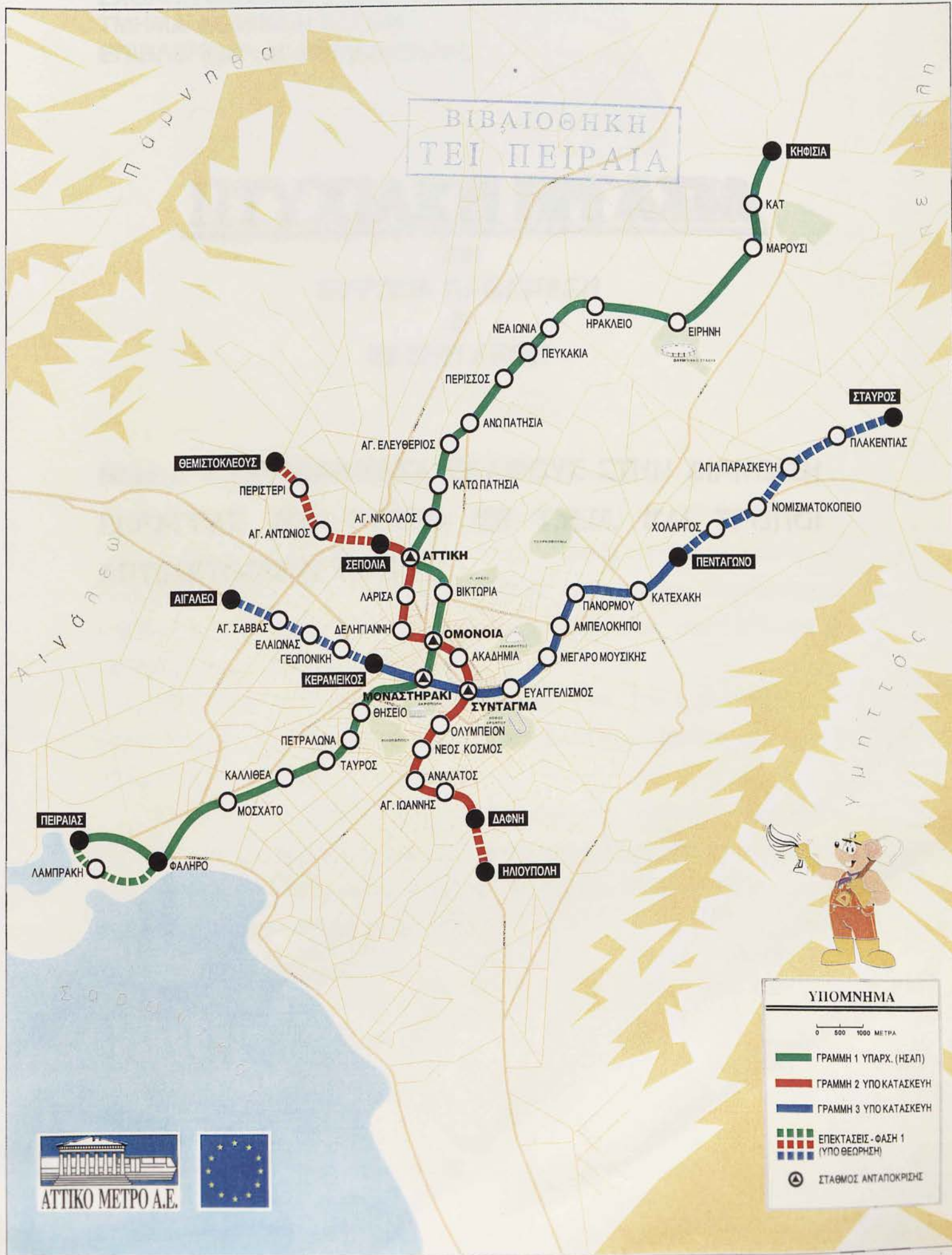


7
ΠΟΛ

ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



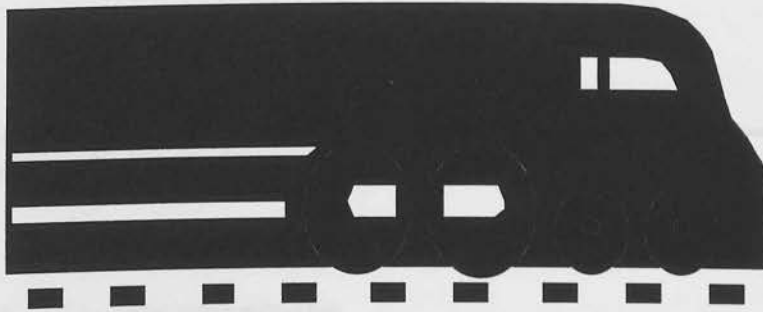
Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : Μ. Βασιλόπουλος

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΩΝ
ΕΥΤΥΧΙΑ ΠΑΘΑΝΑΣΗ
&
ΕΛΕΝΗ ΛΕΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θέμα : « ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΔΙΑΝΟΙΞΗ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ ΜΕ Τ.Β.Μ. ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ
ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥΣ»



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην ακόλουθη πτυχιακή εργασία αναφερόμαστε στο θέμα "ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ ΜΕ Τ.Β.Μ. & ΤΡΟΠΟΥΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥΣ". Αρχικά υπάρχει μια εκτεταμένη αναφορά στις σήραγγες και στα διάφορα εδάφη. Στην συνέχεια παρουσιάζουμε διάφορα είδη μηχανημάτων και το κύριο μέρος της εργασίας καλύπτεται από το Τ.Β.Μ και την χρήση τους στο ΜΕΤΡΟ.

Θεωρούμε χρέος μας να ευχαριστήσουμε όλους όσους βοήθησαν στην συγγραφή αυτής της πτυχιακής εργασίας, με τις εύστοχες υποδείξεις τους και την προσωπική τους εργασία.

Ιδιαίτερα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Καθηγητή Κο Μάριο Βασιλόπουλο για την βοήθεια που μας προσέφερε στην ακριβή κατανόηση του θέματος. Επίσης ευχαριστούμε θερμά τον Κο Ζαχαρία Χρήστου για την σωστή κατεύθυνση για την συλλογή πληροφοριών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>Εισαγωγή :</u>	Ιστορική Ανασκόπηση της Διάνοιξης Σηράγγων	6-8
<u>Κεφάλαιο 1ο</u>		
1:1	Οι σήραγγες σήμερα	9-39
1:2	Σκοπός και εφαρμογές των Σηράγγων	9-10
1:3	Ταξινόμηση των Σηράγγων	11-16
1:4	Γεωλογική - Γεωτεχνική	13
1:4:1	Μελέτη Γεωλογική	14
1:4:2	Σκοπός μελέτης	15
1:4:3	Γεωλογικοί χάρτες που βασίζονται σε επιφανειακά γεωλογικά στοιχεία	16
1:5	Γεωλογικές και πετρογραφικές ιδιότητες	16-20
1:5:1	Συμπεριφορά των πετρωμάτων	18
1:5:2	Κίνδυνοι που διατρέχουν οι σήραγγες από αλλαγή συμπεριφοράς των πετρωμάτων	18-19
1:5:3	Μελέτη της θερμοκρασίας της σήραγγας	19-20
1:6	Γενικές Γεωλογικές έρευνες με την σχεδίαση της σήραγγας	20-31
1:6:1	Γεωλογική -Γεωτεχνική έρευνα παράλληλα με την σχεδίαση	21-22
1:6:2	Σύλληψη - Σχεδίαση & εκτέλεση των σηράγγων	22-31
1:7	Εργασίες εκσκαφής πραγματοποιούμενης σε εδάφη & βράχους	31-39
1:7:1	Σύγχρονες μέθοδοι εκτέλεσης με ανάμεικτο ξυλότυπο ή από χάλυβα	33-35
1:7:2	Τούνελ σε εδάφη ασταθή και τούνελ που περνούν από στρώματα νερού	35-39
<u>Κεφάλαιο 2ο:</u>	Μηχανοποιημένη κατασκευή Σηράγγων χωρίς χρήση εκρηκτικών	40-62
2:1	Ιστορική Ανασκόπηση	40-43

2:2	Tunnel Boring Machine (T.B.M.)	44-52
2:2:1	Λειτουργία και τύποι T.B.M	44-52
2:3	Μηχανή ολομέτρωτου κοπής Ανοικτού τύπου για Σκληρό πέτρωμα	52-62
2:3:1	Διάτρηση με υποκοπή του πετρώματος	55-59
2:3:1:1	Κυλιόμενα κουμπιά (rollers buttons) για σκληρά πετρώματα	55-59
2:3:1:2	Κυλιόμενοι δίσκοι για πετρώματα μέσης σκληρότητας	60
2:3:1:3	“Δόντια” ή μηχανικές σκαπάνες για μαλακά πετρώματα	60-62
Κεφάλαιο 3ο:	Συστήματα Διάτρησης με Μηχανήματα ολομέτρωτου κοπής	63-85
3:1	Γενικά για το σύστημα Διάτρησης	63-67
3:2	Καθοριστικός Παράγοντας Εφαρμογής T.B.M.	67-75
3:2:1	Πρόβλεψη του μεγέθους διάτρησης	70-71
3:2:2	Προσδιορισμός της κατανάλωσης	71
3:2:3	Ανάλυση της κίνησης και διακοπής καθώς και προσδιορισμός της χρησιμοποίησης	71
3:2:4	Παράδειγμα σύγκρισης δύο τύπων μηχανημάτων για παρόμοιες συνθήκες πετρώματος	71-75
3:3	Συστήματα Διάτρησης Σηράγγων με Μηχανήματα ολομέτρωτου κοπής	76
3:3:1	Ολομέτρωτη κοπή με απλή ασπίδα	76-79
3:3:2	Ολομέτρωτη κοπή με διπλή τηλεσκοπική ασπίδα	79-80
3:3:3	Μηχανή ολομέτρωτου κοπής ανοιχτού τύπου	80-83
3:3:3:1	Μηχανή ολομέτρωτου κοπής Robbins	80-82
3:3:3:2	Μηχανή ολομέτρωτου κοπής Wirth	82-83
3:4	Καταπτώσεις της Μηχανής ολομέτρωτου διάνοιξης	83-84
3:5	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα T.B.M.	84
3:5:1	Πλεονεκτήματα T.B.M.	84

3:5:2 Μειονεκτήματα T.B.M. 84-85

Κεφάλαιο 4ο:	ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ	86-126
4:1	Συμβολή του Μετρό στην Επίλυση των Συγκοινωνιακών προβλημάτων της πρωτεύουσας	86-87
4:2	Κριτική Ανασκόπηση των Μελετών που αφορούν το Μετρό	87-88
4:3	Γεωλογικά και Υδρογεωλογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής Αθηνών	88-92
4:3:1	Γεωλογικά δεδομένα	88-89
4:3:2	Στρωματογραφία	89-90
4:3:3	Τεκτονική	90-91
4:3:4	Υδρογεολογία της περιοχής Αθηνών	91-92
4:4	Γεωλογικά και υδρογεωλογικά δεδομένα της γραμμής Β	92
4:4:1	Κατάταξη των συναντώμενων εδαφών	92-94
4:4:1:1	Κριτήριο κερματισμού και εξαλλοίωσης	93
4:4:1:2	Λιθολογικό κριτήριο	93-94
4:4:2	Υδρογεωλογικά δεδομένα	94
4:4:3	Γεωλογική μηκοτομή στην θέση της γραμμής Β	94-96
4:5	Γεωλογικά δεδομένα της γραμμής Α	97-98
4:5:1	Γεωλογική μηκοτομή στην θέση γραμμής Α	97-98
4:6	Μηχανήματα ολομέτωπου κοπής ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΩΝ	98
4:6:1	Βλάβες της μηχανής ολομέτωπου διάνοιξης	100-103
4:6:2	Κίνηση της μηχανής ολομέτωπου κοπής	103
4:6:3	Μέθοδοι Μ.Ο.Δ. (T.B.M.) & Ν.Α.Μ.Σ. (NATM)	103-106
4:7	Μηχανήματα σημειακής κοπής	107-109
4:8	Συστήματα Αντιστήριξης σηράγγων	110-118
4:8:1	Μορφές αγκυρίων	110
4:8:1:1	Αγκύριο εκτόνωσης	110

	4:8:1:2 Αγκύρια σκυροδέματος	110-114
	4:8:1:3 Αγκύρια τριβής υδραυλικής εκτόνωσης (Swellex της Atlas Copco)	115-116
	4:8:1:4 Μηχανικά αγκύρια τριβής	116
	4:8:2 Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στην έμεση υποστήριξης των σηράγγων	117-118
4:9	Μεταφορικά συστήματα	118-125
	4:9:1 Ελαστικοφόρα οχήματα	118-122
	4:9:2 Μεταφορά με σιδηροδρομικά οχήματα	122-125
	4:9:2:1 Ανατρεπόμενα σιδηροδρομικά οχήματα	124
	4:9:2:2 Σιδηροδρομικά οχήματα με πλάγια απόρριψη	124
	4:9:2:3 Αυτοφορτωνόμενα σιδηροδρομικά οχήματα	124-125
	4:9:2:4 Μηχανή έλξης	125
4:10	Ολομέτωπη διάνοιξη και αρχαιολογικά ευρήματα	126
ΣΥΝΟΨΗ ΚΡΙΣΗΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		127-129
Βιβλιογραφία		136

Από την Ρωμαϊκή εποχή έχουμε στην Ελλάδα ένα σημαντικό παράδειγμα σιδηρούς μέσα σε ασβεστολιθικά πετρώματα. Έχει μήκος 3,5 μέτρα, διαμήκη διατομή με διαστάσεις 2 X 3 μ και κατασκευάστηκε για την προώθηση της λίμνης Fucina, ανατολικά της Ρώμης.

Αργότερα διανοίχθηκαν σιράγγες για φρεσκατικούς σκοπούς υπονομιεύοντας τα νερά των υπόγειων πόρων βαθέστερα στην κατάληξη τους.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Οι πρώτες σήραγγες κατασκευάστηκαν για να εξυπηρετήσουν αποστραγγιστικούς σκοπούς καθώς και την ύδρευση των διαφόρων 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 βασιλιάδες της αρχαίας Αιγύπτου, μερικές από τις οποίες έφτασαν σε μήκος τα 250 μ.

Πριν 4000 χρόνια στην αρχαία Βαβυλώνα κατασκευάστηκε η πρώτη υφδατική σήραγγα κάτω από τον ποταμό Ευφράτη . Είχε μήκος 1χλμ. 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 κατά την Αρχαιότητα κατασκευάστηκαν 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 Πρέβεζα , που ξεκινούσε από τις πηγές του Αγίου Γεωργίου του Λούρου.

Ακόμα πιο αξιόλογο είναι το “αμφίστομο Ευπαλίνιο όρυγμα” στο Πυθαγόρειο της Σάμου , που κατασκευάστηκε στα 600 π.χ. Έχει συνολικό μήκος 1300μ και είναι σκαμμένο μέσα σε βραχώδες βουνό, η διάνοιξη του έγινε και από τα δύο άκρα του συγχρόνως. Ο Ευπαλίνος έκανε και στην πατρίδα του τα Μέγαρα, το Ευπαλίνιο υδραγωγείο (συλλέκτρια στοά με διακλαδώσεις) , που ακόμα και σήμερα καλύπτει σε μικρή έκτασης τις ανάγκες της πόλης .

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

Αργότερα διανοίχτηκαν σήραγγες για στρατιωτικούς σκοπούς, υπονομεύοντας τα τείχη των εχθρικών πόλεων βοήθησαν στην κατάληψή τους.

Στο Μεσαίωνα οι σήραγγες που κατασκευάστηκαν εξυπηρέτησαν στρατιωτικούς σκοπούς .

Με την κατασκευή των σηράγγων ναυσιπλοΐας των 17ο αιώνα, το ενδιαφέρον στράφηκε ξανά στην διάνοιξη σηράγγων .

Το 1679 κατά την κατασκευή μιας σήραγγας στο κανάλι του Lan Gueda στην Γαλλία, για την ανατίναξη του πετρώματος χρησιμοποιήθηκε πυρίτιδα, ενώ μέχρι τότε η εκσκαφή γινόταν χειρωνακτικά, με την χρησιμοποίηση των σφυρών και των σφηνών 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 δύο 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 σιδηροδρόμου.

Η πρώτη σιδηροδρομική σήραγγα κατασκευάστηκε στην Γαλλία το 1826 . Η μεγάλη ανάπτυξη του σιδηροδρομικού δικτύου και η αναγνώριση της τεράστιας συμβολής του στην διατήρηση στενής επικοινωνίας παντού και πάντοτε σε μια αναπτυσσόμενη περιοχή, οδήγησε γρήγορα στην ανάγκη κατασκευής σηράγγων κάτω από μεγάλες οροσειρές . Η βελτίωση των υδραυλικών και των πνευματικών μηχανών διατήρησης και του άλλου μηχανολογικού εξοπλισμού , η ανακάλυψη της πυρίτιδας και στην συνέχεια των άλλων εκρηκτικών υλών , καθώς και οι νέες τεχνικές διάνοιξης των σηράγγων κατέστησαν δυνατή την κατασκευή της σήραγγας του Mont Genis που συνέδεσε σιδηροδρομικά την Γαλλία με την Ιταλία, των διάσημων Αλπικών σηράγγων (του Simplon, του Goatherd & του Lotschberg στην Ελβετία του Tauern, του Arlberg στην Αυστρία του Semmieng & του Karawanken) και αργότερα των Ιταλικών σηράγγων (του Ronco, του Col di Tenda , του Monte Adone κ.α.) , 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 διαστάσεων της επένδυσης των σηράγγων .

Παράλληλα με τις παραπάνω σήραγγες ένας αμέτρητος αριθμός σηράγγων , με μεγάλη ή 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.

Τέλος θα πρέπει να αναφέρουμε τις πριν από μερικά χρόνια κατασκευασμένες εξέχουσες οδικές σήραγγες του Saint Bernard και του Mont Blank με την οποία συνδέθηκε και οδικά η Γαλλία με την Ιταλία.

Το τολμηρότερο όμως εγχείρημα στην κατασκευή σηράγγων 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 δύο μεγαλύτερων νησιών της , του Hokkaido & του Honshu.

Η θέση της κατασκευής σηράγγων έρευνάται σήμερα σε μια κοινή επιτροπή. Η καναδική ομάδα στα αυστριακά έδαφη, μηχανικά η θέση για το έργο, με ασφαλιστικές μεθόδους άμεσων και η ανάγκη οικονομικού κόστους . Σε συνδυασμό με των παρόντων χρόνων, είναι το καλύτερο κίνητρο για την κατασκευή νέων μεθόδων και νέων μηχανικών μέσων διάτρησης χωρίς την χρήση κεραιών και έτσι το επιτρέπουν και οι ιδιορρυθμικές συνθήκες.

Η έρευνα των πολυάριθμων φαινομένων και οι διαδοχικές τεχνικές λύσεις που δίνονται στα παρακείμενα προβλήματα, στο μέλλον της επιτυχούς της μηχανικής διάτρησης σε νέους ανωτάτους βαθμούς μέγιστων και αυτών τους κομμάτια της περιοχής των άμεσων δραστηριοτήτων δεν αποκλείει την πορεία των επιστημονικών εκδηλώσεων της μηχανικής διατρησης. Η τεχνική αλλαγή και επέκταση και η βελτιστοποίηση ή επικαιροποίηση μεθόδων και τεχνικών και μηχανικών ή μηχανικών και μηχανολογικών εξοπλισμών, τα προβλήματα της μηχανολογίας ή εξοπλισμού και ή παρόντων και εκπομπών των εργασιών μέχρι το σύστημα εξοπλισμού εφευρέσεων παλιών και διαδοχικών επιστημονικών ενοητών. Η ολοκλήρωση όλων αυτών των επιστημονικών εκδηλώσεων οδηγεί στην επίτευξη του στόχου έργου.

1.2. ΕΚΠΟΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΕΣ ΤΩΝ ΔΙΑΓΓΕΤΩΝ

Η ερευνητική εργασία είναι πολύπλοκη και συνεχίζεται μέχρι να φτάσει στο καλύτερο της αποτέλεσμα.

Οι ερευνητικές έρευνες είναι μία από τις πολλές μεθόδους με τις οποίες η μηχανική μπορεί να ελεγχθεί με την μέγιστη απόδοση διαφόρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1. ΟΙ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΣΗΜΕΡΑ

ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Η τέχνη της κατασκευής σηράγγων 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 εφ' όσον 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 βροχομηχανική, 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.

1.2. ΣΚΟΠΟΙ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Η εφαρμογή σηράγγων είναι πολυδάπανο και επικίνδυνο έργο, για αυτό και στο παρελθόν την απέρριπταν.

Οι σήραγγες περιορίζονται μέσα στις πόλεις, κάτω από ποτάμια ή απότομες πλαγιές λόφων και μικρού μήκους υπόγειες διαβάσεις.

Όμως , η γη στοιχίζει πολύ ακριβά , ιδιαίτερα σε κατοικημένες περιοχές, και επιβάλλεται η διάνοιξη σηράγγων αφ' ενός μεν για οικονομικούς λόγους , και αφ' ετέρου 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 τα διάφορα μετακινήματα που δημιουργούνται από τους δρόμους στην επιφάνεια του εδάφους, αλλά και από τους ανυψωμένους.

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 η μια βαθιά εκτομή.

Η πρόοδος της τεχνικής και των μέσων εκτομών και σηράγγων , ώστε αυτές να προτιμούνται τις περισσότερες φορές.

