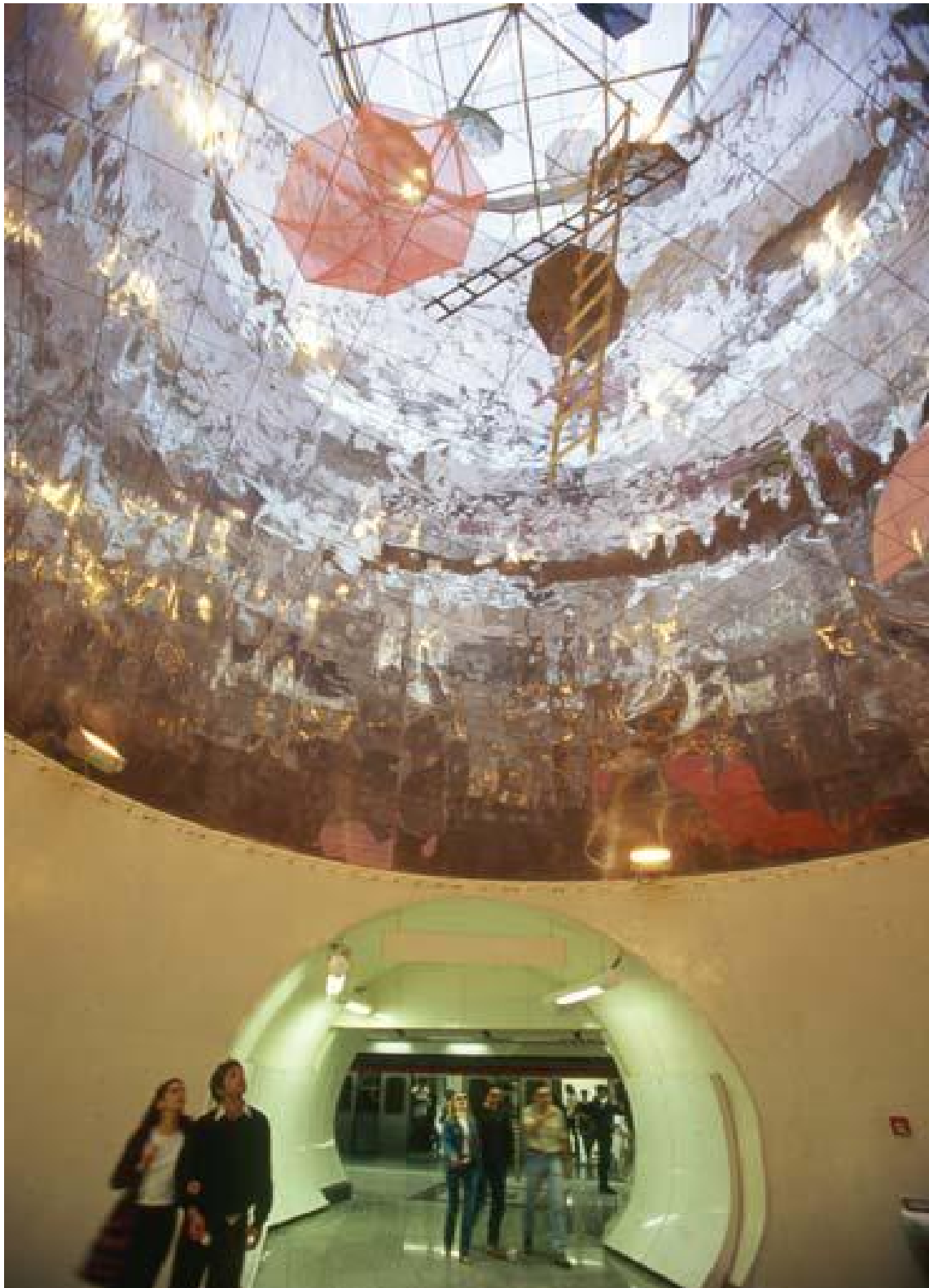




Σταθμός Ομόνοιας



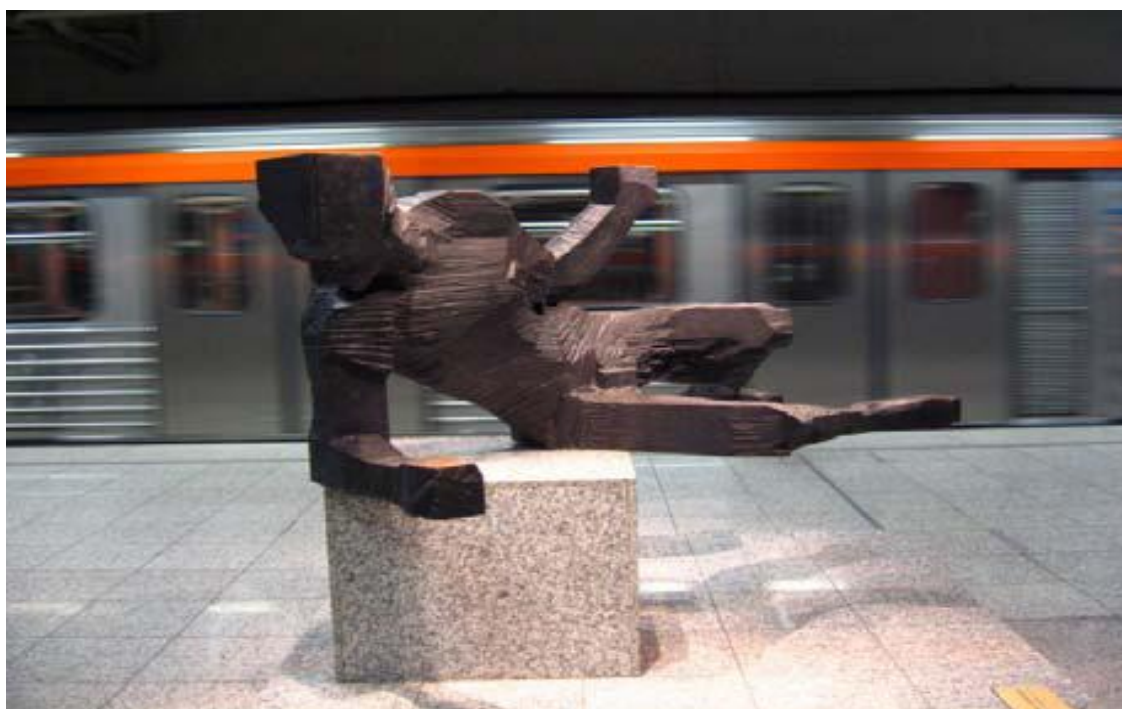
Σταθμός Πανεπιστήμιο



Σταθμός Σύνταγμα



Σταθμός Μέγαρο Μουσικής





Σταθμός Εθνικής Άμυνας



Σταθμός Δ. Πλακεντίας



Σταθμός κατεχάκη



Σταθμός Χαλάνδρι

### **5.1 Επίλυση συγκοινωνιακών προβλημάτων**

Η κατασκευή ενός δικτύου μετρό στην περιοχή της πρωτεύουσας ασφαλώς αναμένεται να συμβάλει περισσότερο από κάθε άλλο έργο στην ανακούφιση του κυκλοφοριακού συγκοινωνιακού προβλήματος της.

Και αυτό είναι λογικό εφ' όσον το ΜΕΤΡΟ, αποτελεί το τεχνικά αρτιότερο μέσο δημοσίων συγκοινωνιών από όσα έχουν δοκιμαστεί και λειτουργούν με επιτυχία μέχρι σήμερα , λόγω 2 βασικών χαρακτηριστικών του:

- α) Μεγάλη μεταφορική ικανότητα (χωρητικότητα)
- β) Υπόγεια διέλευση κάτω από το κέντρο της πόλης που το απελευθερώνει από την επιφανειακή κυκλοφορία και του επιτρέπει να αναπτύσσει μεγάλες ταχύτητες.

Για μια περιοχή όπως η Αθήνα τα δυο αυτά χαρακτηριστικά και ιδίως το δεύτερο αποκτούν ιδιαίζουσα βαρύτητα εφ' όσον υπάρχει τόση στενότητα χώρου για κατασκευή οποιαδήποτε έργων.

Παρουσιάζουν τα δίκτυα Μετρό 2 σημαντικά μειονεκτήματα:

- α) Μεγάλο κόστος κατασκευής και λειτουργίας
- β) Επηρεασμό της πολεοδομικής εξέλιξης της πόλεως που κατασκευάζονται , επειδή με την μεγάλη εξυπηρέτηση που προσφέρουν δημιουργούν σοβαρές ανακατατάξεις στην προσπελασιμότητα των περιοχών που διέρχονται οι γραμμές του ΜΕΤΡΟ.

Για αυτό βασική προϋπόθεση για έναν επιτυχημένο σχεδιασμό δικτύου μετρό

είναι μια σειρά λεπτομερειών και εμπειριστατωμένων μελετών που το εξετάζουν συγκεκριμένα άτομα με γνώση στο θέμα αυτό. Από την σωστή αξιολόγηση και αντιπαράθεση των αναμενόμενων ωφελειών και αρνητικών επιπτώσεων, κατάλληλα σταθμισμένων, θα προκύψει το τελικό συμπέρασμα για τον επιτυχημένο ή μη σχεδιασμό και λειτουργία ενός δικτύου μετρό. Από την σωστή αξιολόγηση και αντιπαράθεση των αναμενόμενων ωφελειών και αρνητικών επιπτώσεων, κατάλληλα σταθμισμένων, θα προκύψει το τελικό συμπέρασμα για τον επιτυχημένο ή μη σχεδιασμό και λειτουργία ενός δικτύου μετρό.

Για το δίκτυο μετρό της περιοχής της Αθήνας έχει γίνει ένας αριθμός μελετών και προτάσεων και σήμερα εκπονείται η τεχνική προμελέτη 2 γραμμών μετρό που καλύπτουν βασικά την κεντρική περιοχή της Αθήνας.

## **5.2 Μείωση των ρύπων στην πόλη**

Με τις δύο γραμμές του ΜΕΤΡΟ μετακινούνται περίπου 650.000 επιβάτες ημερησίως. Έχει υπολογιστεί ότι η λειτουργία του ΜΕΤΡΟ μείωσε κατά 71.000 τα Ι.Χ. αυτοκίνητα που εισέρχονται στο κέντρο της πόλης ή ισοδύναμα μείωσε την κίνηση με Ι.Χ. κατά 335.000 οχηματοχιλιόμετρα ημερησίως. Λόγω του ΜΕΤΡΟ, οι ρύποι από τα οχήματα μειώθηκαν 8% κατά μέσον όρο.

Παράλληλα, η λειτουργία του ΜΕΤΡΟ συνδυάστηκε με αναδιάρθρωση και των άλλων Δημοσίων Μέσων Μεταφοράς με μείωση τερματικών σταθμών Λεωφορείων στο κέντρο της πόλης, λόγω δημιουργίας νέων αφετηριών λεωφορείων κοντά σε περιφερειακούς σταθμούς του ΜΕΤΡΟ. Η λειτουργία, συνεπώς, του ΜΕΤΡΟ μείωσε σημαντικά εκτός από τα Ι.Χ. και την κίνηση των λεωφορείων στο κέντρο της Αθήνας.

Γενικά, συμβάλλει στην επίτευξη του στόχου για ένα καλύτερο περιβάλλον καθώς μειώνει τις μετακινήσεις με το αυτοκίνητο συμβάλλοντας στην

αποσυμφόρηση του κέντρου της πόλης και στη μείωση των ρύπων, εξασφαλίζοντας καθαρότερη ατμόσφαιρα και πιο ανθρώπινες συνθήκες διαβίωσης.