Ένα παλιό μειονέκτημα των σηράγγων που οφείλονται στον κίνδυνο καθίζησης της επιφάνειας του εδάφους κάτω από το οποίο διέρχονται , 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 & τις διώρυγες ή συνδέουν ποτάμια.

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.

1.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Ανάλογα με τον σκοπό τους οι σήραγγες διακρίνονται στις παρακάτω δύο ομάδες .

A. ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΕΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ

1. Σιδηροδρομικές σήραγγες
2. Οδικές σήραγγες
3. Υπόγειες διαβάσεις πεζών
4. Σήραγγες ναυσιπλοίας
5. Σήραγγες υπόγειων σιδηροδρόμων (ΜΕΤΡΟ)

B. ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

1. Σήραγγες υδροηλεκτρικών σταθμών
2. Σήραγγες ύδρευσης
3. Σήραγγες άλλων δημοσίων χρήσεων
4. Αποχετευτικές σήραγγες
5. Σήραγγες μεταφοράς σε βιομηχανικές μονάδες

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


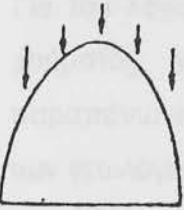
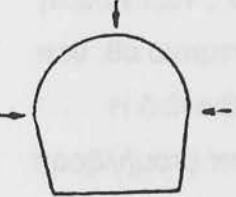
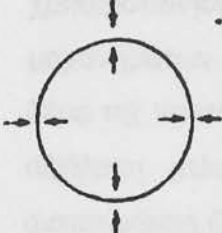
Οι σήραγγες τεχνικής διατομής κατασκευάζονται με την μέθοδο της εκτομής και επικάλυψης , όταν έχουμε μικρό βάθος υπερκειμένων και για χαλαρές αποθέσεις . Οι σήραγγες αυτές είναι γνωστές και σαν οχετοί.

Με βάση το μήκος τους έχουμε σήραγγες μικρές για μήκος μικρότερο από 500μ , μεσαίου μήκους για μήκος μεγαλύτερο από 500μ και μικρότερο από 2.000μ καθώς και μεγάλες για μήκος μεγαλύτερο από 2.000μ.

Τέλος ανάλογα με το μέγεθος της διατομής τους οι σήραγγες διακρίνονται σε μικρής και μεγάλης διατομής . Οι πρώτες διανοίγονται συνήθως σε μια φάση, ενώ οι δεύτερες σε δύο φάσεις.

Ανάλογα με την μορφή τους διατομής της σήραγγας διακρίνουμε τις περιπτώσεις που φαίνονται στον πίνακα (βλέπε 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>

1.4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

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

Σε πάρα πολλές περιπτώσεις κατασκευής σηράγγων κατά τις οποίες δεν είχε γίνει προηγούμενη γεωλογική μελέτη της περιοχής , λόγω μεγάλων δυσκολιών και προβλημάτων που παρουσιάστηκαν κατά την διάνοιξη , αποδείχτηκε το κόστος κατασκευής του να είναι μεγαλύτερο από εκείνο που θα ήταν, εάν οι γεωλογικές συνθήκες της περιοχής ήταν γνωστές ή είχαν προβλεφθεί. Για τον λόγο αυτό, τάση της σύγχρονης τεχνικής είναι η διάθεση περισσότερου χρήματος για την προκαταρκτική μελέτη και έρευνα των δαπανών και των παραπάνω επιβαρύνσεων , που προκύπτουν από την άγνοια ή αποτελεί γνώση των γεωλογικών συνθηκών.

Η γεωλογική μελέτη μίας σήραγγας, έχει σκοπό να δώσει μια εικόνα των γεωλογικών , υδρογεωλογικών , τεχνικογεωλογικών και γεωτεχνικών 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 πρόοδος 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 .

Οι σήραγγες κατασκευάζονται κάτω από τις πόλεις , ανάμεσα σε βουνά, κάτω από τα ποτάμια και την θάλασσα.

Αναλυτικότερα οι σήραγγες κατασκευάζονται :

- α) Για την εξόρυξη ορυκτού πλούτου από μεγάλα βάθη.
- β) Για την εξυπηρέτηση των συγκοινωνιακών αναγκών (σιδηροδρομικό και οδικό δίκτυο, υπόγειες διαβάσεις πεζών).

γ) Για την αποχέτευση των υδάτων λημμάτων κ.λ.π. Αυτές χωρίζονται σε σήραγγες για την ροή των υδάτων με την βοήθεια της βαρύτητας (Gravity Flow runnels) & σε σήραγγες για την μεταφορά των κάτω από πίεση (Pressure runnels).

δ) Για στρατιωτικές ανάγκες.

ε) Για την εξυπηρέτηση υπογείων θαλάμων και κοιλοτήτων.

στ.) Για ευρύτερες χρήσεις, όπως μεταφορά ενέργειας τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, προστασία πληθυσμού από πυρηνικές εκρήξεις κ.λ.π.

Ο μηχανικός που ασχολείται με την κατασκευή σηράγγων αναλαμβάνει έργο πολυδάπανο και πολύ επικίνδυνο. Η μελέτη και κατασκευή σηράγγων που εκτείνονται σε πολλά χιλιόμετρα παρουσιάζει πολλά προβλήματα ιδιότυπα.

Η θέση που θα κατασκευαστεί το τεχνικό έργο περιορίζεται σε μικρή σχετικά επιφάνεια της γης.

Για οικονομικούς λόγους πρέπει να γίνει λεπτομερειακή έρευνα και μελέτη.

Σε ορισμένες περιπτώσεις οι έρευνες αυτές αποκαλύπτουν καταστάσεις, που ο μηχανικός δεν μπορεί να τις προβλέψει.

Ο προϋπολογισμός για την δαπάνη ειδικά όταν πρόκειται για μεγάλες σήραγγες και ειδικά σε περιοχές όπου το γεωλογικό υπόβαθρο είναι πολύπλοκο, μπορεί να είναι πολύ μακριά από το πραγματικό επειδή είναι άγνωστη η κατάσταση του υπεδάφους.

Οι μηχανικοί που θα αναλάβουν τον προγραμματισμό και την σχεδίαση των σηράγγων, πρέπει να μελετήσουν την γεωλογία, την γεωφυσική, την εδαφομηχανική της περιοχής και την μηχανική των πετρωμάτων. 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.

1.4.1. ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ

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.

1.4.2.ΣΚΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

α) Ο καθορισμός της προέλευσης και της κατασκευής στη οποία βρίσκεται το πέτρωμα ή τα πετρώματα της περιοχής.

β) Ο καθορισμός των φυσικών, χημικών και μηχανικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων κατά μήκος του άξονα της σήραγγας.

γ) 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 20 μ. Πιο κάτω από το επίπεδο που θα περάσει το δάπεδο της σήραγγας. Οι αποστάσεις μεταξύ των γεωτρήσεων κυμαίνονται μεταξύ 50 & 150 μ. Ανάλογα με την ομοιογένεια των πετρωμάτων και την γεωλογική εικόνα.

Η όρυξη ερευνητικού φρέατος ή φρεάτων κατά μήκος του άξονα της σήραγγας παρέχει σοβαρά πλεονεκτήματα για την μελέτη του προβλήματος, είναι όμως δαπανηρή και δεν εφαρμόζεται παρά 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.

Κατά την κατασκευή σηράγγων μεγάλων διαστάσεων η προχώρηση των οποίων δεν γίνεται κατά κανόνα απ' ευθείας σε όλη την διατομή τους ορύσσεται μικρή εκσκαφή η οποία βρίσκεται συνεχώς σε προπορεία και αποτελεί ερευνητικό "οδηγό". Εφ' όσον από την εκσκαφή "οδηγό" ή την συμπληρωματική υπόγειων γεωτρήσεων προκύπτουν νέα στοιχεία είναι δυνατό να γίνουν μικροτροποποιήσεις στη σχεδίαση της σήραγγας κυρίως όμως να ληφθούν εκ των προτέρων τα κατάλληλα μέτρα προς αποφυγή κάθε αιφνιδιασμού.

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 μέθοδος ορύξεως της σχεδιαζόμενης σήραγγας.

Η διάνοιξη σήραγγας απλοποιείται και γίνεται περισσότερο οικονομική όσο περισσότερο ομοιογενές και ευσταθές είναι το πέτρωμα.

1.4.3.ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΟΝΤΑΙ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Οι χάρτες που γίνονται στην ύπαιθρο με βάση τις αεροφωτογραφίες δείχνουν την θέση και τις γεωλογικές λεπτομέρειες για την πραγματική κατάσταση των πετρωμάτων στην επιφάνεια του εδάφους .

Το πλήθος και η κατανομή των διαφόρων στοιχείων που συγκεντρώνονται από αυτή την μελέτη δίνουν τους πιο χρήσιμους χάρτες για την γεωλογική διερεύνηση στα στοιχεία κατασκευής .

Οι χάρτες τέτοιου τύπου υποδηλώνουν : Την ύπαρξη διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών ,που βρίσκονται κάτω από το κέντρο της αποσάθρωσης ή των προσχώσεων και επιτρέπουν την συγκέντρωση των βασικών αναγκαίων στοιχείων και συμπερασμάτων για την γεωλογική κατάσταση του εδάφους .

Η χαρτογράφηση αυτή έχει το μεγάλο πλεονέκτημα , ότι δείχνει συγκεκριμένο διαχωρισμό ανάμεσα στα γνωστά και τα υποτιθέμενα στοιχεία.

“Έχουμε διάφορες γεωφυσικές μεθόδους έρευνας.

- α) Βαρυτομετρική και μαγνητική μέθοδος.
- β) Σεισμικές και ηλεκτρικές μέθοδοι.
- γ) Θερμική μέθοδος.
- δ) Μέθοδος ραδιενέργειας.

1.5 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

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

- 1) Τα ορυκτά που τα αποτελούν : χαλαζίες, αστρίοι κ.λ.π.
- 2) Τον τρόπο δημιουργίας : αν είναι εκρηξιγενής , ιζηματογενής και μεταμορφωσιγενής.

- 3) Την δομή : ως προς την οποία εξετάζουμε τα εξής : βαθμός στερεοποίησης ομοιομορφίας των στοιχείων τους, μέγεθος των κόκκων , κρυσταλλικότητα , σχήμα των μεμονωμένων ορυκτών.
- 4) Την υφή: δηλαδή διανομή του ορυκτού στον χώρο και το πορώδες του π.χ. ομοιόμορφη ταινιωτή, αιολική , γραμμική πλακοειδής πορώδες.
- 5) Την διάταξη των στρωμάτων του : δηλαδή παράλληλα, πλάγια ακανόνιστη.
- 6) Την τεκτονική : δηλαδή αν είναι πτυχωμένα, μετατοπισμένα ή αν υπάρχουν απορρίψεις .
- 7) Την στερεότητα θέσεων : δηλαδή αν είναι σταθερά τοποθετημένα χαλαρά αν ασκούν πίεση ή αν πλέουν:
- 8) Την ρωγμάτωση : εξετάζουμε αν υπάρχουν ρωγμές αν οι ρωγμές είναι μικρές ή μεγάλες άδειες ή γεμάτες και τα σημεία αποχωρισμού των ρωγμών.
- 9) Το χημισμό : εξετάζουμε αν υπάρχουν προσμίξεις θείου του αριθμού pH.
- 10) Τις φυσικές ιδιότητες : σημασία της κατασκευής της σήραγγας έχουν οι εξής φυσικές ιδιότητες.
 - α) Στερεότητα κατά την πίεση.
 - β) Συμπιεστότητα.
 - γ) Αντοχή σε θλίψη.
 - δ) Στερεότητα κατά την απώθηση.
 - ε) Γωνία εσωτερικής τριβής.
 - στ) Ικανότητα συγκολλήσεως.
 - η) Διόγκωση του πετρώματος.
 - θ) Συμπεριφορά σε αποφόρτιση.
 - ι) Ικανότητα συγκρατήσεως ύδατος.
 - ια) Ταχύτητα αποσυνθέσεως του υλικού.
 - ιβ) Την υδροπερατότητα.
 - ιγ) Την επίδραση του Co_2 της ατμόσφαιρας.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ Co_2

Με την διείσδυση ατμοσφαιρικού Co_2 σε στρώματα που καταστρέφονται τα - ασβεστάργιλα υφίστανται ισχυρή χαλάρωση.

Με αυτή την χημική αντίδραση προκαλούνται επίσης και διόγκωση του υλικού. Τ τότε οι σχιστόλιθοι σχίζονται σε φύλλα.

1.5.1 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

Διάφορα πετρώματα με μικρή αντοχή , όπως είναι οι πυροκλαστικές συσσωρεύσεις , που έχουν αλλοιωθεί , οι αργιλικοί σχιστόλιθοι που δεν έγιναν πολύ συνεκτικοί και οι ιλυώδεις σχηματισμοί , έχουν την τάση να μετακινούνται αργά μέσα στο άνοιγμα της σήραγγας εξ' αιτίας της πίεσης των υπερκειμένων σχηματισμών .

Σε ορισμένες περιπτώσεις δεν μπορεί κανείς να ξεχωρίζει ποια διαφορά υπάρχει ανάμεσα στην σύνθλιψη και στην διόγκωση.

Η πιο επικίνδυνη κατάσταση στις σήραγγες προκαλείται από την διόγκωση των συνθλίψεων ή την ροή μέσα στο άνοιγμά τους, που δημιουργείται από τις μάζες των πετρωμάτων που έχουν αλλοιωθεί ή θρυμματιστεί.

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 με νερό ή από την 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 αμέσως μετά την εκσκαφή της σήραγγας και όπως είναι φανερό η κίνηση αυτή δημιουργείται επειδή οι πιέσεις αυτές δεν έχουν ισορροπήσει .

1.5.2.ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΠΟΥ ΔΙΑΤΡΕΧΟΥΝ ΟΙ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΑΠΟ ΑΛΛΑΓΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

Ασβεστόλιθος και ψαμμίτες

Τα ασβεστολιθικά πετρώματα και οι ψαμμίτες δεν παρουσιάζουν δυσκολίες πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Κάτω από αυτόν οι ασβεστόλιθοι μπορούν να περιέχουν μεγάλες ποσότητες ύδατος, ειδικότερα μέσα στις κοιλότητες που άμα

ανατιναχτούν με την κατασκευή της σήραγγας , μπορεί να εισδύσουν μέσα σε αυτή.

Οι ζώνες που περιέχουν τελείως θρυμματισμένους ασβεστόλιθους έχουν συνήθως περιορισμένο πλάτος.

1.5.3 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Η γνώση των θερμοκρασιών οι οποίες θα επικρατήσουν κατά την όρυξη της σήραγγας έχει σημασία γιατί επηρεάζει την υγεία και την απόδοση των εργαζομένων. Για αυτό πρέπει να καθοριστούν ανάλογα η ποσότητα και η θερμοκρασία του αέρα που απαιτείται για τον αερισμό της σήραγγας.

Θερμότητα οροσειράς

α) Ένταση θερμότητας οροσειράς: Το ποσό της θερμότητας οροσειράς καθορίζεται κύρια .

- Από την θερμότητα που προέρχεται από το εσωτερικό της γης.
- Από την θερμότητα που ελευθερώνεται λόγω της διάσπασης των ατόμων των ραδιενεργών στοιχείων.
- Από την ακτινοβολία του ήλιου στην επιφάνεια της γης .
- Από τον όγκο της οροσειράς που βρίσκεται επάνω και στις πλευρές της σήραγγας.
- Από την διάταξη που έχουν τα στρώματα των πετρωμάτων.
- Από τον τρόπο διέλευσης, του ύδατος, από το αν υπάρχει κρύο ή ζεστό νερό.
- Από την αγωγιμότητα.

β) Γεωθερμική βαθμίδα

Εξαρτάται από:

- Τον τρόπο διάταξης των στρωμάτων.
- Τις μεταβολές της θερμοκρασίας των υδάτων που ρέουν στην οροσειρά.
- Την διαμόρφωση της επιφάνειας του εδάφους.

Γενικά οι γεωθερμικές βαθμίδες κυμαίνονται από 30-33 μέτρα.

Καθορισμός της αναμενόμενης θερμοκρασίας σήραγγας

Μπορεί να προσδιορισθεί εκ των προτέρων

- α) Με μαθηματική μέθοδο προσδιορισμού.
- β) Με μαθηματικό - πειραματικό προσδιορισμό.
- γ) Με εμπειρική μέθοδο προσδιορισμού.
- δ) Με πείραμα πάνω σε μακέτα.

1.6. ΓΕΝΙΚΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Σε αυτό το στάδιο όπως έχει προαναφερθεί 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 ασυνεχειών τους. Όταν πρόκειται για βραχώδεις σχηματισμούς , πρέπει να καταβάλλεται ιδιαίτερη προσπάθεια για τον εντοπισμό αποσαθρωμένων ζωνών . Στους ιζηματογενείς σχηματισμούς ιδιαίτερα, εξετάζεται η συμφωνία ή η ασυμφωνία των στρώσεων , ο βαθμός διαγένεσης , το μέγεθος των κόκκων και το πάχος των στρώσεων.

Λαμβάνονται επίσης δείγματα πετρωμάτων για ορυκτολογική πετρωλογική ή άλλη εργαστηριακή εξέταση. Επακόλουθο της αλλαγής 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 και διευθύνσεις ασυνεχειών , μέτωπα επωθήσεων, γραμμές εφίπτευσων και μεταπτώσεων , άξονες συγκλίνων κ.τ.λ.
- Γεωμορφολογικά φαινόμενα , ειδικότερα αυτά που βρίσκονται σε ενέργεια , όπως κατολισθήσεις, καθιζήσεις κ.λ.π.
- Σημεία εμφανίσεως στην επιφάνεια μεταλλευμάτων ποταμών, λιμνών κ.λ.π.

Παλαιότεροι γεωλογικοί χάρτες ή γεωλογικοί χάρτες άλλης κλίμακας , είναι δυνατόν να δώσουν 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 η ύπαρξη 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 σημασίας είναι τομή κατά την διεύθυνση της σήραγγας η οποία θα χρησιμοποιηθεί στα άλλα στάδια της τεχνικής 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 εξάπλωσή τους.

Οι διάφοροι γεωλογικοί σχηματισμοί και τα τεκτονικά στοιχεία σημειώνονται πάνω στους χάρτες και στις τομές με τα σύμβολα που φαίνονται στον πίνακα.

1.6.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ ΜΕ ΤΗΝ

ΣΧΕΔΙΑΣΗ

Η σχεδίαση της σήραγγας πρέπει να βασιστεί σε σίγουρες πληροφορίες για την φυσική κατάσταση, την αντοχή και τις άλλες ιδιότητες των γεωλογικών σχηματισμών μέσα στους οποίους θα διανοιχτεί η σήραγγα και στις άλλες συνθήκες, που επικρατούν σε αυτούς (παρουσία νερών, αερίων, θερμοκρασίας) και πρέπει να επαληθευτούν και να συμπληρωθούν όλες οι γεωλογικές γνώσεις της περιοχής από το προηγούμενο στάδιο.

Οι ερευνητικές εργασίες σε αυτό το στάδιο, μπορεί να είναι πηγάδια, κατακόρυφα ή κεκλιμένα, τα ορύγματα και οι στοές. Κατά τις εργασίες αυτές διεξάγονται επί τόπου για τον υπολογισμό των ιδιοτήτων των πετρωμάτων.

Η τοποθέτηση των παραπάνω ερευνητικών έργων γίνεται έτσι ώστε αργότερα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα κατά την διάρκεια της κατασκευής και της λειτουργίας της σήραγγας. Έτσι κατά την διάρκεια της κατασκευής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μεταφορά των προϊόντων της εξόρυξης ή για την αρχή ενδιάμεσων μετώπων, για αερισμό ή και για αποστράγγιση νερών.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Διεξάγονται με την διάνοιξη οριζόντιας στοάς - οδηγού που προηγείται του μετώπου εξόρυξης της σήραγγας.

Συνήθως γίνεται συνδυασμός προπορευόμενης στοάς και δοκιμαστικών γεωτρήσεων, ιδιαίτερα όταν έχουμε σήραγγες σε πάρα πολύ μεγάλο βάθος.

1.6.2 ΣΥΛΛΗΨΗ - ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Υπάρχει ένα πλήθος παραγόντων που ασκούν επίδραση στην σύλληψη, στα φορτία, στην εγκατάσταση και στις συνθήκες κατασκευής 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 του προφίλ καθώς και ο προορισμός 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.

- α) Προώθηση (να προχωράμε σκάβοντας όλο το πλάτος της σήραγγας) καθ' όλη την διατομή χωρίς υποστήριξη.
- β) Κλασσικές μέθοδοι εκσκαφής και μέθοδοι χρησιμοποιούμενοι στα ορυχεία.
- γ) Διαδικασίες κατασκευής συνδυασμένες με εργασίες επιφανειών.
- δ) Μέθοδοι κατασκευής για προσαράξεως (ακουμπάμε στον πυθμένα ή δημιουργία κοινοτήτων),
- ε) 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 ασταθή. Η πρώτη μέθοδος δεν μπορεί να εφαρμοσθεί παρά σε βραχώδη εδάφη ανθεκτικά, όπου επιπλέον είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και υποστηρίξεις που αναφέρονται στις μεθόδους (β).

Στο εσωτερικό των βράχων ή σε εδάφη μετακινούμενα ή κοκκώδη χρησιμοποιείται οποιαδήποτε από τις παραπάνω μεθόδους εκτός φυσικά της (α). Αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εδάφη ιδιαίτερως ασταθή, πλαστικά ή ρευστά στα οποία οι μέθοδοι των 2 τελευταίων κατηγοριών δεν ενδείκνυνται περισσότερο.

ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΒΟΛΗΣ

Τα εκρηκτικά κατέχουν μια χημική ιδιότητα που τους προσδίδει την ικανότητα να παράγουν στο εσωτερικό ενός περιορισμένου χώρου (όπως υπονόμου) μια ποσότητα αερίων και θερμότητας τέτοια που οι συμπίεσεις, που 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 :

- α) ζώνη θρυμματισμού
- β) ζώνη μετατόπισης
- γ) ζώνη σχισίματος
- δ) ζώνη δόνησης

Οι εκρηκτικές ύλες μπορούν να ταξινομηθούν κατά τους ακόλουθους τρόπους.

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

1) Στην εκσκαφή των σηράγγων ο επιδιωκόμενος σκοπός να επιταχύνουμε την αναπήδηση (αποκόλληση) της πιο μεγάλης ποσότητας βράχου με την μικρότερη ποσότητα εκρηκτικής ύλης.

2) Επιπλέον για την διευκόλυνση του φορτώματος και της μεταφοράς πρέπει να έχει τεμαχιστεί επαρκώς.

3) Για να πραγματοποιηθούν όλες αυτές οι συνθήκες πρέπει η κατάσταση των οπών 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 σε όλη την τομή χωρίς υποστήριξη.

Είδαμε ότι η λύση αυτή δεν μπορεί να εφαρμοσθεί παρά μόνο σε βραχύδη εδάφη καλού κρατήματος. 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.

- α) Διάτρηση των οπών έκρηξης μέσα στην μετωπική επιφάνεια προσβολής.
- β) Παραγέμισμα των οπών με εκρηκτική ύλη και έκρηξη.
- γ) Απομάκρυνση των θρυμμάτων του βράχου.
- δ) Συμπληρωματικές εργασίες (κανονισμός του προφίλ, καθαρισμός των θρυμμάτων , πιθανή επένδυση).

Εκσκαφή χωρίς υποστήριγμα του μετώπου δράσης , αλλά με τοποθέτηση υποστηρίγματος στο εκσκαπτόμενο προφίλ.

Ας εξετάσουμε κατ' αρχήν και με εκβάθυνση το ρόλο που παίζουν οι διάφοροι μέθοδοι υποστήριξης στην κατασκευή των σηράγγων.

- 1) Προστασία κατά την πτώση απομονωμένων λίθων που αποσπώνται από τα τοιχώματα εκσκαφής αλλά χωρίς σκοπό να υποστηρίξουμε την μάζα που θα σκάψουμε.
- 2) Υποστήριξη ολόκληρου του υπεδάφους χωρίς πάντως να θελήσουμε να ανατινάξουμε αντίσταση στις παραπέρα κινήσεις του βράχου.
- 3) Υποστήριξη που να εξασφαλίζει ιδιαίτερα την σταθερότητα του υπεδάφους, εμποδίζοντας κατά ένα βαθμό μελλοντικές κινήσεις του βράχου.
- 4) Υποστήριξη ολόκληρου του υπεδάφους, έχοντας σαν σκοπό να διασφαλίζει την τέλεια σταθερότητα και την ολική εξάλειψη κίνησης του εδάφους γύρω από την σήραγγα.
- 5) Υποστήριξη της παθητικής ώθησης του εδάφους γύρω από το έργο για μια ανακούφιση της οριστικής επένδυσης.

Η εκσκαφή καθ' όλη την τομή, χωρίς υποστήριξη του μετώπου δράσης είναι χωρίς αμφιβολία η πιο οικονομική, το πεδίο εφαρμογής της οφείλει να επεκταθεί με κάθε μέσο. Θα προστρέξουμε επίσης σε εδάφη για τα οποία μια υποστήριξη είναι απαραίτητη αλλά η εφαρμογή της μπορεί να επιβραδυνθεί ή να μη γίνει παρά μερικώς εκμεταλλεόμενη την εποχιακή αντίσταση των γειτονικών στοιβάδων του εδάφους.

Σε όλες τις περιπτώσεις πρέπει να κρατήσουμε το προφίλ ελεύθερο, απαλλαγμένο από κάθε εγκατάσταση ή ξένα υλικά που ενοχλούν και για όσο χρόνο η οριστική επένδυση δεν θα έχει γίνει.

Υποστήριξη με μεταλλικές κατασκευές

Τα ακόλουθα περβάζια (πλαίσια) από μέταλλο εφαρμόστηκαν στην πράξη.

- α) Περβάζια αποτελούμενα από αψιδοστάτες κατακόρυφους που (καταλήγουν) φέρουν ένα στοιχείο καμάρας (βόλου).
- β) Περβάζια (πλαίσια) με κατακόρυφους αψιδοστάτες στους οποίους προστίθεται ένα στοιχείο σχήματος τόξου περιφέρειας.
- γ) Τόξα περιφέρειας (κύκλου) σχηματιζόμενα σε τραβέρσες τεμάχια ξύλου που βρίσκονται καθ' όλο το μήκος του τόξου τοποθετούνται στο σημείο που αρχίζει ο θόλος.
- δ) Τόξα κύκλου που στηρίζονται μερικώς σε τραβέρσες και μερικώς σε μεταλλικούς αψιδοστάτες.
- ε) Κυκλικά περβάζια (πλαίσια).

Ξύλινα υποστηρίγματα

Οι διάφοροι τύποι υποστηριγμάτων μπορούν βεβαίως να κατασκευαστούν επίσης με ξύλο σαν υλικά βάσης. Το ξύλο είναι ενκατέργαστο, προσαρμόζεται ιδιαίτερα καλά στις μεταβολές των ωθήσεων και είναι σχετικά ελαφρύ.

Το τρέξιμο του επίσης δηλώνει την υπερβολική αύξηση των φορτίων και έχει δυνατότητα ευρείας παραμόρφωσης. Αντίθετα η αυθεντικότητα του είναι σχετικά μικρή, πράγμα που απαιτεί την υιοθέτηση των πιο μεγάλων διαστάσεων, σαπίζει και η επαναχρησιμοποίηση του δεν είναι δυνατή εκτός από μερικές περιπτώσεις αρκετά περιορισμένες. Οι λόγοι αυτοί είναι τα αίτια τα οποία κάνουν την χρήση των μεταλλικών υποστηριγμάτων τόσο συχνή τις τελευταίες δεκαετίες.

Η τοποθέτηση των μεταλλικών υποστηριγμάτων απαιτεί λίγο χρόνο οι περιορισμένες διαστάσεις του επιτρέπουν να μειωθεί, αφ' ενός μεν η εκσκαφή του απαραίτητου συμπληρωματικού χώρου για τοποθέτηση τους αφ' ετέρου δε η ποσότητα των υλικών που θα χρειαστούν για το γέμισμα του χώρου ανάμεσα στο τσιμέντο και τον βράχο. Η αντικατάσταση ενός αψιδωτού ξυλότυπου από χάλυβα των 200 mm μπορεί να γίνει π.χ. από ένα κύλινδρο θόλο των 30-40 cm διαμέτρου.

Η παρουσία νερού (υγρασίας) και αέρα μέσα στις σήραγγες επιταχύνουν το σάπισμα του ξύλου. Για τους λόγους που περιγράφουμε παραπάνω η υποστήριξη ολόκληρου του προφίλ των σηράγγων με ξύλο γίνεται και πιο σπάνια.

Υποστήριξη με στηρίγματα από οπλισμένο σκυρόδεμα

Η τεχνική των κατασκευών ολόενα και πιο συχνή με προκατασκευασμένο μπετόν και κυρίως με μπετόν προεκτεταμένο οδήγησε στις μέρες μας σε χρησιμοποίηση στοιχείων με οπλισμένο σκυρόδεμα για προσωρινές υποστηρίξεις ορισμένων υπεδαφών.

Ένας από τους κύριους λόγους είναι η τάση να θέλουμε να εξοικονομήσουμε το ξύλο και τον χάλυβα ενός συγχρόνως τα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να ενσωματωθούν στην τελική κατασκευή, όπου αποτελούν ένα σπουδαίο μέρος. 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 αντίθετα αν η απόσταση είναι υπερβολική, το

βάρος των τσιμεντένιων αφίδων 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 τοποθέτησής 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.

Στερέωση με μπουλόني του βράχου (Αγκύρωση της στένης).

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 μιν σε ότι αφορά την προσωρινή υποστήριξη της υποστήριξη της υπό εκσκαφής τομής αλλά 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 αλλά σε μικρή απόσταση το ένα από το άλλο έτσι ώστε η ειδική προσκόλληση 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 - ARME 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 ωθήσεις εκδηλώνονται κυρίως στο θόλωμα και στους δοκούς στήριξης (κολώνες) στα σημεία αυτά ενδείκνυται να γίνει το αγκίστρωμα. Σύμφωνα με μετρήσεις των πραγματοποιούμενων παραμορφώσεων στα ορυχεία RUHR, το ανασήκωμα του θόλου γαλαρίας στερεωμένο με άγκιστρο σε BETON - ARME ήταν μόνο 10 cm ενώ ένα τμήμα παρόμοιο που ήταν αγκυρωμένο παραμορφώθηκε κατά 140 cm. Εκτός από την τοποθέτηση άγκιστρων σημαντικό είναι να καλύψουμε την επιφάνεια (την αγκυρωμένη) με ένα μεταλλικό στήριγμα το



οποίο όχι μόνο εξασφαλίζει μια άμεση προστασία κατά των πτώσεων λίθων που αποκολλούνται από την μάζα αλλά θα ενσωματωθεί στην στοιβάδα του πεταχτού μπετόν ή της εσωτερικής επένδυσης με BETON ARME που θα γίνει αργότερα.

Περιληπτικά , τα διάφορα πλεονεκτήματα του καρφώματος 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 εννοεί έτσι την εργασία χωρίς να ενοχλούνται οι μηχανές του εργοταξίου.
- 2) Το αγκίρωμα του βράχου καταργεί την χρήση ξύλων 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 και καταργεί εξ άλλου τα μειονεκτήματα του γεμίσματος του κενού που μένει ανάμεσα στο ξυλότυπο και το βράχο.
- 3) Ακόμη και σε σχέση με τους μεταλλικούς ξυλότυπους ο τύπος αυτό του υποστηρίγματος εξασφαλίζει μια οικονομία από την επιπλέον εκσκαφή του προφίλ που απαιτεί την τοποθέτηση των δοκών υποστήριξης: εξ άλλου η ρύθμιση είναι πάντα επίπονη και δαπανηρή γιατί οι τεχνικοί έχουν την τάση να σκάβουν προβίπιο πλατειά από ότι χρειαζόμαστε . Εξ άλλου τα στοιχεία του σκαπτόμενου βράχου θέτουν σε κίνδυνο την αντοχή της υποστήριξης.
- 4) 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.
- 5) Ο RAVCEWICZ δημοσιεύει τον παρακάτω πίνακα όταν κάνει σύγκριση από οικονομική άποψη ανάμεσα σε μια υποστήριξη με μεταλλικές αφίδες και μια υποστήριξη με μπουλόνια σε ένα τούνελ που τροφοδοτεί με νερό τη ΝΕΑ ΥΟΡΚΗ. Συνάγεται πως σπουδαίες οικονομίες μπορούν να γίνουν χρησιμοποιώντας άγκιστρα κυρίως 80% σε χάλυβα, 10% στις εκσκαφές και 20%ω σε ώρες εργασίας , πράγμα που σημαίνει , λαμβάνοντας υπόψη τις Σουηδικές συνθήκες μια μέση οικονομία της τάξεως του 50%.

ΕΙΔΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΑΣ (Σουηδικ. Κορώνες)	Αψίδες Χαλύβδινες		Αγκιστρώματα		Οικονομία
			Ποσό-τητα	Τιμή	Ποσ ό-τητα	Τιμή	Ποσό-τητα
Χάλυβας	kg	1	520	520	75	75	415
Ξύλο	m ³	250	01	25	-	-	01
Ωρ.Εργασ.	h	10	137	1370	108	1080	29
Εκσκαφή	m ³	58	155	580	14	812	1,5
Μπετόν	m ³	87	41	26	26	226	1,5
Ξυλότυπος	m ³	7	12	12	12	84	-
Σύνολο		KrS				2277	

Ας σημειώσουμε τόλος ότι το αγκιστρωμα του θόλου δεν μπορεί να θεωρηθεί σαν οριστική υποστήριξη παρά σε εξαιρετικές περιπτώσεις και σε βράχους αδιάβροχους και 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 κ.τ.λ.) και αν ο αγκιρωμένος βράχος θεωρηθεί σταθερός είναι δυνατόν να εμποδίσουμε οριστικά κάθε άλλη συμπληρωματική επένδυση.

Ας σημειώσουμε ακόμη έναν από τους σπουδαίους τομείς χρησιμοποίησις των αγκιρωμάτων του βράχου που είναι η τοποθέτηση μπουλονιών μέσα σε αυτές που διανοίχτηκαν από μια γαλαρία προώθησης με ένα ικανό μήκος με σκοπό να υποστιάξουμε την οριστική εκσκαφή.

Όπως εκτός από την ποιότητα του βράχου, η σταθερότητα του θόλου (μη υποστηριγμένου) εξαρτάται από την απόσταση και το χρόνο, έτσι σε βράχους μέσης ποιότητας μπορούμε να επωφεληθούμε και από την δυνατότητα εκσκαφής κατ' αρχάς μιας γαλαρίας προώθησης μικράς διατομής, μη υποστηριγμένης, της οποίας η σταθερότητα μπορεί να θεωρηθεί επιχιακό ασφαλής, και από την οποία πραγματοποιούμε το αγκίρωμα του οριστικού προφίλ.

Υποστήριξη του υπεδάφους με πεταχτό μπετόν ή τσιμεντοκονιάμα

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 κατασκευή (κατάστρωση) εγκαταστάσεων προσθήκης τσιμεντοκονιάματος κατέστη δυνατή την υιοθέτηση συγκριμάτων που περιέχουν στοιχεία φθάνοντας σε 2rMM. Η συνένωση ορισμένων χημικών προϊόντων βελτίωσε την συγκόλληση και τις ιδιότητες της αντοχής και επέτρεψε την εφαρμογή στοιβάδων πιο παχέων. Κατά την LAUFFER, το στατικό αποτέλεσμα της σχετικώς λεπτής στοιβάδας τσιμεντοκονιάματος ή πεταχτού μπετόν μπορεί να περιληφθεί στα ακόλουθα.

- 1) Λόγω της σχετικά υψηλής αντοχής στην έλξη, η στοιβάδα του τσιμεντοκονιάματος εφαρμοζόμενη σε επιφάνειες παρόμοιες με τον βράχο σχηματίζει ένα είδος οπλισμού σε σχήμα πλάτος πάνω στο σύστημα - φορέα (βράχο) 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 ενσωματωμένων στο τσιμεντοκονιάμα.
- 2) Ομοίως το αγκύρωμα του βράχου, το πεταχτό μίγμα άμμου και τσιμέντου ή πεταχτό τσιμέντο προσδίδει στο έδαφος μια κατάσταση οξυμένης αντοχής που συμμετέχει έτσι στο σχηματισμό ενός θόλου φυσικού και ανθεκτικού. Μία άλλη σπουδαία επίδραση, αν και χωρίς να είναι στατικής φύσεως είναι η προστασία που επιφέρεται στους βράχους που έχουν τάση να αποσυντεθούν 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.
- 3) 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 σχήματος και διαστάσεων οποιονδήποτε και μερικές επιφάνειες που μπορούν να επενδυθούν εποχιακά. Σύμφωνα με τα πειράματα η προσθήκη άμμου και τσιμέντου μπορεί επίσης να εφαρμοστεί για την στερέωση σωρών χωμάτων ή λίθων. Πάντως εκτεταμένα πειράματα στον τομέα αυτών μας λείπουν ακόμα.

Στεγανοποίηση με την βοήθεια συστήματος

Οφείλουμε ακόμη να μιλήσουμε εδώ για την μέθοδο διάτρησης σηράγγων γενομένης κυρίως σε εδάφη θρυμματισμένα και πλημμυρισμένα από νερό, όπως είναι η περίπτωση των ασβεστόλιθων καρσικής φύσης και των πολυθρυμματισμένων βράχων. Στην μέθοδο αυτή ψάχνουμε πριν από όλα να συγκρατήσουμε τις μεγάλες ποσότητες νερού που βρίσκονται συγκεντρωμένες υπό πίεση στο εσωτερικό του υπεδάφους, ενώ ο βράχος είναι από μόνος απόλυτα ανθεκτικός ώστε η εκσκαφή ολόκληρης της διατομής να γίνει με ελαφρό υποστήριγμα πάντως χωρίς σιδηρόστρωση του μετώπου δράσης. Αρχίζει με γέμισμα του τμήματος του τούνελ όπου οι μεγάλες αφίξεις νερού διαπιστώθηκαν από τον βράχο ή λίθων, μετά κατασκευάζεται λίγο προς τα πίσω ισχυρό φράγμα από μπετόν αρμέ. Από το σημείο αυτό στην συνέχεια εκτελείται σε σχήμα βεντάλιας έκχυση περιβάλλοντος προφίλ. Το μήκος των οπών εισαγωγής κυμαίνεται από 5:20 mm κάτω από τοπικές συνθήκες.

1.7 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗΣ ΣΕ ΕΔΑΦΗ ΚΑΙ ΒΡΑΧΟΥΣ ΜΕΣΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ

Έχουμε την :

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

Κλασσικές μέθοδοι εκσκαφής του προφίλ κατά διαδοχικά στάδια

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 που αυξάνεται με την ώθηση στην οροφή θα υιοθετήσουμε στην Βελγική μέθοδο.
- β) Εάν το έδαφος είναι ανίκανο για τον παραπάνω σκοπό και η κατοχή του στο ύψος της βάσεως δεν 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 εάν το φορτίο δεν μπορεί να μεταδοθεί δια μέσου μιας χαμηλής επιφάνειας σε όλο το πλάτος της βάσεως , υποχρεούμαστε να εφαρμόσουμε την Ιταλική μέθοδο.

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 ένα πολύ μεγάλο αριθμό παραλλαγών , ένα μέρος των οποίων παρουσιάστηκε σε προηγούμενες περιγραφές. Μια από τις παραλλαγές αυτές συγκεντρώνει τα πλεονεκτήματα της Αγγλικής και 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 μόνο είδος εργασίας να γίνεται στο εσωτερικό ενός και του αυτού δακτυλίου.

Αντίθετα με σκοπό την επιτάχυνση των 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 τα 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 μεσολάβηση αρκετού χρόνου.

Από την Αυστριακή μέθοδο κρατάμε την υποστήριξη με την βοήθεια τμημάτων ξύλου για επέκταση άλλων προσαρμοσμένων καλά στις μεταβολές των πιέσεων του εδάφους. Η υποστήριξη αυτή συνδυάζεται στα άσχημα εδάφη, με την τοποθέτηση εγκάρσιας θωράκισης. Χρησιμοποιώντας τεμάχια ξύλου σε σχήμα βεντάλιας η εκσκαφή του 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 εκείνη που καταλαμβάνει συνθήκη η οριστική τοιχοποιία. Τα υποστηρίγματα τοποθετημένα σε σχήμα βεντάλιας προσφέρουν επιπλέον 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.

1.7.1 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΜΕ ΑΝΑΜΕΙΚΤΟ ΞΥΛΟΤΥΠΟ

Η ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ

Οι διάφορες κλασικές μέθοδοι κατασκευής σηράγγων απαιτούν όλες τις χρησιμοποιήσεις σπουδαίων ποσοτήτων ξύλου. Με εξαίρεση τις σανίδες θωρακίσεως, σχεδόν το σύνολο των άλλων ξύλινων στοιχείων δύναται να παραληφθούν εκ νερού. Παρόλα αυτά πρέπει να υπολογίσουμε ορισμένες απώλειες ένεκα προσαρμογής των τεμαχίων στις διάφορες διαστάσεις ως και το σάπισμα κατά την παραμονή τους στο υγρό αέρα των υπογείων. Όλα αυτά οδηγούν αργά αλλά σταθερά στην καταστροφή των διαφόρων τεμαχίων.

Μια και η κατασκευή των τούνελ και των γαλαριών επαναληπτική υποστήριξη ενός μεγάλου αριθμού προφίλ διαστάσεων η φυσική πρόταση των κατασκευαστών επιφέρουν συστήματα υποστήριξης που επιτρέπουν την επανατακτοποίηση σε μεγάλο ποσοστό των στοιχείων των ξυλοτύπων, στις γαλαρίες προώθησης όσο και στα οριστικά προφίλ.

Η τάση αυτή απέτρεψε να αναπτυχθούν μέθοδοι κατασκευής που χρησιμοποιούν μεταλλικά στοιχεία και πιο πρόσφατα από μπετόν για προσωρινή υποστύλωση των προφίλ.

Επειδή τα συστήματα φορείς αναφέρθηκαν και περιγράφηκαν πιο πάνω θα περιοριστούμε στην περιγραφή των διαδικασιών στις πιο συνήθεις :

α) τα ξύλινα τεμάχια θωράκισης μπορούν να αντικατασταθούν με μεγάλες πλάκες, ενώ τα στελέχη υποστύλωσης παραμένουν ξύλινα.

β) τα ξύλινα τεμάχια θωράκισης υποβαστάζονται από μεταλλικά στελέχη.
γ) και τα δύο δηλαδή τα τεμάχια θωράκισης και τα στελέχη υποστύλωσης να αποτελούνται από χάλυβα.

Πλάκες θωράκισης υποβασταζόμενες από μεταλλικά στηρίγματα

Μέσα σε τούνελ μεγάλης διαμέτρου, η μέθοδος των πλακών θωράκισης συνδυάζεται με την τοποθέτηση μεταλλικών αψίδων.

Σύστημα που χρησιμοποιείται στο ΜΕΤΡΟ του Σικάγου

Μία τέτοια εφαρμογή υιοθετημένη κατά την κατασκευή του ΜΕΤΡΟ του Σικάγου, οι αψίδες που κατασκευάζονται από σίδηρο τομής σχήματος I 2,50mm τοποθετήθηκαν σε αποστάσεις 0,60 - 075 m. Οι πλάκες θωράκισης που χρησιμεύουν στην υποστύλωση του βράχου στερεώνονται με μπουλόνια, επιτρέποντας την εκσκαφή της διατομής σε περισσότερα στάδια.

Αρχίζουμε με την εκσκαφή της γαλαρίας οροφής, μετά εισάγουμε τις πλάκες σύνθεσης και το πάνω μέρος της αψίδας στηριγμένο με την σειρά του πάνω στο κεντρικό τμήμα του βράχου (STROSS). Στην συνέχεια εκσκάπτουμε πλάγια τμήματα σε σχήμα αναβαθμίδων συνδεόμενες μεταξύ τους πηγαίνοντας από πάνω προς τα κάτω με άλλες νέες πλάκες και με αψίδες που βρίσκονται ήδη στην θέση.

Χρησιμοποίηση πλακών θωράκισης και αψίδων υποστύλωσης

Η μέθοδος στήριξης του βράχου με πλάκες θωρακισμένες περιγράφεται παρακάτω υιοθετήθηκε με ορισμένες μετατροπές κατά την διάρκεια κατασκευής μερικών τσιμεντένιων τμημάτων της Βουδαπέστης.

Με την ευκαιρία αυτή χρησιμοποιήθηκαν πλάκες των 50cm πλάτους & 90cm μήκους, φτιαγμένες από χαλύβδινη των 8-10 mm, εφοδιασμένη στα άκρα της με στρώσεις των 8cm. Η εκσκαφή άρχισε αφού κατασκευάστηκε μια τομή ύψους 1,5 - 2 m που αντιστοιχεί στις διαστάσεις της πλάκας η οποία μετά την τοποθέτησή της στηρίζεται στο στήριγμα που βασίζεται πάνω στην βάση της τομής. Ταυτόχρονα η πλάκα βιδωνότανε στις οπές που βρισκότανε φτιαγμένες οι νευρώσεις και στηριζότανε στα στοιχεία που αντιστοιχούν στο προηγούμενο ημιδακτύλιο.

Στην συνέχεια συνεχίστηκε η τοποθέτηση των πλακών θωράκισης και από τις δύο μεριές της τομής σταδιακά μέχρι να συναντήσει το σημείο έναρξης της αψίδας.

Οι πλάκες που τοποθετήθηκαν στηρίχτηκαν διαδοχικά με διαμήκη τεμάχια ξύλου. Τα τελευταία στοιχεία θωράκισης στηρίχθηκαν στην αρχή της αψίδας σε δοκούς από ξύλο. Μετά την τοποθέτηση των αψίδων, το βαγονάκι αφαιρείται και οι αψίδες του μεταλλικού ξυλοτύπου θωράκισης στερεώνονται κόντρα στις αψίδες του ξυλοτύπου με τεμάχια ξύλων πιο κοντά. Στην συνέχεια η τοιχοποιία του θόλου ξαναρχίζει αφού αφαιρεθεί η χαμηλότερη πλάκα θωράκισης και το κατώτερο τέταρτο της αψίδας συγχρόνως από τις αψίδες του μεταλλικού ξυλοτύπου με την βοήθεια μια καινούργιας σειράς στηριγμάτων.

Με τον τρόπο αυτό η τοιχοποιία του θόλου μπορεί να κατασκευασθεί με κάθε σιγουριά και οι πλάκες με τις νευρώσεις μπορούν να αφαιρεθούν με τις αψίδες υποσύλωσης.

Στην συνέχεια το προφίλ, κατασκευάζεται σύμφωνα με την Βελγική μέθοδο όπου οι κατακόρυφοι τοίχοι κατασκευάζονται κατά στάδια αφού ξεκαλουπώνονται βαθμιαία, κάτω από τον φτιαγμένο θόλο.

Η εφαρμογή αυτή γίνεται σε εδάφη σταθερά και παρακολουθείται από κοντά η εκσκαφή έτσι ώστε οι δακτύλιοι θωράκισης να μην μένουν χωρίς στήριγμα για πολύ παρά μόνο λίγες ώρες.

1.7.2 ΤΟΥΝΕΛ ΣΕ ΕΔΑΦΗ ΑΣΤΑΘΗ ΚΑΙ ΤΟΥΝΕΛ ΠΟΥ ΠΕΡΝΟΥΝ ΑΠΟ ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΝΕΡΟΥ

Η κατασκευή των τούνελ για αστικά δημόσια έργα αστικών επικοινωνιών και γραμμές METRO εγκατεστημένες σε κατώτερα στρώματα του εδάφους γίνεται πιο συχνά σε εκσκαφές καλά καλυμμένες. Η εκσκαφή εξασφαλίζεται από μια κλασσική στερέωση η 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 συνιστάται στην προκαταρκτική εκσκαφή στενών τομών που διανοίγονται από την επιφάνεια του εδάφους υπό την προστασία μιας κατακόρυφης υποστύλωσης. Αφού επιτύχουμε το επιθυμητό βάθος, 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 στην 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 υπόγειων εργασιών.

Η διαδικασία περιορίζει το 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.

Μία προκαταρκτική συνθήκη της εργασίας αυτής είναι η ύπαρξη κάτω από τα 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.

Μία 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 συνιστάται στην κατασκευή των διάτρητων πασσάλων είτε δίπλα - δίπλα είτε απομακρυσμένα το ένα από το άλλα, ενώ η σειρά των πασσάλων τακτοποιείται με ένα τεμάχιο BETON ARME που τοποθετείται στην βάση του θόλου.

Κατασκευή τούνελ με την μέθοδο βυθίσματος ή των προκατασκευασμένων κιβωτίων

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

Εμβύθιση κλειστών κιβωτίων

Οι δύο παραλλαγές που δύνανται να εφαρμοσθούν είτε η ξηροκατασκευή του προφίλ του τούνελ, σε χώρους δημιουργείται από πλάγια τοιχώματα πάνω από τον χώρο εργασιών παράδειγμα τα κομμάτια 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 μέθοδος αυτή κατασκευής 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 μέθοδος δεν είναι ικανές από μόνες τους να λύσουν την αδιαπερατότητα του υπεδάφους που παρουσιάζονται κατά την κατασκευή λόγω διαφυγής αέρος δια μέσου του εδάφους.

Από το γεγονός ότι η διαδικασία αυτή απαιτεί παρά μια ελάχιστη κάλυψη του εδάφους πάνω σε τούνελ, αυτό θα μπορούσε να κατασκευασθεί όσο το δυνατόν πιο ψηλά πράγμα που μειώνει το μήκος της ράμπας υποδοχής.

Στην πραγματικότητα η παραπάνω διαδικασία δεν συνιστάται καθόλου από τις πνευματικές μεθόδους των εργασιών. Τα προκατασκευασμένα κιβώτια κατεβάζονται ανάμεσα στις σκαλωσιές των οδηγών μέχρι το βάθος όπου είναι η επιφάνεια 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 τοιχώματα για να δημιουργηθούν σημεία σύνδεσης.

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

Προσάραξη - τοποθέτηση επιπλέον κιβωτίων

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 από την επιχωμάτωση τους με την βοήθεια που προέρχονται από βάθος . Η σύνθεση ανάμεσα σε γειτονικά στοιχεία πραγματοποιείται κάτω από την πίεση πιεσμένου αέρα με την βοήθεια κλωβού δύτη.

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

Στην συνέχεια μεταφέρεται επί τόπου με επίπλευση ένας κλωβός δύτη, κατά τρόπον 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 με βέτεση την ανώτερη πλάκα η οποία συνδέεται καλά με τις αντίστοιχες πλάκες των κιβωτίων.

Αφού τελειώσει η εργασία αυτή και αφού τοποθετηθούν ένα αδιάβροχο μηχανισμό (είδος μεμβράνης) στηριγμένο σε ένα από τα διάτρητα μετωπικά τοιχώματα αποκλείεται από το 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 της ερμητικότητα του συνδέσμου (παρέμβαση) 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 εξασφαλισθεί 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 ακόμη καλύτερα σύμφωνα με τις νέες τεχνικές ο βυθός της υποδοχής ρυθμίζεται με EPANDA σε η με εισαγωγή κάτω από τα τοποθετημένα στοιχεία ενός στρώματος άμμου ή άλλων ανάλογων υλικών.

Η μέθοδος αυτή κατασκευής βρίσκεται πρόσφατα σε ανάπτυξη και μένει να προβλέψουμε όσον αφορά την χρησιμοποίηση των SUBAQUATIQUE τούνελ εγκαταστημένων σε ρευστά εδάφη, ότι θα εκθρονίσει τελείως 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 πραγματοποιούμενα από μπετόν αρμέ σε μεγάλες διαστάσεις (100xd 7,8m).

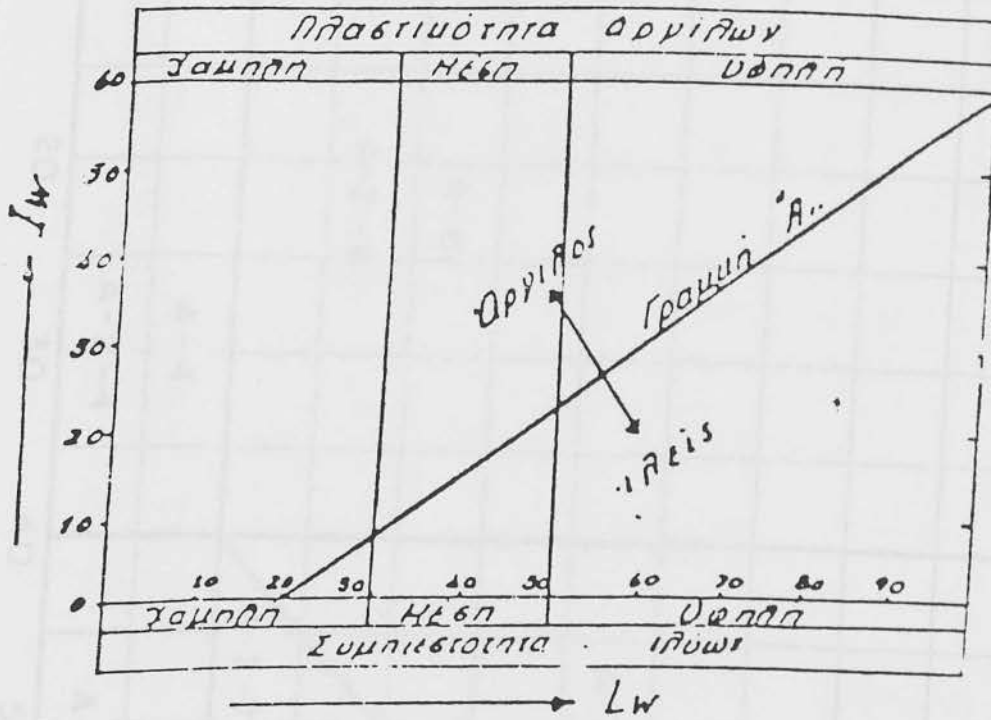


ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ ΕΛΑΦΩΝ ΚΑΤΑ Α.Σ.Τ.Μ. D 2487-90

ΒΑΣΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ		ΣΥΜΒΟΛΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ		ΥΠΟΜΝΗΜΑ			
				ΓΕΝΙΚΑ	ΕΙΔΙΚΑ				
ΧΩΝΔΡΟΚΟΚΚΑ ΥΑΚΑ	Π < 50%	ΧΑΛΙΚΙΑ	GW	Καλά διαβαθμιωμένα χαλκία ή Αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα συστατικά	$c_u > 4$ $1 < c_c < 3$	1). "Θέση" = σημείο στο διάγραμμα πλαστικότητας με συντεταγμένες L, I_p 2). $c_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ συντελεστής ομοιομορφίας. 3). $c_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$ συντελεστής καμπυλότητας. 4). Το διάγραμμα πλαστικότητας χρησιμοποιείται: α) Για την ταξινόμηση των λεπτόκοκκων υλικών (Π > 50%) β) Για την ταξινόμηση των κονδρόκοκκων υλικών (Π < 50%), μετά τον διαχωρισμό των λεπτών συστατικών τους που διέρχονται από το κόσκινο N° 200			
			GP	Φτωκά διαβαθμιωμένα χαλκία ή Αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα συστατικά.			Δεν επαληθεύονται τα κριτήρια για το GW.		
			GM_d	Ιλυώδεις χαλκί, ή Μίγματα χαλκικών - άμμου - ιλύος.			$I_p < 4$ ή θέση κάτω από την "Α" ή $I_p > 7$ ή θέση πάνω από την "Α"	Θέση πάνω από τη γραμμή "Α" με $4 < I_p < 7$ επιβάλλει διπλό συμβολισμό.	
			GC	Αργιλώδεις χαλκί ή Μίγματα χαλκικών - άμμου - ιλύος.					
	ΑΜΜΟΣ	Ποσοστό > 50% πάνω από το N° 4	Καθάρ χαλκία	SW	Άμμος καλά διαβαθμιωμένη ή Αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα συστατικά.		$c_u > 6$ $1 < c_c < 3$		
				SP	Άμμος φτωκά διαβαθμιωμένη ή Αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα συστατικά.			Δεν επαληθεύονται τα κριτήρια για το SW.	
				SM_d	Ιλυώδεις άμμος, ή Μίγματα άμμου - ιλύος.			$I_p < 4$ ή θέση κάτω από την "Α" ή $I_p > 7$ ή θέση πάνω από την "Α"	Θέση στη διαγραμμιωμένη περιοχή επιβάλλει διπλό συμβολισμό.
				SC	Αργιλώδεις άμμος ή Μίγματα άμμου - αργίλου.				
ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΥΑΚΑ	Π > 50%	ΙΑΣΣ ΚΑΙ ΑΡΤΙΑΣ	LL < 50%	ML	Ανόργανη ιλύς, πολύ λεπτή άμμος, ιλυώδεις και αργιλώδεις άμμος χαμηλής πλαστικότητας.	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ 			
				CL	Ανόργανη άργιλος, χαμηλής πλαστικότητας, ή καλικώδης άργιλος ή αμμώδης άργιλος ή ιλυώδης άργιλος.				
				OL	Οργανική ιλύς ή οργανική ιλυώδης άργιλος χαμηλής πλαστικότητας.				
				MH	Ανόργανη ιλύς (συνήα μαρμαρυγιακή) υψηλής πλαστικότητας.				
			LL > 50%	CH	Ανόργανη άργιλος, υψηλής πλαστικότητας, παχιά άργιλος.				
				OH	Οργανική άργιλος μέσης μέχρι υψηλής πλαστικότητας.				
				PT	Βουρκώδη και τυφώδη εδάφη Γεωυλικά προϊόντα απανδρόκωσης.				
				PT	Βουρκώδη και τυφώδη εδάφη Γεωυλικά προϊόντα απανδρόκωσης.				

* Οι υποδιαίρεσεις των ομάδων GM & SM σε υποομάδες d & u αφορούν ΜΟΝΟ έργα οδοποιίας και αεροδρομίων και είναι : d όταν $LL < 28$ & $I_p < 8$ & u όταν $LL > 28$

Πίνακας Γ4.- Χάρτης Πλαστισιότητας
CASAGRANDE



Πίνακας αντιστοιχίας

Κλίμακα υγρασίας

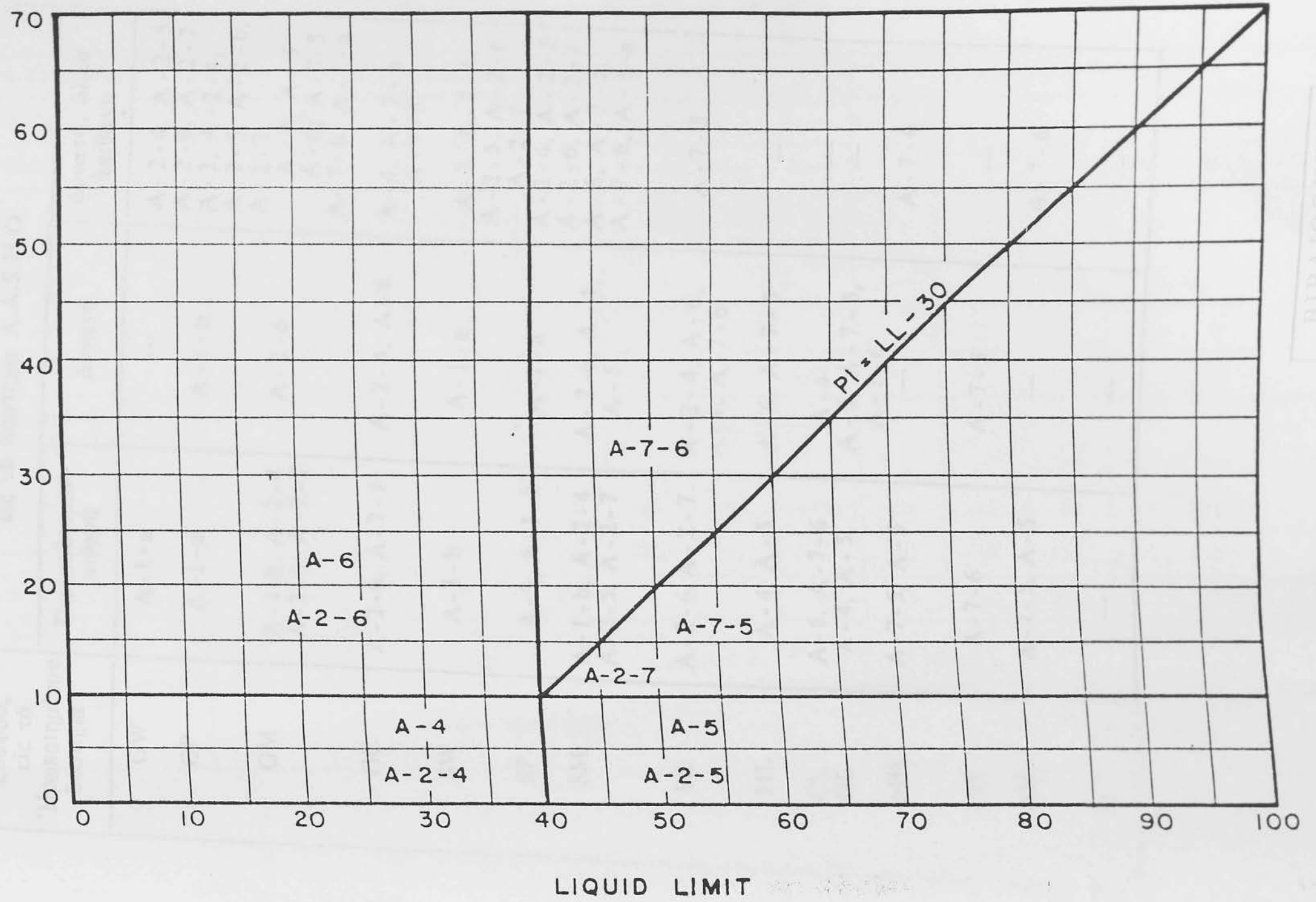
Φυσική κατάσταση

Συνεπτικότητα

PI	{	LL - όριο υδαρότητας	Υδαρική	Πολύ μαλακή μαλακή
		PL - όριο πλάστικότητας	Ημιελαστική	Στερεή βαθιά στερεή
		SL - όριο συρρίκνωσης	Στερεή	βαθιά στερεή

Σημείωση: Η συνεπτικότητα αναφέρεται σε αναλυμένο έδαφος δομής.

PLASTICITY INDEX



LIQUID LIMIT

NOTE—A-2 soils contain less than 35 % finer than 200 sieve.

FIG. 1 Liquid Limit and Plasticity Index Ranges for Silt-Clay Materials

Όμας Έδάφους εις το Ήνωποιημένον Σύστημα	Άντιστοιχία Όμάδων Έδάφους εις το Σύστημα Α.Α.Σ.Η.Ο.		
	Περισσότερον πιθανή	Δυνατή	Δυνατή, αλλά άπιθανη
GW	A-1-a	—	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
GP	A-1-a	A-1-b	A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
GM	A-1-b, A-2-4 A-2-5, A-2-7	A-2-6	A-4, A-5 A-6, A-7-5 A-7-6, A-1-a
GC	A-2-6, A-2-7	A-2-4, A-6	A-4, A-7-6 A-7-5
SW	A-1-b	A-1-a	A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6 A-2-7
SP	A-3, A-1-b	A-1-a	A-2-4, A-2-5 A-2-6, A-2-7
SM	A-1-b, A-2-4 A-2-5, A-2-7	A-2-6, A-4, A-5	A-6, A-7-5, A-7-6, A-1-a
SC	A-2-6, A-2-7	A-2-4, A-6, A-4, A-7-6	A-7-5
ML	A-4, A-5	A-6, A-7-5	—
CL	A-6, A-7-6	A-4	—
OL	A-4, A-5,	A-6, A-7-5, A-7-6	—
MH	A-7-5, A-5	—	A-7-6
CH	A-7-6	A-7-5	—
OH	A-7-5, A-5	—	A-7-6
Pt	—	—	—

Γενική Κατάταξη	Κοκκώδη Υλικά Π≤35%							Ιλυοαργιλώδη Υλικά Π>35%			
	Α1		Α3	Α2				Α4	Α5	Α6	Α7 Α7-5 (Ip≤LL-30) Α7-6 (Ip>LL-30)
	Α1-α	Α1-β		Α2-4	Α2-5	Α2-6	Α2-7				
% Ποσοστό Διερχόμενο από το κόσκινο:											
----- No 10 (2mm)	<50										
No 40 (0.42mm)	<30	<50	>51								
No 200 (0.074mm)	<15	<25	<10	≤35	≤35	≤35	≤35	>36	>36	>36	>36
Χαρακτηριστικά του Διερχόμενου από το Κόσκινο No 40											
----- Οριο Υδαρότητας LL				<40	>41	<40	>41	<40	>41	<40	>41
Δείκτης Πλαστικότητας Ip	<6		NP	<10	<10	>11	>11	<10	<10	>11	>11
Δείκτης Ομάδας G.I.	0		0	0	0	4	4	<8	<12	<10	<20
Γενική Ονομασία	Λίθοι, Χαλίκια Αμμοχάλικο		Λεπτή Αιμος	Ιλικώδη ή Αργιλώδη Αμμοχάλικα				Ιλυώδη Εδάφη		Αργιλώδη Εδάφη	
Καταλληλότητα του υλικού για θεμελίωση Οδών	Τέλειο προς Καλό							Μέτριο προς Καλό			

ΣΗΜΕΙΩΣΗ : α) Π = Ποσοστό % του διερχόμενου υλικού από το κόσκινο No 200

β) G.I. = Δείκτης Ομάδας (GROOP INTEX) και δίνεται από την σχέση:

$$G.I. = (Π-35) * [0.2+0.005*(LL-40)] + 0.01*(Π-15)*(Ip-10)$$

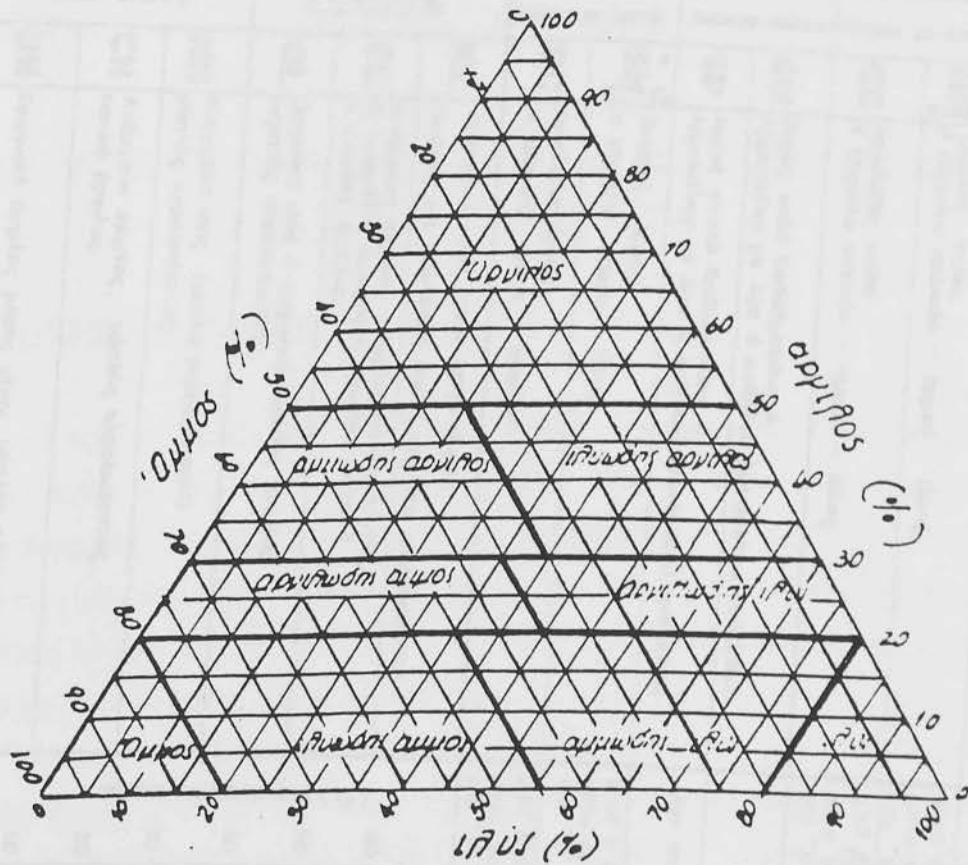
γ) Αν ο Δείκτης Ομάδας είναι ΑΡΝΗΤΙΚΟΣ τότε G.I. = 0

δ) Για τις ομάδες Α2-6 και Α2-7 $G.I. = 0.01*(Π-15)*(Ip-10)$

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ ΟΔΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ (ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ CASAGRANDE)

ΚΥΡΙΕΣ ΔΙΑΙΡΕΣΕΙΣ		ΣΥΜΒΟΛΑ			ΤΥΠΙΚΕΣ ΟΝΟΜΑΣΙΕΣ	Καταλληλότητα για θεμελίωση διαν δέν υπόκειται σε δράση παντού	Καταλληλότητα για βόνη άμεσως κάτω της επιφάνειας κύλισης	Δυναμική δράση παγετού	Ευρύνκωση διόγκωση Ελαστικότητα	Αποστράγγιση	Μέγιστη Επιπικνότητα (λίμπρ/κυβ. πόδια)
		Γράμματα	Σχηματ. παράσταση	Χρώματα							
(1)	(2)	(3)			(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
ΧΟΝΔΡΟΚΚΑ ΕΔΑΦΗ	ΧΑΛΙΚΕΣ ΚΑΙ ΧΑΛΙΚΟ-ΜΙΓΗ ΕΔΑΦΗ	GW		Κόκκινο	Χάλικες ή μίγματα χαλίκων - άμμου, καλής διαβάθμισης, με ή χωρίς μικρό ποσοστό λεπτών.	Έξαιρετική	Καλή	Καμιά μέχρι ελάχιστη	Σχεδόν καμιά	Έξαιρετική	125-140
		GP			Χάλικες ή μίγματα χαλίκων - άμμου, κακής διαβάθμισης, με ή χωρίς μικρό ποσοστό λεπτών.	Καλή μέχρι έξαιρετική	Μετριότατη μέχρι μέτρια	Καμιά μέχρι ελάχιστη	Σχεδόν καμιά	Έξαιρετική	120-130
		GU			Χάλικες ή μίγματα χαλίκων - άμμου, ομοιόμορφης διαβάθμισης, με ή χωρίς μικρό ποσοστό λεπτών.	Καλή	Μετριότατη	Καμιά μέχρι ελάχιστη	Σχεδόν καμιά	Έξαιρετική	115-125
		GM			Γλυώδεις ή ιλυοαμμώδεις χάλικες	Καλή μέχρι έξαιρετική	Μέτρια μέχρι καλή	Μικρή μέχρι μέτρια	Σχεδόν καμιά μέχρι μικρή	Μέτρια μέχρι μετριότατη	130-145
		GC			Αργιλώδεις ή αργιλοαμμώδεις χάλικες	Καλή μέχρι έξαιρετική	Μετριότατη	Μικρή μέχρι μέτρια	Πολύ καλή	Μετριότατη μέχρι πρακτικά μη διαπερατά	120-140
	ΑΙΦΜΟΙ ΚΑΙ ΑΜΜΩΔΗ ΕΔΑΦΗ	SW		Κόκκινο	Άμμοι ή αμμοχάλικες, καλής διαβάθμισης, με ή χωρίς μικρό ποσοστό λεπτών.	Καλή	Μετριότατη	Καμιά μέχρι ελάχιστη	Σχεδόν καμιά	Έξαιρετική	110-130
		SP			Άμμοι ή αμμοχάλικες, κακής διαβάθμισης, με ή χωρίς μικρό ποσοστό λεπτών.	Μέτρια μέχρι καλή	Μετριότατη μέχρι ακατάλληλη	Καμιά μέχρι ελάχιστη	Σχεδόν καμιά	Έξαιρετική	105-120
		SU			Άμμοι ή αμμοχάλικες, ομοιόμορφης διαβάθμισης, με ή χωρίς μικρό ποσοστό λεπτών.	Μέτρια μέχρι καλή	Ακατάλληλη	Καμιά μέχρι ελάχιστη	Σχεδόν καμιά	Έξαιρετική	100-115
		SM			Γλυώδεις ή (λυοχαλικώδεις άμμοι	Καλή	Μετριότατη	Μικρή μέχρι μεγάλη	Σχεδόν καμιά μέχρι μικρή	Μέτρια μέχρι μετριότατη	120-135
		SC			Αργιλώδεις ή αργιλοχαλικώδεις άμμοι	Μέτρια μέχρι καλή	Ακατάλληλη	Μικρή μέχρι μεγάλη	Μικρή μέχρι μέτρια	Μετριότατη μέχρι πρακτικά μη διαπερατά	105-130
ΛΕΠΤΟΚΚΑ ΕΔΑΦΗ	ΧΑΜΗΛΟ ΜΕΧΡΙ ΜΕΣΟ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟ LL < 50	ML		Πράσινο	Ίλυες (άνοργανοι), λιθάλευρο, ιλώδεις λεπτές άμμοι με μικρή πλαστικότητα	Μέτρια μέχρι μετριότατη	Ακατάλληλη	Μέτρια μέχρι πολύ μεγάλη	Μικρή μέχρι μέτρια	Μέτρια μέχρι μετριότατη	100-125
		CL			Ίσχνες, αμμώδεις, ιλυώδεις ή χαλικώδεις άργιλοι	Μέτρια μέχρι μετριότατη	Ακατάλληλη	Μέτρια μέχρι μεγάλη	Μέτρια	Πρακτικά μη διαπερατά	100-125
		OL			Όργανικές ιλύες ή ισχνές όργανικές άργιλοι	Μετριότατη	Ακατάλληλη	Μέτρια μέχρι μεγάλη	Μέτρια μέχρι μεγάλη	Μετριότατη	90-105
	ΥΨΗΛΟ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟ LL > 50	MH		Γαλάζιο	Ελαστικές ιλύες, πολύ συμπιεσά μαρμαρυγικά ή διατομούχα λεπτόκκοκα ιλυώδη έδαφη.	Μετριότατη	Ακατάλληλη	Μέτρια μέχρι πολύ μεγάλη	Μεγάλη	Μέτρια μέχρι μετριότατη	80-100
		CH			Παχιές άργιλοι (άνοργανοι άργιλοι μεγάλης πλαστικότητας)	Μετριότατη μέχρι κακή	Ακατάλληλη	Μέτρια	Μεγάλη	Πρακτικά μη διαπερατά	90-100
		OH			Όργανικές άργιλοι, μέσης μέχρι ύψηλης πλαστικότητας	Μετριότατη μέχρι κακή	Ακατάλληλη	Μέτρια	Μεγάλη	Πρακτικά μη διαπερατά	60-105
ΙΝΩΔΗ ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΠΟΛΥ ΣΥΜΠΙΕΣΤΑ	PT		Πορτο-καλί	Τύρφη, χουμικές ύλες και άλλα πολύ όργανικά έλωδη έδαφη.	Ακατάλληλη	Ακατάλληλη	Μικρή	Πολύ μεγάλη	Μέτρια μέχρι μετριότατη		

Πινάκας ΔΔ: Καταταξη με βάση την υγρασία

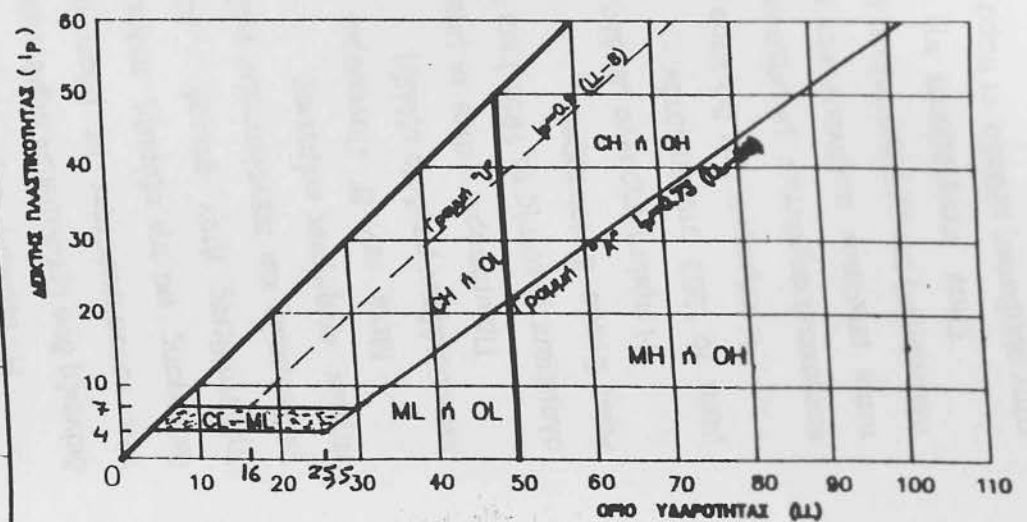


Σημείωση

1. Το σύστημα είναι γνωστό και ως καταταξη P.R.A (Ιδιωτικό του PUBLIC ROAD ADMINISTRATION).
2. Άλλοτελο σύστημα χρησιμοποιείται και από το US Department of Agriculture.
3. Χρησιμοποιείται επίσης από το Σώμα των Στρατιωτικών Μηχανικών (U.S. Corps of Engineers)

ΒΑΣΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ		ΣΥΜΒΟΛΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ		ΥΠΟΜΝΗΜΑ		
				ΓΕΝΙΚΑ	ΕΙΔΙΚΑ			
ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΑ ΥΛΙΚΑ	Π < 50%	ΧΑΛΙΚΙΑ	Καλά διαβαθμισμένα χαλίκια ή Αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα ουσιαστικά	$c_u > 4$ $1 < c_c < 3$		<p>1). "Θέση" = σημείο στο διάγραμμα πλαστικότητας με συντεταγμένες LL, I_p</p> <p>2). $c_u = \frac{D_{80}}{D_{10}}$ συντελεστής ομοιομορφίας.</p> <p>3). $c_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$ συντελεστής καμπυλότητας.</p> <p>4). Το διάγραμμα πλαστικότητας χρησιμοποιείται:</p> <p>α) Για την ταξινόμηση των λεπτόκοκκων υλικών ($\pi > 50\%$)</p> <p>β) Για την ταξινόμηση των κοινόκοκκων υλικών ($\pi < 50\%$), μετά τον διαχωρισμό των λεπτών ουσιαστικών τους που διέρχονται από το κόσκινο N° 200</p>		
			Καλά διαβαθμισμένα χαλίκια ή Αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα ουσιαστικά.	Δεν επαληθεύονται τα κριτήρια για το GW.				
		Χαλίκια με λεπτά Κοκκώδη χαλίκια	Ιλυώδες χαλίκι, ή Μίγματα χαλικιών - άμμου - ιλύος.	$I_p < 4$ ή θέση κάτω από την "Α"	θέση πάνω από τη γραμμή "Α" με $4 < I_p < 7$			
			Αργιλώδες χαλίκι ή Μίγματα χαλικιών - άμμου - ιλύος.	$I_p > 7$ ή θέση πάνω από την "Α"				
		ΑΜΜΟΣ	Ποσοστό < 50% περνά από το N° 4	Κοκκώδη χαλίκια	Αμμος καλά διαβαθμισμένη ή Αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα ουσιαστικά.		$c_u > 6$ $1 < c_c < 3$	
					Αμμος φτωχά διαβαθμισμένη ή Αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα ουσιαστικά.		Δεν επαληθεύονται τα κριτήρια για το SW.	
	Ποσοστό > 50% περνά από το N° 4		Χαλίκια με λεπτά	Ιλυώδες άμμος, ή Μίγματα άμμου - ιλύος.	$I_p < 4$ ή θέση κάτω από την "Α"		θέση στη διαγραμμιζόμενη περιοχή επιβάλλει διπλό συμβολισμό.	
				Αργιλώδες άμμος ή Μίγματα άμμου - αργίλου.	$I_p > 7$ ή θέση πάνω από την "Α"			
			Κοκκώδη χαλίκια	Αμμος καλά διαβαθμισμένη ή Αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα ουσιαστικά.				
				Αμμος φτωχά διαβαθμισμένη ή Αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα ουσιαστικά.				

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ



* Οι υποδιαίρεσεις των ομάδων GM & SM σε υποομάδες d & u αφορούν ΜΟΝΟ έργα οδοποιίας και αεροδρομίων και είναι : d όταν $LL < 28$ & $I_p < 8$ ή όταν $LL > 28$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΗΧΑΝΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΧΩΡΙΣ ΧΡΗΣΗ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ (BLAST FREE METHODS)

2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η πρώτη προσπάθεια εκσκαφής χωρίς την χρησιμοποίηση εκρηκτικών υλικών , αλλά 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 έτη . Η μηχανή Wilson άντεξε μόνο για 3μ. Σήραγγας. Οι ζημιές κατά την διάρκεια της λειτουργίας ήταν τόσο μεγάλες ώστε δεν επέτρεψαν την συνέχιση της προσπάθειας .

Η δεύτερη σοβαρή προσπάθεια έγινε κατά 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 τον 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 11,20μ και μήκος 4,3 χιλ. 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 :

- Το διάστημα ζωής του μηχανήματος και το κόστος αντικατάστασης των μελών του.
- Ακριβής υπολογισμός για την μείωση του μεγαλύτερου οικονομικού κινδύνου που μπλέκεται (οικονομική εκτίμηση).
- Το σχεδιασμό του μηχανήματος, έτσι ώστε να επιτρέπει την διεξαγωγή διαφόρων λειτουργιών, όπως την εγκατάσταση διαφόρων υποστηριγμάτων και την αλλαγή των κοπτικών εξαρτημάτων.
- Η εφαρμογή του μηχανήματος όσον αφορά την χρησιμότητα, την αναλογία (μέγεθος) διάτρησης, το κόστος του κοπτικού ή κοπτικών εξαρτημάτων, την υπερεκσκαφή, 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 δύο μεγάλες κατηγορίες.

- **Κανονική προχώρηση** όταν το μηχάνημα και το σύστημα διάνοιξης της σήραγγας λειτουργούν στο μέγιστο και η πρόοδος προχώρησης υπαγορεύεται από τις ιδιότητες ανέπαφου υλικού.

- **Περιορισμένες δυσμενείς συνθήκες προχώρησης** 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 εκρηκτικά μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες:

TBM (Tunnel Boring Machines)

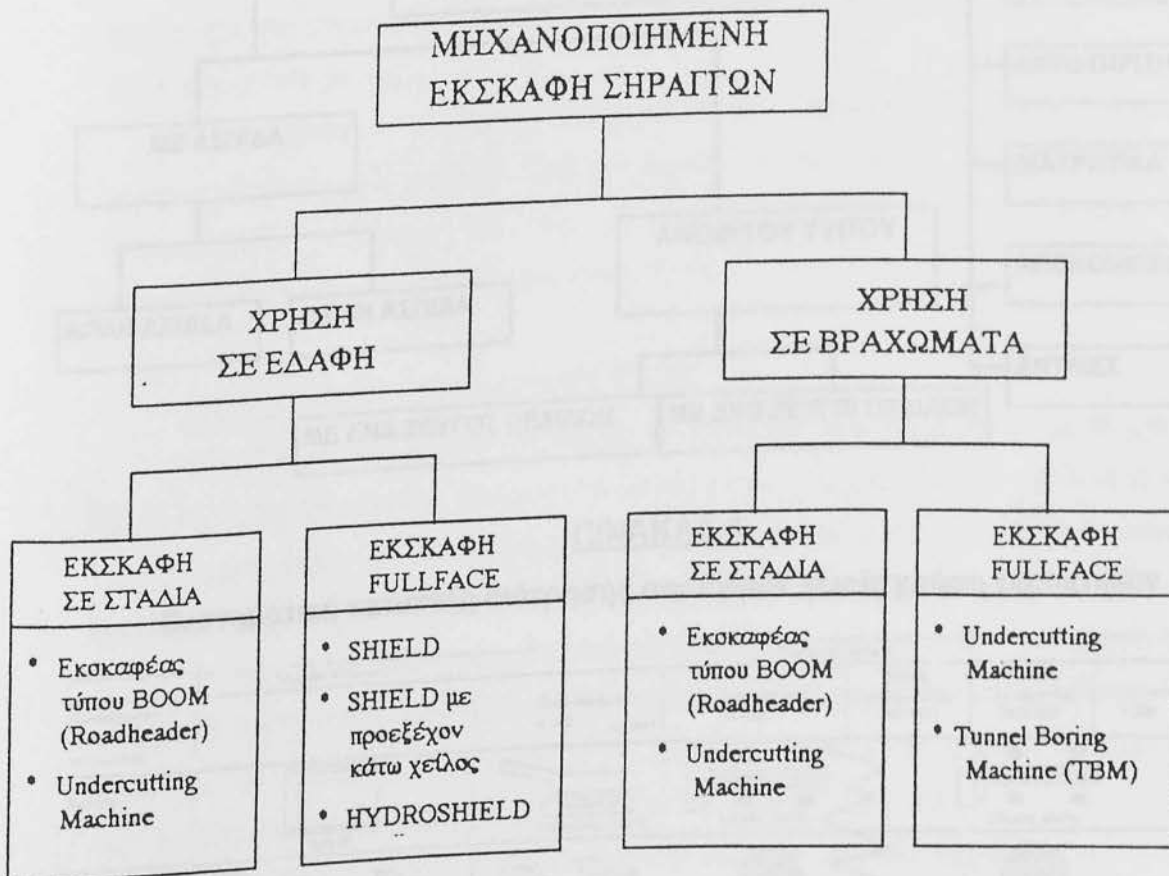
Μηχανήματα εκσκαφής από κάτω προς τα πάνω (Undercutting Machine)

Μηχανήματα τύπου BOOM (βραχίονα)

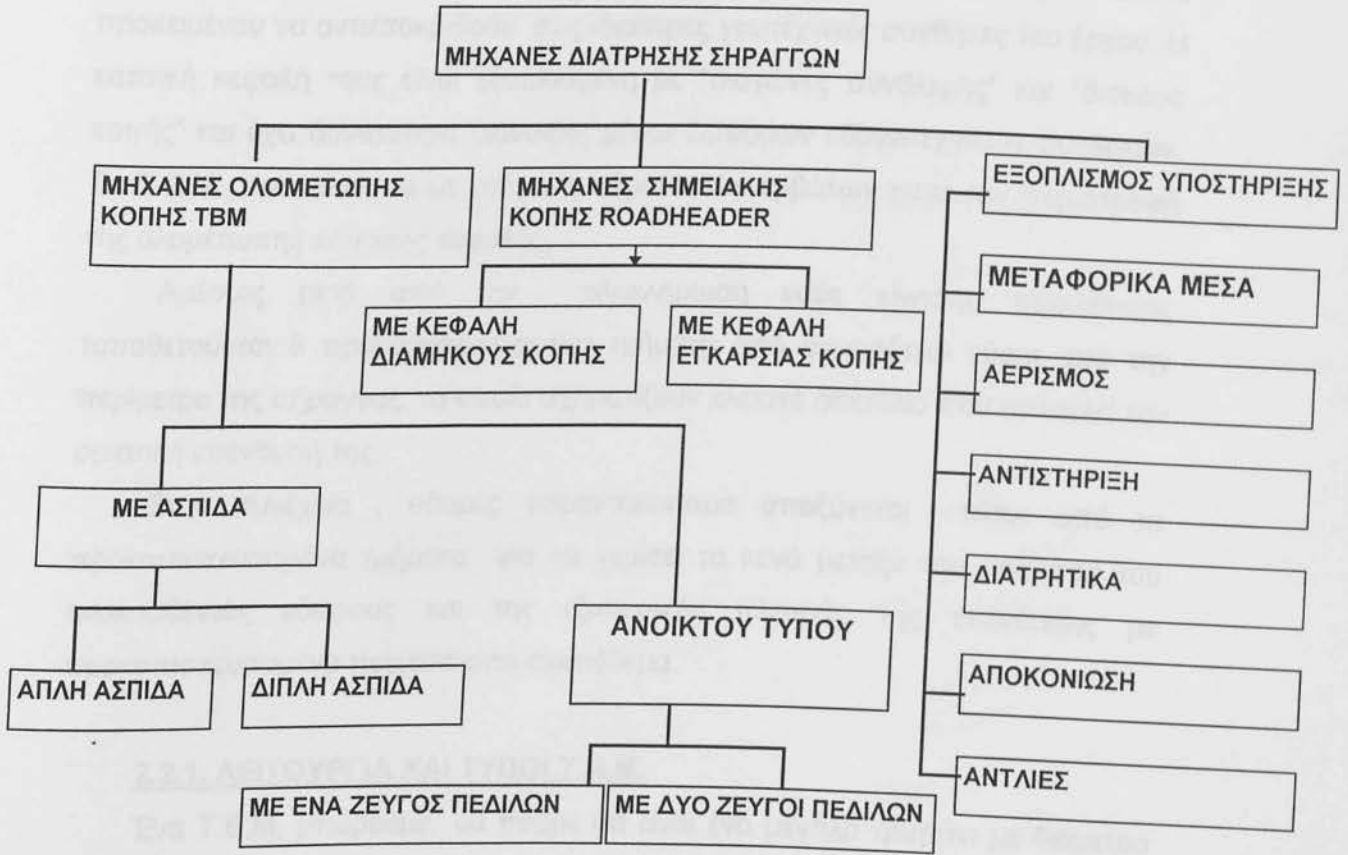
Μια συστηματική κατάταξη των μηχανών διάτρησης σηράγγων σύμφωνα με την σημερινή τεχνολογική εξέλιξη, δίνεται στον (πίνακα 3 & πίνακα 4).

Πίνακας 2

Μηχανοποιημένη εκοκαφή σιράγγων (κατά Simons/Beckmann, 1980).



ΠΙΝΑΚΑΣ 3



ΠΙΝΑΚΑΣ 4

Συστηματική κατάταξη διάτρησης σηράγγων χωρίς χρήση εκρηκτικών

	Χυμώδη πετρώση		Σκληρές βράχοι		
	Πολλοκωνική < 400 kg/cm ²	Μέση 300-500 kg/cm ²	Μέση 500-1500	Υψηλή εγκάρσιος 1500-2500	Πολύ υψηλή > 2500
Μονοαξονική από τη θέση πετρώματος					
Βασική αξιοποίηση	Schield	Στημνωτός κοπής	Ολικός κοπής	Ολικός κοπής	Ολικός κοπής
Φορέας κοπτικής επιπέδων κοπτικής κεφαλή					
Κοπτική μηχανή					
Μεσοβιας κοπής					
Στημνωτός κοπής					
Σύστημα κοπτικής κεφαλής		ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΧΥΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ ΕΒΕΣ			
Σύστημα κοπτικής κεφαλής					

2.2 . TUNNEL BORING MACHINE (TBM)

Μέθοδος T.B.M.

Δύο μηχανήματα TBM ,ένα για κάθε γραμμή , σχεδιάστηκαν ειδικά προκειμένου να ανταποκριθούν στις ιδιαίτερες γεωτεχνικές συνθήκες του έργου. Η κοπτική κεφαλή τους είναι εξοπλισμένη με “σιαγώνες σύνθλιψης” και “δίσκους κοπής” και έχει δυνατότητα διάνοιξης μέσω διαφόρων εδαφοτεχνικών συνθηκών. Τα T.B.M. προωθούνται με στεφάνη υδραυλικών εμβόλων κατά την περιστροφή της ολομέτωπης κοπτικής κεφαλής.

Αμέσως μετά από την ολοκλήρωση κάθε κίνησης προώθησης τοποθετούνται 8 προκατασκευασμένα τμήματα από σκυρόδεμα γύρω από την περίμετρο της σήραγγας, τα οποία σχηματίζουν κλειστό δακτύλιο που αποτελεί την οριστική επένδυσή της.

Στην συνέχεια , υδαρές τσιμεντοκονίαμα αποξύνεται πίσω από τα προκατασκευασμένα τμήματα για να γεμίσει τα κενά μεταξύ του μετώπου του εκσκαφθέντος εδάφους και της εξωτερικής πλευράς της επένδυσης με προκατασκευασμένα τμήματα από σκυρόδεμα.

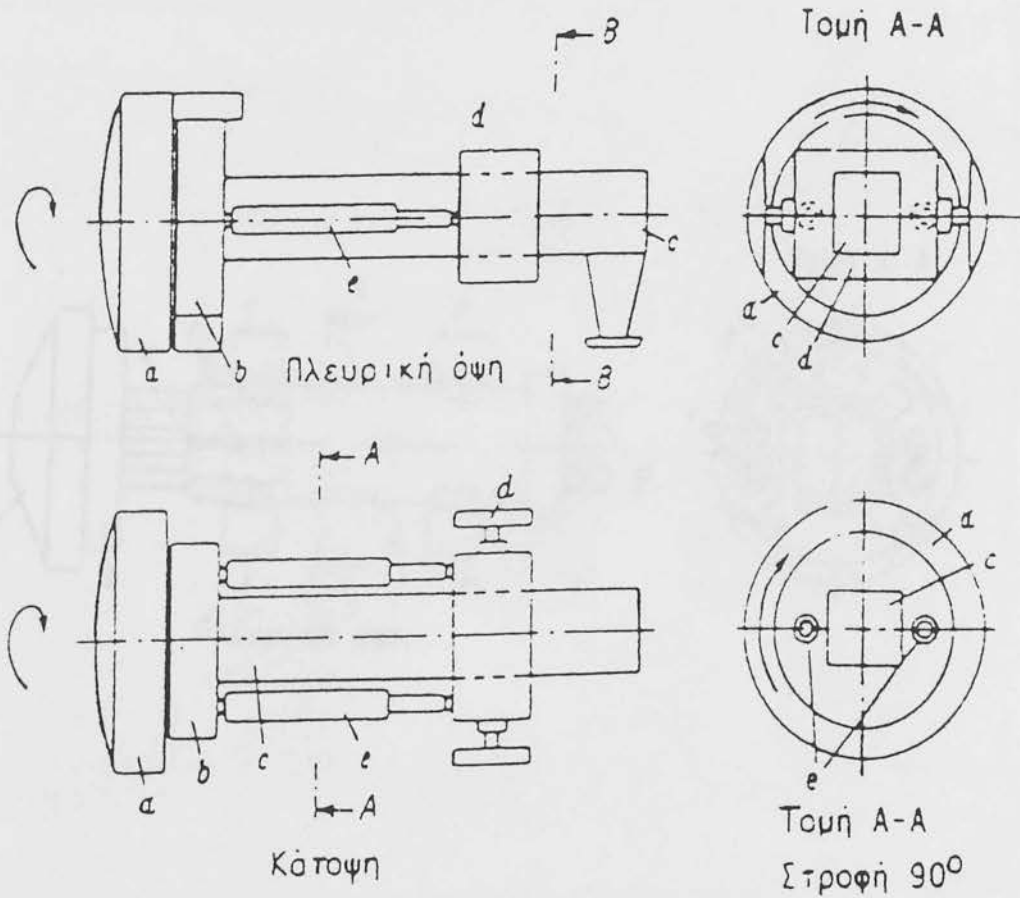
2.2.1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ T.B.M.

Ένα T.B.M. μπορούμε να πούμε ότι είναι ένα μεγάλο τρυπάνι με διάμετρο ίση με αυτή της σήραγγας , που κινείται με ηλεκτρική ενέργεια. Η κοπτική δράση του T.B.M. εφαρμόζεται με μια κυκλική κοπτική κεφαλή που συνιστάται σε ακτινωτούς βραχίονες , προσαρμοσμένους με διαφόρων τύπων κοπτικές αιχμές.

Τα πιο σπουδαία λειτουργικά συστήματα του βασικού κατασκευάσματος, εκτός από την κοπτική κεφαλή είναι : ο φορέας της κοπτικής κεφαλής, το πλαίσιο της μηχανής, οι διατάξεις προέκτασης , στήριξης προώθησης και υδραυλικής λειτουργίας κεφαλής, καθώς και οι κινητήρες της κοπτικής κεφαλής.

Οι εικόνες 2.1, 2.2 & 2.3 δίνουν την κατασκευαστική διαμόρφωση και την θέση των διαφόρων στοιχείων της μηχανής ολομέτωπης κοπής (τύποι Robbins & Winh).

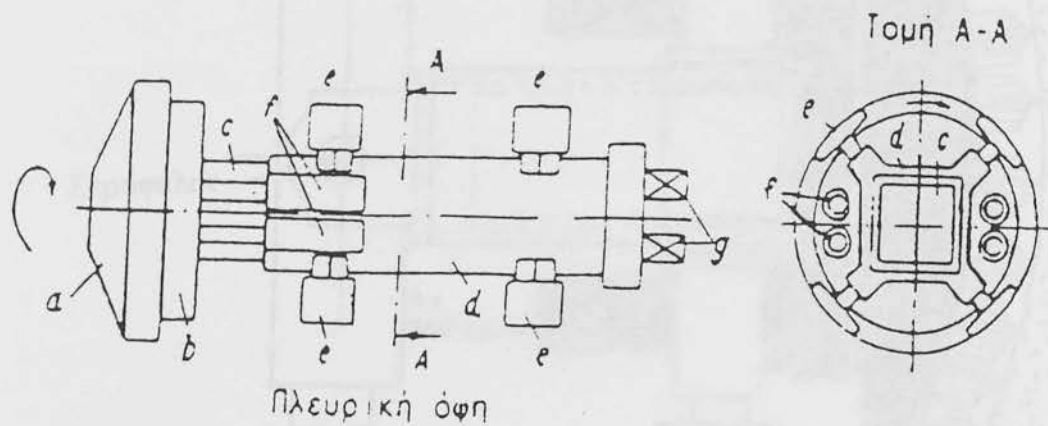
Στα μηχανήματα σημειακής κοπής υπάρχουν , επίσης συστήματα προέκτασης (αγκύρωσης) του μηχανήματος και υδραυλικής προώθησης της κεφαλής, ιδιαίτερα όταν εργάζονται σε σήραγγα υπό κλίση. Τα συστήματα υποστήριξης είναι κυρίως η ηλεκτρική εγκατάσταση (μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας στο μέτωπο, μετασχηματιστής και διακόπτες), το υδραυλικό συγκρότημα και τα μηχανήματα μεταφοράς των υλικών , που βοηθούν στην άμεση απομάκρυνση των υλικών εκσκαφής από το σημείο λειτουργίας της κοπτικής κεφαλής.



Εικόνα 2.2. Διαμόρφωση μηχανήματος Robbins. Σφάλμα τυπογραφίας με δύο σφαιρικές καλνιέρων. Κινητήρες του άξονα.

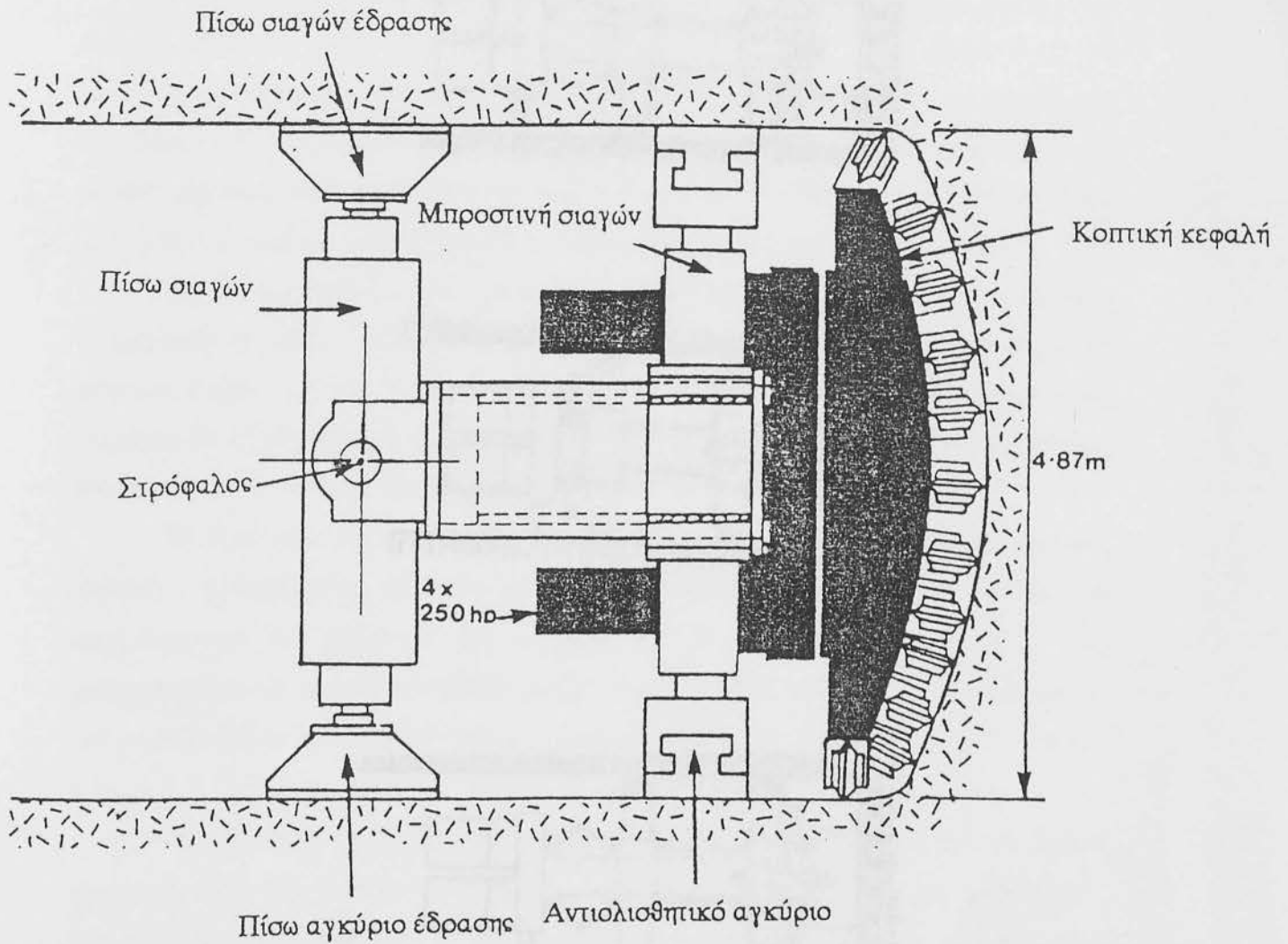
Εικόνα 2.1 : Διαμόρφωση μηχανήματος Robbins. Κινητήρες κοπτικής κεφαλής πάνω στον φορέα.

- a) Κοπτική κεφαλή
- b) Φορέας κοπτικής κεφαλής με πέδιλο ολίσθησης, πλευρικούς οδηγούς και προστατευτική ασπίδα.
- c) Βάση μηχανισμών
- d) Διάταξη προέντασης
- e) Διάταξη προώθησης



Εικόνα 2.2. Διαμόρφωση μηχανήματος Wirth. Σύστημα προέντασης με δύο σειρές κυλίνδρων . Κινητήρες στην ουρά.

- a) Κοπτική κεφαλή
- b) Φορέας κοπτικής κεφαλής
- c) Εσωτερικός Χώρος μηχανών
- d) Εξωτερικός Χώρος μηχανών
- e) Κύλινδροι προέντασης - στήριξης
- f) Διάταξη προώθησης
- g) Κινητήρες κοπτικής κεφαλής



Εικόνα 2.3 : Μια τυπική μορφή TBM.

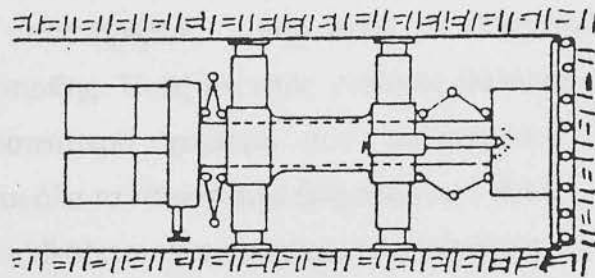
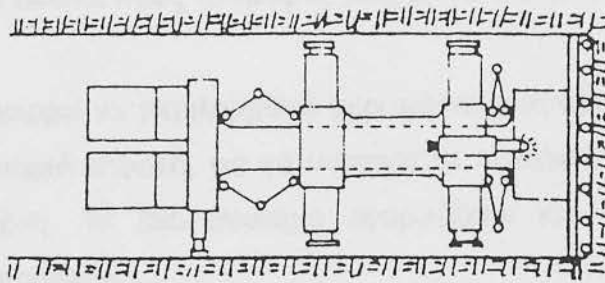
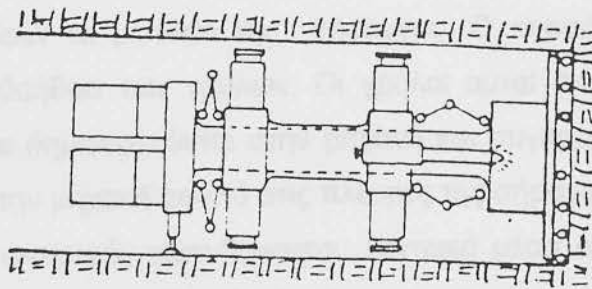
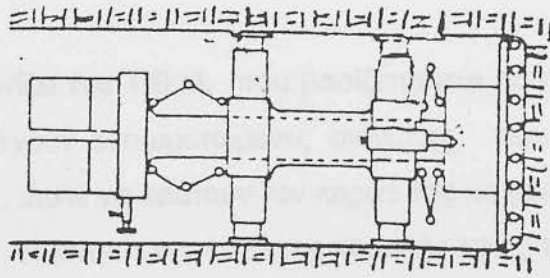
Διάμετρος : 4,87 m

Ισχύς : 746 KW

Διαδρομή εμβόλου : 0,6 m

Μήκος μηχανής : 5,03 m

Βάρος : 132 t



Εκόνα 2.4

- το μεταλλουργικό υλικό που χρησιμοποιείται
- την γεωμετρική τους

Η εικόνα 2.4 απεικονίζει ένα T.B.M. που βασίζεται στο σύστημα JAVA . Τα κύρια υδραυλικά σκέλη έχουν ενσωματωμένες σιαγώνες που καταλήγουν σε κατάλληλα πέλδιλα στήριξης, ώστε να κρατούν τον κορμό της μηχανής σταθερό κατά την διάρκεια της εκσκαφής . Η κίνηση της κοπτικής κεφαλής προς τα εμπρός γίνεται με την βοήθεια αυτών ακριβώς των εμβόλων . Όταν εξαντληθεί το μήκος τους μαζεύονται ο κορμός προχωράει και οι γρύλοι στήνονται πάλι στην θέση τους.

Με την εφαρμογή της πίεσης και της περιστροφικής ή ταλαντούμενης κίνησης οι κοπτικές αιχμές σκάβουν το μέτωπο της σήραγγας .Ο κορμός της μηχανής ακινητοποιείται με την βοήθεια των γρύλων. Οι γρύλοι αυτοί απορροφούν τους παράγοντες στρέψης που δημιουργούνται στην μηχανή και συγκρατούν τις πιέσεις του μετώπου πιάνοντας την μηχανή σφικτά στις πλευρές της σήραγγας.

Τα προϊόντα της εκσκαφής κατευθύνονται κεντρικά μέσα από την κοπτική κεφαλή , μεταφέρονται σε έναν κάδο υλικών (conveyor) και προωθούνται για απομάκρυνση με χοάνες σε οχήματα ή σε κάποιο άλλο μέσο . Εάν χρησιμοποιούνται χοάνες για φόρτωμα αυτοκινήτων μπορούν να ενσωματωθούν σε μια μονάδα trailer που κινείται προς τα εμπρός μαζί με το T.B.M. (οχήματα) - εικόνα 2.1 και 2.2- .

Το μηχάνημα μπορεί να περιλαμβάνει ακροφύσιο ψεκασμού, τοποθετημένο μπροστά από την κοπτική κεφαλή, για να υγραίνει τα προϊόντα της εκσκαφής , εμποδίζοντας της σκόνη. Το ίδιο σύστημα εφαρμόζεται και στα σημεία που μεταφέρονται αυτά τα προϊόντα.

Σε συνθήκες ασταθών πετρωμάτων χρησιμοποιούνται Shields με σκοπό να υποστηρίξουν τις πλευρές μέχρι να εγκατασταθούν υποστηρίγματα.

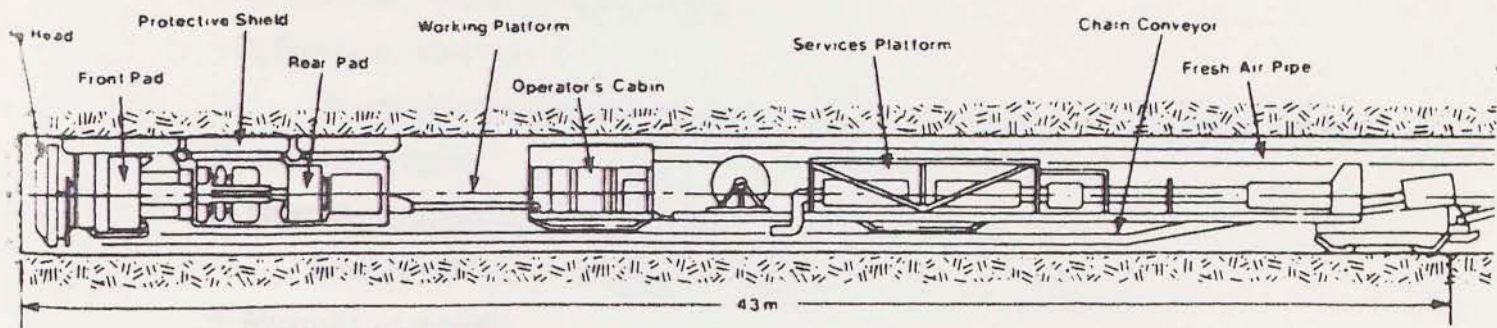
Αυτά τα τελευταία μπορούν να στηθούν με ανυψωτικά μηχανήματα και συστήματα χειρισμού υποστηρίξεως , έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος στησίματος της υποστήριξης. Ένας κλειστός γυάλινος θάλαμος χειριστή μπορεί να προστεθεί για αποδοτικότερο χειρισμό του μηχανήματος (εικόνα2.6). Στην (εικόνα2.5) αναφέρονται όλα τα παραπάνω τμήματα του T.B.M.

Κάθε T.B.M. σχεδιάζεται για συγκεκριμένη σήραγγα και για συγκεκριμένες συνθήκες πετρώματος. Για αυτό υπάρχουν πολλές ποικιλίες σχεδιασμού T.B.M. (εικόνες 2.3 , 2.4 , 2.5 , & 2.6)

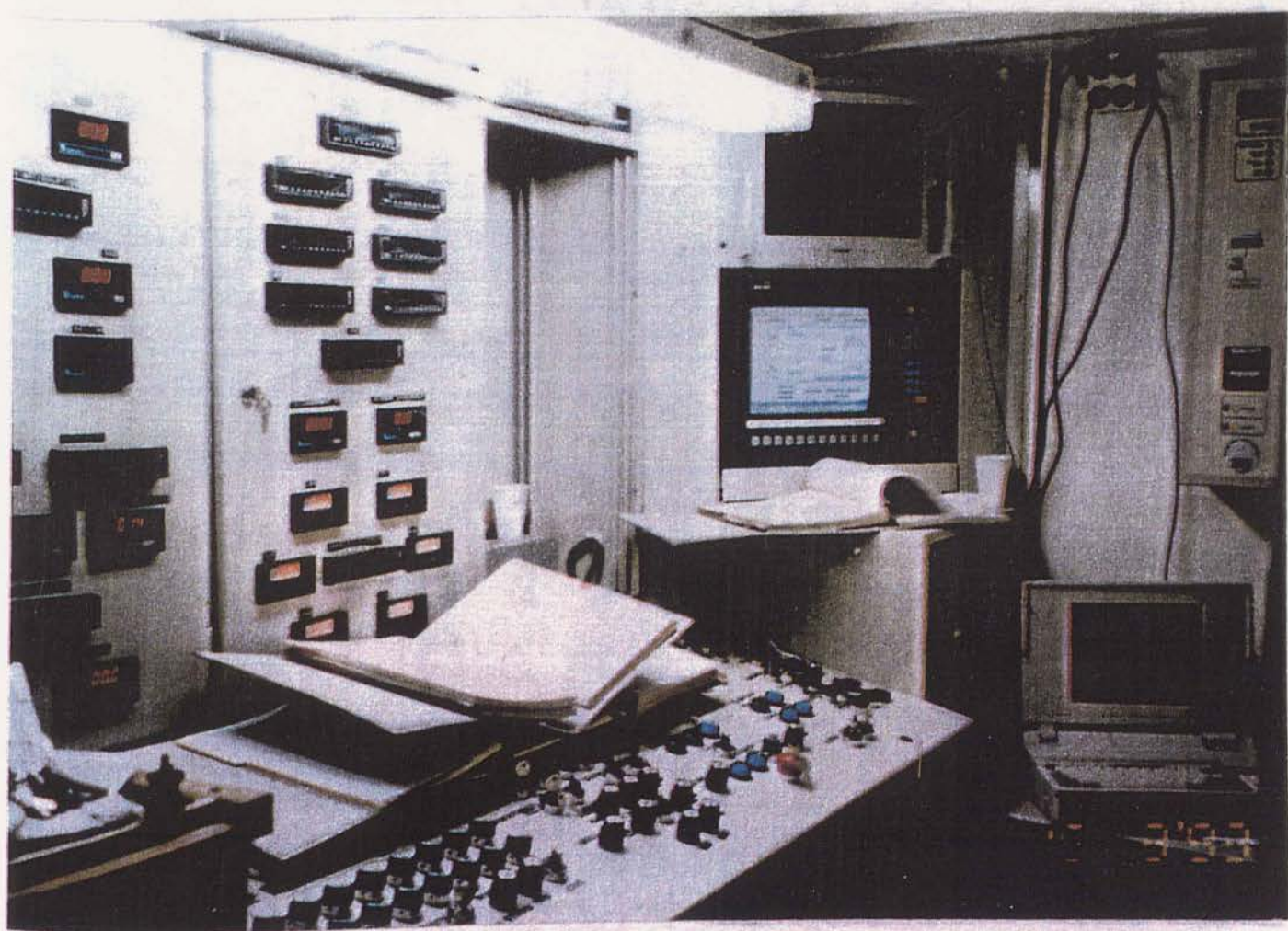
Η εκλογή του τύπου κοπτικών αιχμών παίζει μεγάλο ρόλο στην επιτυχία ικανοποιητικής προχώρησης όσο και στην ελαχιστοποίηση της φθοράς τους.

Η ικανότητα των κοπτικών αιχμών εξαρτάται από :

- τα μεταλλουργικά χαρακτηριστικά τους
- την γεωμετρία τους



Εικόνα 2.5



Εικόνα 2.6

- την φέρουσα ικανότητα σχεδιασμού τους
- τις δυνάμεις του εργαλείου

Οι μηχανές ολομέτωπου κοπής διακρίνονται ανάλογα με το έδαφος σε δύο βασικές κατηγορίες:

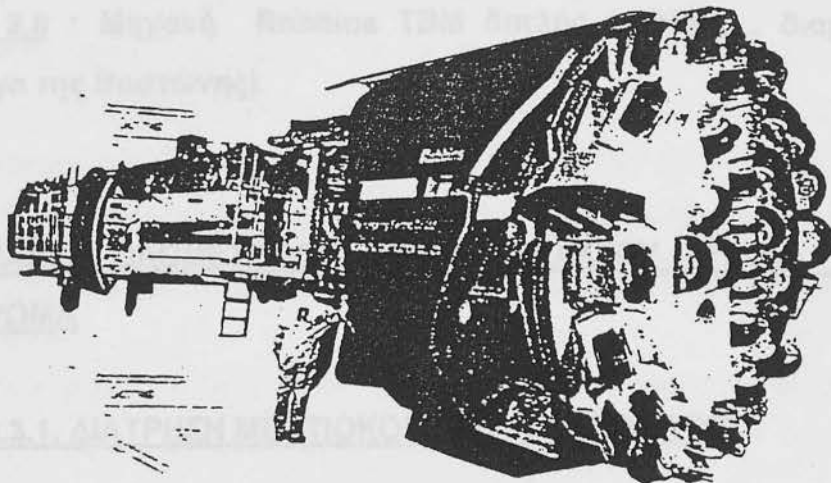
α) Μηχανές ανοικτού ή κλειστού τύπου

Είναι κατάλληλες για σκληρό πέτρωμα.

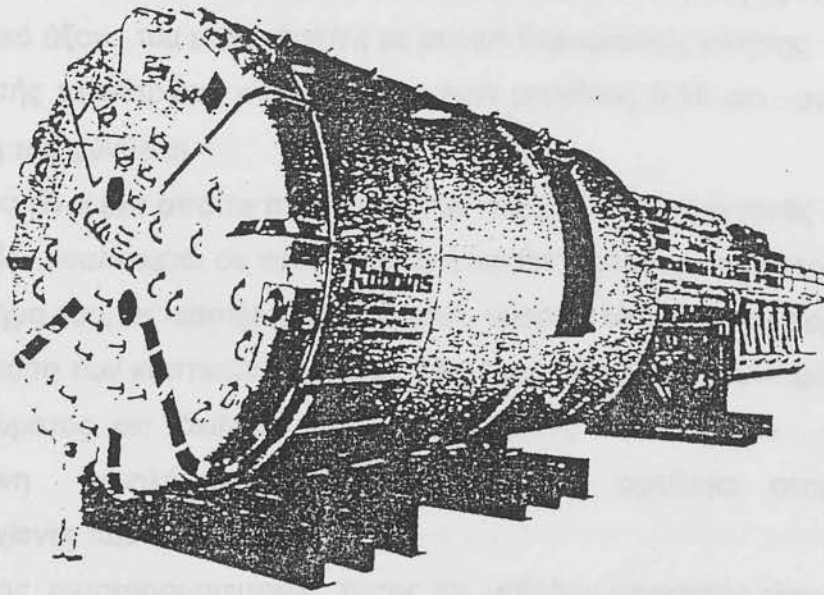
β) Μηχανές με ασπίδα

Διακρίνονται σε μηχανές με απλή ασπίδα και μηχανές με διπλή ασπίδα (εικόνα)

Είναι κατάλληλες για σαθρό , μη αυτοφερόμενο πέτρωμα (εικόνες 2.7 & 2.8)



Εικόνα 2.7 Μηχανή Robbins TBM ανοικτού και κλασσικού τύπου, διαμέτρου 4,8 μ. (Cable tunnel, Hong Kong)



Εικόνα 2.8 : Μηχανή Robbins TBM διπλής ασπίδας , διαμέτρου 8,1 μ. (σήραγγα της Βοστώνης).

2.3 ΜΗΧΑΝΕΣ ΟΛΟΜΕΤΩΠΟΥ ΚΟΠΗΣ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΓΙΑ ΣΚΛΗΡΟ ΠΕΤΡΩΜΑ

2.3.1. ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΜΕ ΥΠΟΚΟΠΗ ΤΟΥ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ

Στην περίπτωση αυτή η διεύθυνση της κοπής είναι κάθετη προς τον άξονα προώθησης του μηχανήματος .

Το κοπτικό εργαλείο έχει μορφή δοντιού και μοιάζει με τα κοπτικά εργαλεία των μηχανουργικών τόνων .

Τα κοπτικά εργαλεία είναι κατάλληλα στερεωμένα στην περιφέρεια μιας ή περισσοτέρων στρεφόμενων , δορυφορικών κεφαλών τις οποίες φέρει η κύρια στρεφόμενη κεφαλή του μηχανήματος. Με την περιστροφή των δορυφορικών κεφαλών “αποφλοιώνεται” το πέτρωμα πάνω σε ολόκληρη την επιφάνεια του μετώπου.

Οι δορυφορικές κεφαλές με τα κοπτικά εργαλεία περιστρέφονται γύρω από τον κεντρικό άξονα του μηχανήματος με μορφή δορυφορικής κίνησης. Με την μορφή αυτή κοπής το πέτρωμα κόβεται σε τεμάχια μεγέθους 5-15 cm ανάλογα με την γεωλογική του σύνθεση.

Άρα είναι ένα από τα πλεονεκτήματα της μεθόδου το γεγονός ότι το κοπτικό εργαλείο δεν αναλίσκείται σε καθολική κοπή και θρυμματισμό του πετρώματος, αλλά σε ένα τμήμα του, με αποτέλεσμα μειωμένη φθορά. Μειονέκτημα σοβαρό, είναι η συχνή θραύση των κοπτικών εργαλείων που οφείλεται στην ανομοιόμορφη σύνθεση του πετρώματος και ιδιαίτερα στους κρυστάλλους που περιέχει, καθώς και η απαιτούμενη υψηλή ροπή στρέψης, η οποία οφείλεται στους μεγάλους μοχλοβραχίονες των κοπτήρων.

Ένας αντιπροσωπευτικός τύπος της μεθόδου υποκοπής είναι το μηχάνημα ολομέτωπου κοπής των εργοστασίων Atlas Copco - Hobegger, το οποίο βασίστηκε σε σχέδια του μηχανικού Wohmeyer. Το μηχάνημα αυτό, σε διάμετρο 1,2μ χρησιμοποιήθηκε στην διάνοιξη της σήραγγας Θηβών του υδραγωγείου Μόρνου, σε σχετικά σκληρό πέτρωμα.

Οι κοπτήρες, που κατασκευάστηκαν από ειδικό σκληροχάλυβα, είναι στερεωμένοι στην περιφέρεια των δορυφορικών κοπτικών κεφαλών. Οι πιο επιθυμητές ιδιότητες του σκληρυμένου χάλυβα για τις κοπτικές αιχμές είναι: η ανθεκτικότητα στην τριβή, η σκληρότητα και το ότι δεν είναι καθόλου εύθραυστος. Όταν η απαραίτητη σκληρότητα δεν μπορεί να επιτευχθεί από τον σκληρότερο χάλυβα, τότε είναι αναγκαίο το καρβίδιο του βαλφραμίου με την μορφή παρεμβλήματος.

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 T.B.M. ανάλογα με την σκληρότητα του βράχου. Ο πίνακας 5 δίνει ενδεικτικά τους τύπους κοπτικών αιχμών σε σχέση με τους τύπους πετρωμάτων.

Οι δυνάμεις εργαλείων περιλαμβάνουν τα εξής δύο σημεία:

- τις κάθετες δυνάμεις στο μέτωπο &
- τις εφαπτόμενες δυνάμεις στο μέτωπο της σήραγγας

Οι κάθετες δυνάμεις τείνουν να ελέγξουν το βάθος διάτρησης, το μέγεθος των προϊόντων της εκσκαφής και την φθορά των κοπτικών αιχμών. Όσο μεγαλύτερο

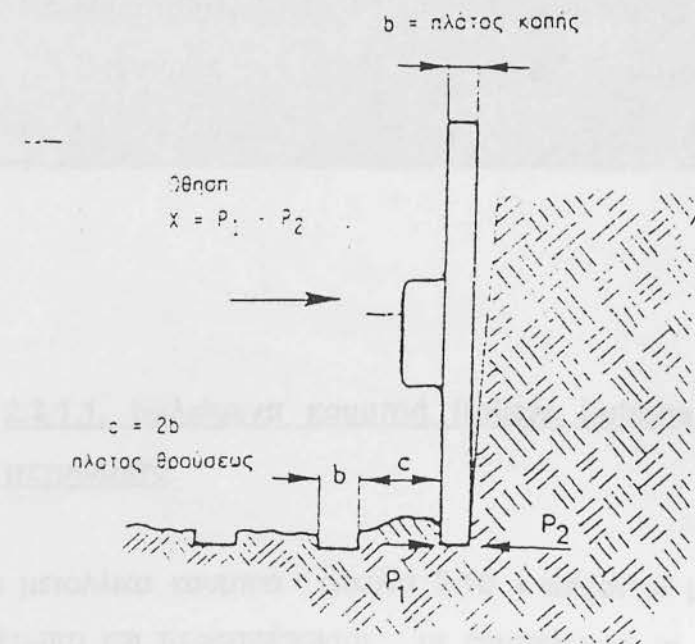
είναι το κάθετο φορτίο μαζί με την φέρουσα ικανότητα της κοπτικής αιχμής τόσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος της διάτρησης καθώς επίσης τόσο χαμηλότερη είναι και η φθορά. Η κάθετη δύναμη συνήθως εφαρμόζεται με την μορφή ώθησης στην κοπτική κεφαλή και μεταφέρεται στις κοπτικές αιχμές.

Οι επαπτόμενες 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 (πίνακας 5).

Η σχέση μεταξύ των δύο αυτών δυνάμεων προσδιορίζεται ως εξής :

$$C = \frac{\text{Εφαπτομένη δύναμη}}{\text{Κάθετη δύναμη}}$$

όπου C είναι γνωστός κοπτικός συντελεστής και για αποδοτικές κοπτικές μηχανές έχει μια τιμή γύρω στο 0,15. (εικόνα 2.9).



Εικόνα 2.9 : Γεωμετρική εσοπτεία της κοπής του πετρώματος με την μέθοδο της υποκοπής

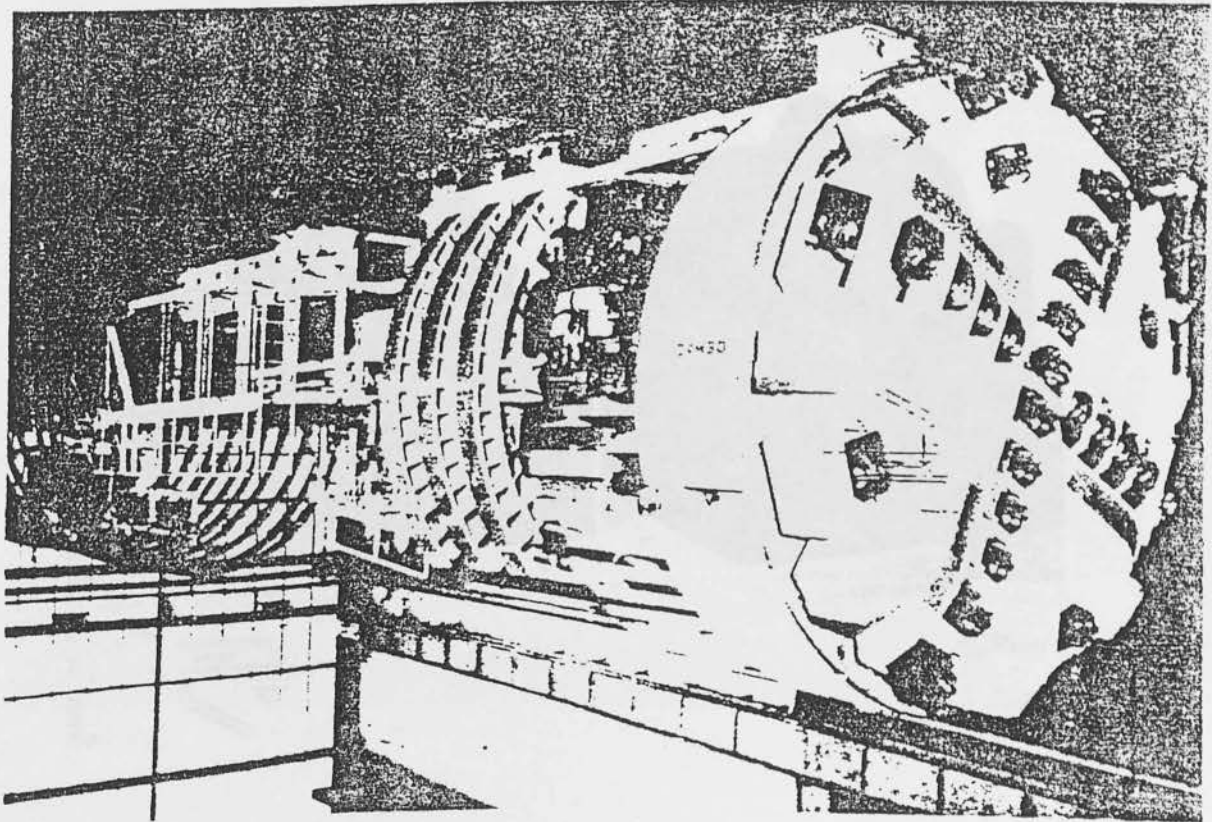
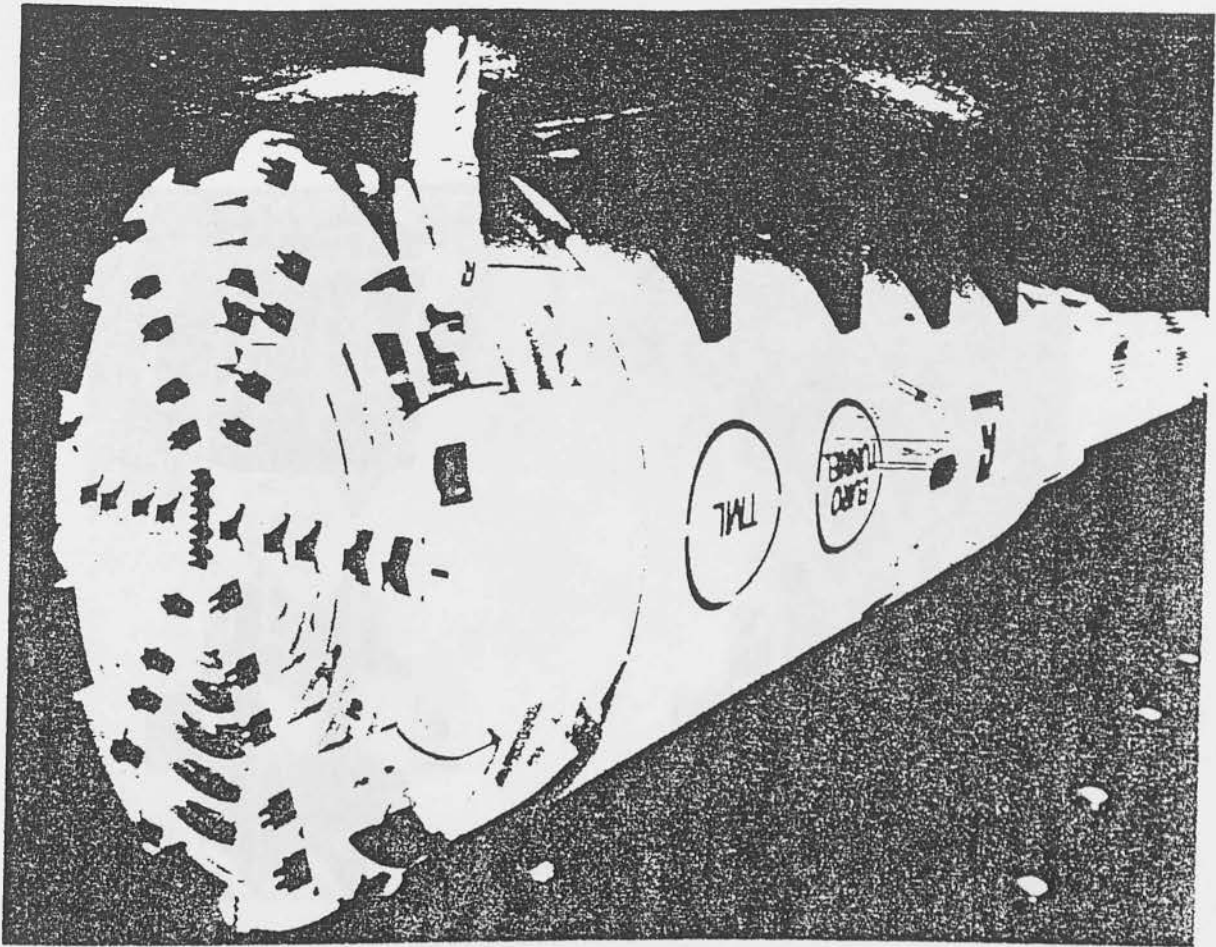
ΠΙΝΑΚΑΣ 5

Κοπτικές κεφαλές για μηχανήματα διάνοιξης σηράγγων

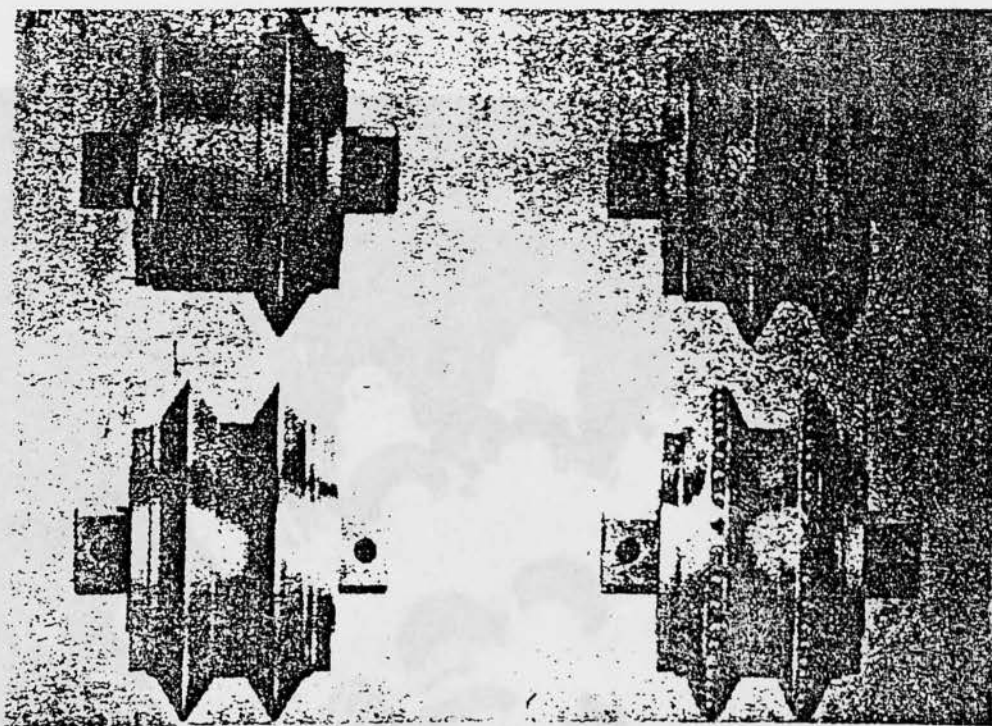
<u>Σκληρότητα πετρώματος</u>	<u>ΜΑΛΑΚΟ</u>	<u>ΜΕΤΡΙΟ</u>	<u>ΣΚΛΗΡΟ</u>	<u>ΠΟΛΥ ΣΚΛΗΡΟ</u>
Είδος πετρώματος	Αργιλικός σχιστόλιθος Αργιλικός ασβεστόλιθος Κοκκώδη εδάφη	Ασβεστόλιθος Ψαμμίτης Αμμώδης, αργιλικός σχιστόλιθος Πορφυρίτης Σιδηρούχα ορυκτά	Πυρίτιο Ασβεστόλιθος Δολομίτης Γρανίτης Σιδηρούχα ορυκτά Χαλαζίτης	Σιδηρούχοι σχηματισμοί Χαλαζίτης Σκληρά πυριγενή πετρώματα
Αντοχή σε θλίψη (N/mm ²)	Μέχρι 50	100	200	300
Κοπτικές κεφαλές	δόντια ή μηχανικές σκαπάνες	κυλιόμενοι δίσκοι	κυλιόμενα κουμπιά	χρήση εκρηκτικών

2.3.1.1. Κυλιόμενα κουμπιά (rollers buttons) για σκληρά πετρώματα

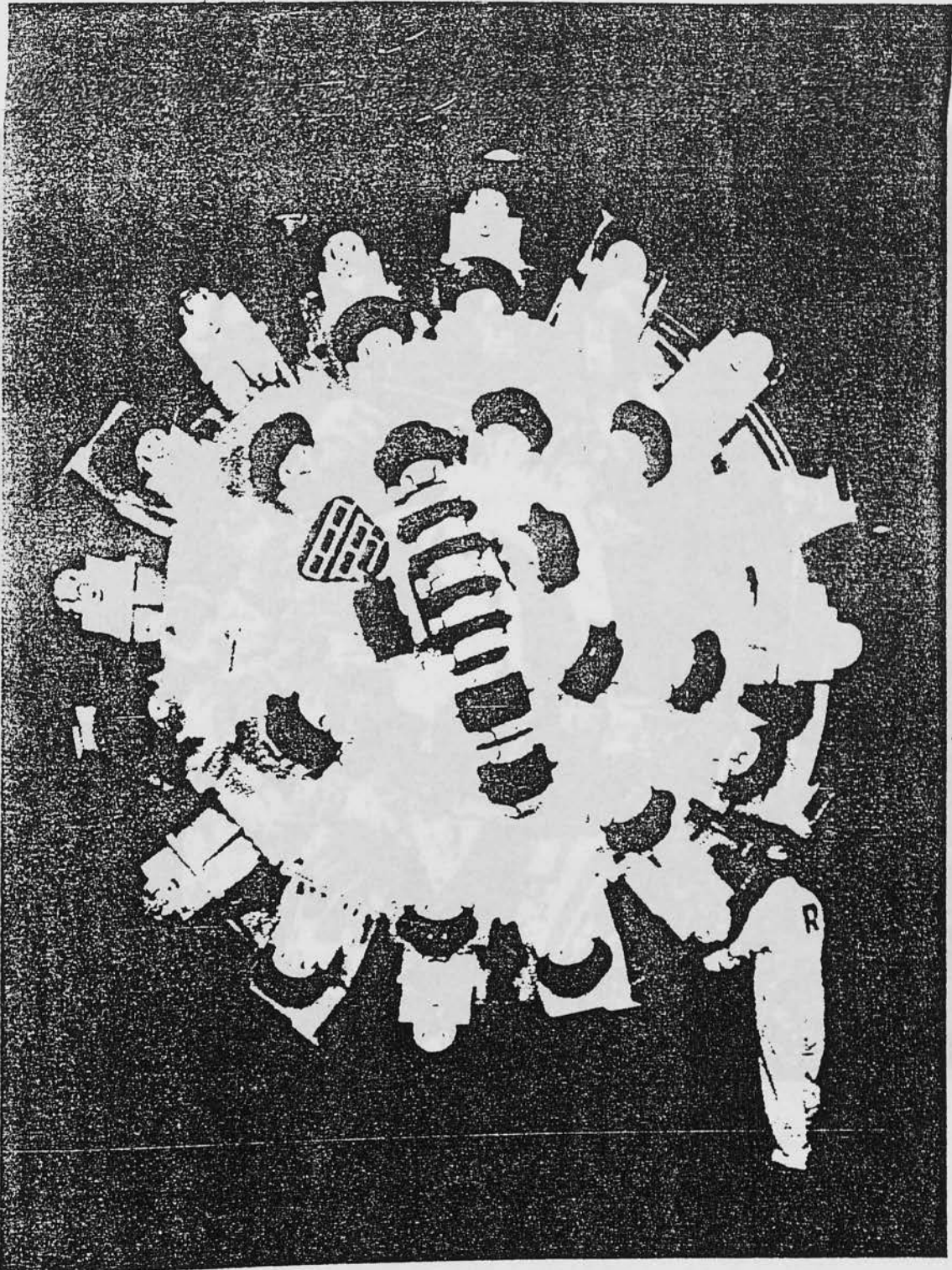
Σκληρά μεταλλικά κουμπιά (εικόνα 2.10) πιέζονται με μεγάλη δύναμη ενάντια στο μέτωπο και περιστρέφονται με αποτέλεσμα το θρυμματισμό του βράχου (εικόνα 2.11).



Εικόνα 2.10



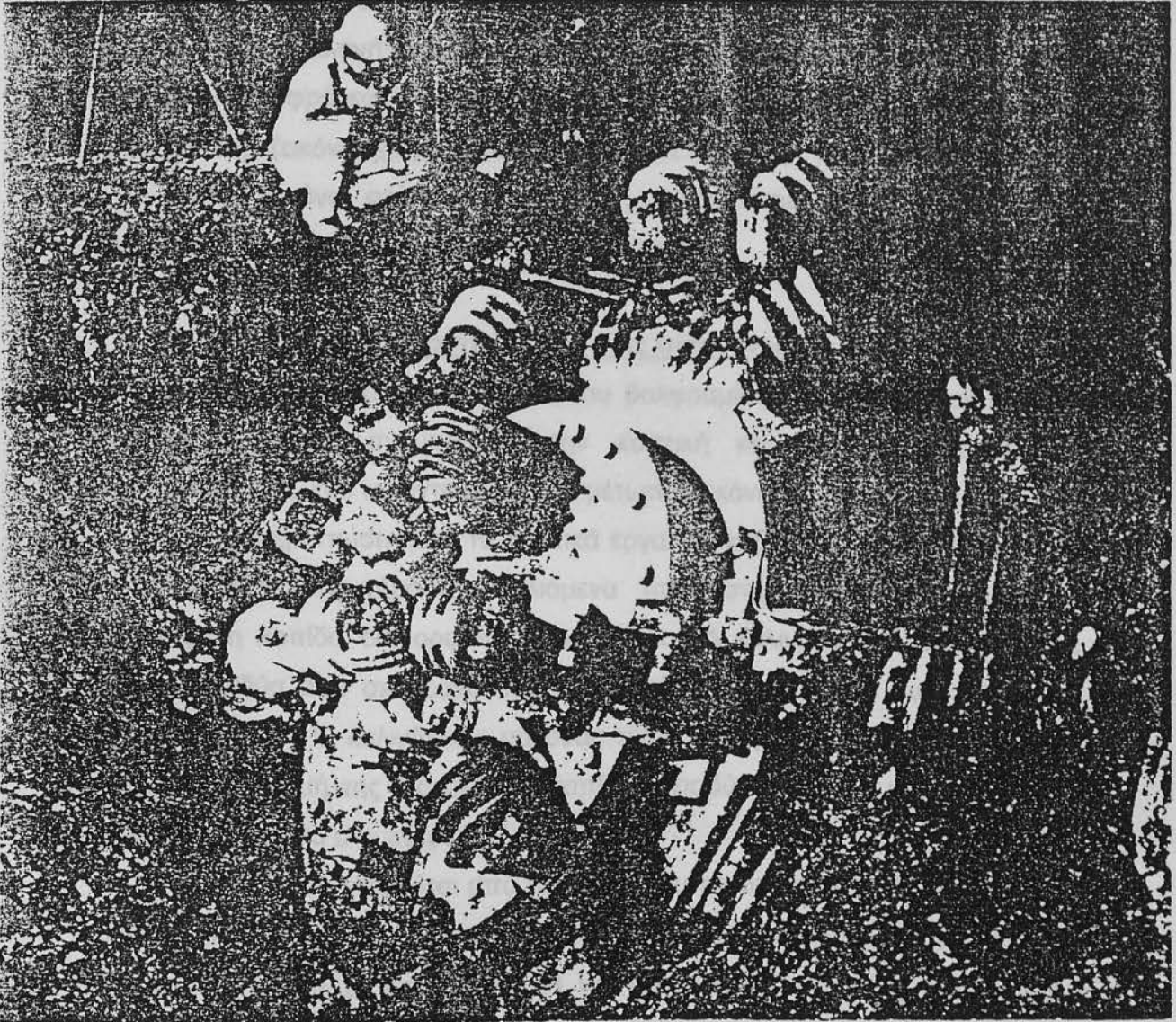
Εικόνα 2.11: Κινούμενα κουμπιά (rollers buttons) διαφόρων μηχανών δίανοιξης σηράγγων για σκληρά πετρώματα



Εικόνα 2.12

2.1.12 Καλύμματα δισκοί για πετρώματα μέσης σκληρότητας

Οι καλύμματα δισκοί τοποθετούνται συμμετρικά σε μια ισχυρή βάση και μια ισχυρή δύναμη εφαρμόζεται στην κατεύθυνση της κίνησης.



Οι καλύμματα δισκοί είναι κατάλληλοι για πετρώματα μέσης σκληρότητας. Οι διαστάσεις κοπής αυξάνονται πάνω στο μέγεθος με αποτέλεσμα οι κόπτες και οι αντίστοιχοι, μεγαλύτεροι από το όριο ελαστικότητας του πετρώματος να καταφέρουν την επιπλέον δύναμη που προκαλείται από τον δριμύτητα του. Η διαδικασία εφαρμογής της κοπής στο πέτρωμα και της θραύσης κατά τις επόμενες αλλαγές (στη βάση του πετρώματος δείγμα) (εικόνα).

Τα κομμάτια με τα οποία μπορεί να εξηλεσθεί η ασπίδα υπόκεινται σε υψηλή φόρδη και συχνή θραύση ιδιαίτερα σε σκληρά πετρώματα.

Ευρύτερη εφαρμογή είναι οι δισκοί κοπής με μεγάλα κεντρικά διαστήματα. Με την μορφή αυτή κοπής το υλικό δεν κομματιάζεται, όπως στην περίπτωση των κοφτών αλλά κόβεται σε σχετικά μεγαλύτερα κομμάτια (ανάλογα με

2.3.1.2. Κυλιόμενοι δίσκοι για πετρώματα μέσης σκληρότητας

Οι κυλιόμενοι δίσκοι τοποθετούνται συμμετρικά σε μια ισχυρή βάση και μια ισχυρή δύναμη εφαρμόζεται στην κοπτική κεφαλή. Αυτή η δύναμη είναι η αιτία της συντριβής και της απόξεσης του βράχου.

Μια παραλλαγή αυτών των δίσκων είναι οι κυλιόμενες κοπτικές αιχμές που παρέχουν ελαφρά καλύτερους θρυμματισμούς βράχου. Η μηχανή Robbins που φαίνεται στην (εικόνα) χρησιμοποιείται συχνά με κοπτικές αιχμές αυτού του τύπου.

Στην (εικόνα) φαίνεται μια μηχανή με κυλιόμενους δίσκους την στιγμή που ανεβαίνει στην επιφάνεια, μετά από 840μ εκσκαφής.

2.3.1.3. “Δόντια” ή μηχανές σκαπάνες για μαλακά πετρώματα

Αιχμηρά δόντια από καρβίδιο του βολφραμίου φοντάρονται σε ακτινωτούς βραχιόνες για να σχηματίσουν την κοπτική κεφαλή, η οποία είναι είτε περιστρεφόμενη, είτε ταλαντούμενη στο μέτωπο (εικόνα 2.12, 2.13 & 2.14).

Στην περίπτωση αυτή τα κοπτικά εργαλεία κόβουν το πέτρωμα παράλληλα προς τον άξονα της σήραγγας, κυλιόμενα πάνω στην επιφάνεια του μετώπου. Η στρεφόμενη κοπίδα διαμορφώνεται ως δίσκος ή κύλινδρος. Ο δίσκος φέρει το κωνικό μανδύα από σκληροχάλυβα τριγωνικής διατομής με ή χωρίς προεξοχές (καρφιά κοπής). Ο κυλινδρικός μανδύας είναι λείος με προεξοχές ή οδόντες. Οι οδόντες ή η αιχμή της δισκοειδούς κοπίδος εισδύουν με την ισχυρή ώθηση του μηχανήματος μέσα στο πέτρωμα.

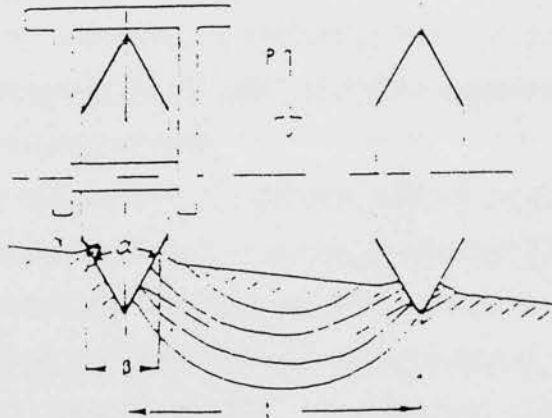
Η διείδυση εξαρτάται από την φύση του πετρώματος από την διάμετρο του δίσκου (μέχρι 600mm) από την γωνία της κοπίδος και από την δύναμη ώθησης την οποία αναπτύσσει το μηχάνημα. Η κοπτική κεφαλή - φορέας των δισκοειδών κοπίδων περιστρέφεται περί τον γεωμετρικό άξονα του μηχανήματος. Οι δισκοειδείς κοπίδες κυλιούνται πάνω στο μέτωπο με αποτέλεσμα οι τάσεις που αναπτύσσονται, μεγαλύτερες από το όριο ελαστικότητας του πετρώματος, να καταστρέφουν την εσωτερική συνοχή του, προκαλώντας έτσι τον θρυμματισμό του. Η διαδικασία εισχωρήσεως της κοπίδος στο πέτρωμα και της θραύσης κατά τις επιφάνειες ολίσθησης (στα νερά) του πετρώματος δείχνει (εικόνα)

Τα καρφιά με τα οποία μπορεί να εξοπλιστεί η ασπίδα υπόκεινται σε υψηλή φθορά και συχνές θραύσεις ιδιαίτερα σε σκληρά πετρώματα.

Ευρύτερη εφαρμογή βρίσκουν οι δισκοειδείς κοπίδες με μανδύα κωνικής διατομής. Με την μορφή αυτή κοπίδος το υλικό δεν κονιοποιείται, όπως στην περίπτωση των καρφιών αλλά κόβεται σε σχετικά μεγαλύτερα τεμάχια (ανάλογα με

το πέτρωμα μέχρι 30 mm) 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 κυλιέται (υπό την