### **5.3 Αναβάθμιση της πόλης**

Ένα από τα μεγαλύτερα και πιο πολυσύνθετα έργα στην Ελλάδα, το METRO της Αθήνας, έχει τεθεί στην υπηρεσία των πολιτών της πόλης. Το δίκτυο δύο γραμμών, της **Γραμμής 2** (*Άγιος Αντώνιος – Άγιος Δημήτριος / Αλέξανδρος Παναγούλης*) και της **Γραμμής 3** (*Αιγάλεω – Δουκίσσης Πλακεντίας*), και **είκοσι επτά (27) τεχνολογικά άρτιων και εργονομικά σχεδιασμένων σταθμών** έρχονται να προσφέρουν ένα σύγχρονο και αξιόπιστο μέσο μεταφοράς στην πόλη.

Το METRO συμβάλει στην αναβάθμιση στην ποιοτική αναβάθμιση της καθημερινής ζωής των πολιτών και επισκεπτών της Αθήνας, προσφέροντας υψηλής ποιότητας υπηρεσίας και μετακινήσεις

**Με ταχύτητα**, συντομεύοντας το χρόνο μετακίνησης στην πόλη πάνω από 50% σε σύγκριση με άλλα μέσα μεταφοράς. Μόνο 9' χρειάζονται από την Εθνική Άμυνα μέχρι το Σύνταγμα, άλλα 6' μέχρι το Αιγάλεω και 11' από το Σύνταγμα μέχρι τον Άγιο Αντώνιο.

**Με αξιοπιστία**, αφού οι συρμοί διέρχονται κάθε 3' τις ώρες αιχμής και 5' έως 10' την υπόλοιπη ημέρα. Τώρα οι μετακινήσεις μας προγραμματίζονται καλύτερα και ο χρόνος μας παίρνει αξία χωρίς άγχος και ταλαιπωρία.

**Με άνεση** στην κίνηση μέσα στους σταθμούς χάρη στις κυλιόμενες σκάλες, στους ανελκυστήρες, στους αισθητικά αναβαθμισμένους χώρους και το εξειδικευμένο προσωπικό που φροντίζει για την εξυπηρέτησή μας.

## 5.4 Εύκολη και ευχάριστη μετακίνηση κατοίκων και επισκεπτών

Δύσκολα μπορεί να ανταγωνιστεί η Αθήνα τις άλλες ευρωπαϊκές πρωτεύουσες σαν πόλη προορισμός. Εύκολα το διαπιστώνει κανείς τους χειμερινούς μήνες, όταν η πόλη φιλοξενεί λίγους, σχετικά, τουρίστες. Αν δεν υπήρχαν τα σύγχρονα δίκτυα που φέρνουν όλο και πιο συχνά στην Αθήνα επιχειρηματίες, ερευνητές, επιστήμονες και καλλιτέχνες, η Αθήνα θα ήταν μία επαρχία της Ευρώπης από τον Οκτώβριο ως τον Απρίλιο. Η κατάσταση αυτή δεν αρέσει σε κανένα. Και κανέναν δεν συμφέρει. Η κατάσταση, αυτή, πολύ απλά πρέπει να αλλάξει.

Ζητούμενο είναι να έρχονται ολοένα και περισσότεροι επισκέπτες στην Αθήνα και να φεύγουν, οι περισσότεροι ικανοποιημένοι. Αν σκεφτεί κανείς ότι ένας μέσος Ευρωπαίος ταξιδεύει στο εξωτερικό τουλάχιστον δύο φορές τον χρόνο, μπορεί κανείς να επενδύσει στην προοπτική ότι ως το 2025 πάνω από το 50% των ενηλίκων κατοίκων της Ευρώπης θα έχουν επισκεφθεί τουλάχιστον για μία φορά στην ζωή τους την Αθήνα. Τα οφέλη, υλικά και όχι, είναι προφανή. Και ο στόχος είναι εφικτός.

Υπάρχει μία γραμμή σκέψης και μία γραμμή δραστηριοτήτων, που συνδέει, σήμερα, στον σύγχρονο κόσμο μας, τον πολιτισμό, τον τουρισμό, την οικονομία, τη δημιουργικότητα. Είναι η πρώτη ύλη για να ξαναδει κανείς το πώς μπορεί να εξάγει, ή αν δεν ενοχλεί ο όρος, το πώς μπορεί κανείς να πουλήσει, μία πόλη στη διεθνή αγορά.

Οφείλει κανείς να παραδεχθεί ότι η Αθήνα έχει βελτιώσει την εικόνα της την τελευταία δεκαετία. Προφανώς βοήθησαν οι Ολυμπιακοί. Οι επισκέπτες που γυρίζουν στις πατρίδες τους μιλούν για το μετρό και την πιο άνετη μετακίνησή τους στην πόλη. Εξακολουθούν όμως τα όποια θετικά σχόλια να καθοδηγούνται από την κακή, κάκιστη εικόνα της Αθήνας, από το 1970 ως το 2000. Τριάντα, τουλάχιστον, χρόνια δυσφήμισης δεν είναι εύκολο να ανατραπούν. Πολλά όμως μπορούν να γίνουν αν κοιτάξει κανείς την πραγματικότητα με θάρρος και ρεαλισμό.



Πρώτα από όλα οφείλει κανείς να δει ότι δεν είναι μόνο η Αθήνα που βελτίωσε την εικόνα της στον κόσμο τα τελευταία χρόνια. Και αν μείνει κανείς σε αυτό το πεδίο συγκριτικής αντιπαράθεσης, θα δει ότι όχι μόνο δεν είναι η Αθήνα από τα λίγα φωτεινά παραδείγματα προόδου αλλά είναι από τις πλέον αργοκίνητες πόλεις στον τομέα του ανταγωνισμού.



**ΣΤΑΘΜΟΣ “ΚΕΡΑΜΕΙΚΟ”**

## ΣΥΝΟΨΗ

Το μηχάνημα ολομέτωπης διάνοιξης σήραγγων (T.B.M.) άρχισε να ανοίγει της σήραγγες του Μετρό Αθήνας από το σταθμό της Λάρισας μια σαφής απόδειξης ότι πλέον η κατασκευή του έργου έχει μπει σε ένα προχωρημένο στάδιο. Το γιγάντιο αυτό μηχάνημα που ζυγίζει 1,650 τόνους έχει μήκος 140 μέτρα και διάμετρο 9,5 μέτρα , θα διανοίξει το μεγαλύτερο τμήμα της σήραγγας της γραμμής που εκτείνεται από τα Σεπόλια στην Δάφνη.

Το T.B.M θα λειτουργεί σε βάθος 20 μέτρων κάτω από την επιφάνεια κατά μέσο όρο ώστε να αποφευχθεί το ενδεχόμενο να έρθει σε επαφή με αρχαιότητες και να περιορισθεί στο ελάχιστο η παρενόχληση λειτουργιών στην επιφάνεια. Επίσης, το T.B.M θα δουλεύει σε εικοσιτετράωρη βάση με κάποια διαλείμματα για συντήρηση. Θα προχωρά κατά μέσο όρο 10 μέτρα την ημέρα , ενώ ταυτόχρονα θα κατασκευάζει μια σχεδόν τελειωμένη σήραγγα , διαμέτρου 8,5 μέτρων. Τρεις βάρδιες εργατοτεχνικών 32 σε κάθε βάρδια θα λειτουργούν , διευθύνουν και συντηρούν το μηχάνημα.

Κατά τις 100 πρώτες μέρες της λειτουργίας του ειδικού της Γαλλικής εταιρίας που κατασκευάστηκε το T.B.M εκπαίδευσαν έλληνες τεχνικούς που τελικά θα εκτελούν τις περισσότερες εργασίες υποστήριξης του μηχανήματος σε όλη την διάρκεια του έργου.

Το T.B.M που σχεδιάστηκε από την Ιαπωνική εταιρία Mitsubishi και κατασκευάστηκε από την Γαλλική εταιρία NEM, είναι ηλεκτρονικό , ελέγχεται από ηλεκτρονικό υπολογιστή και διευθύνεται από σύστημα λείζερ.

Κατά την εκκίνηση του το T.B.M. Καταναλώνει τόση ηλεκτρική ενέργεια όση απαιτείται για να φωτιστούν περίπου 5,000 κατοικίες. Οι δυνατότητες του T.B.M έγιναν φανερές όσο άλλοτε κατά την πρόσφατη διάνοιξη του Ευρωτούνελ που ενώνει την Γαλλία με την Αγγλία , κάτω από την Μάγχη. Μηχανήματα T.B.M έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή Μετρό σε διάφορα μέρη του κόσμου όπως στο Παρίσι , στην Μόσχα , στο Λονδίνο , στην



Ουάσιγκτον , στην Ρώμη.

Η ολομέτωπη κοπτική κεφαλή του T.B.M εφοδιασμένη με διάφορα είδη κοπτικών εργαλείων , κόβει τον βράχο και το έδαφος και αποθέτει τα θραύσματα σε ιμάντες μεταβιβάσεις στο πίσω μέρος.

Τα προϊόντα της εκσκαφής , στην συνέχεια απομακρύνονται από την σήραγγα με βαγόνια από μηχανοάμαξα και μεταφέρονται έξω από την σήραγγα.

Ένας δεύτερος σχεδόν πανομοιότυπος Μετροπόντικας ξεκίνα από τον σταθμό "Κατεχάκη" για να διανοίξει το μεγαλύτερο τμήμα της σήραγγας της γραμμής που θα εκτείνεται από τον σταθμό "πεντάγωνο" έως σταθμός "Κεραμεικός".

Σήμερα εργάζονται 1,400 άτομα σε 13 εργοτάξια ΜΕΤΡΟ σε διάφορα σημεία της πόλης.

Στις ώρες αιχμής τα τρένα θα κινούνται ανά τρία λεπτά από κάθε σταθμό σε κάθε κατεύθυνση. Στις υπόλοιπες ώρες τα τρένα θα κινούνται ανά 5 έως 10 λεπτά.

Υπεύθυνη για την εποπτεία κατασκευής του Μετρό είναι η εταιρία ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ που ιδρύθηκε με το νόμο 1991. Ανάδοχος του έργου είναι η εταιρία ολυμπιακό Μετρό μια κοινοπραξία 25 Γερμανικών , Γαλλικών και Ελληνικών εταιριών με επικεφαλής την Γερμανική SIEMENS A.G και την Γαλλική INTERINFRA S.A.

Η χρησιμοποίηση της μεθόδου T.B.M για την κατασκευή μεγάλων υπόγειων σηράγγων όπως στα έργα Μετρό είναι από την μέχρι σήμερα εμπειρία αποδεκτή και επιβεβλημένη.

## Βιβλιογραφία

1. F. Apel: ‘‘Tunnel mit schidvortieb’’ , Werner verlag, duesseldorf.
2. Wallis shani: ‘‘tunnelw and tunneling’’
3. W. Rutschmann: ‘‘Mechnischer Tunnelvortried im Festgestein’’
4. L. Viertez – Utesa , L.E. Montanez – Cartaxo : ‘‘Towards new Worlds in Tunneling ‘’
5. Τεχνικά εντοπα εταιριων: Alpine , Wirth , Robbins , Atlas Copco, Paurat , Westfalia – Becorit.
6. Αττικό Μετρό Α.Ε. 2001
7. Ιντερνέτ

**ATTIKO METRO FOTO GALLERY**







Το Μετρό στην κατασκευή:









Το Μετρό εξωτερικά:











Το Μετρό εσωτερικά:















Διακόσμηση Μετρό:









Αρχαία ευρήματα:





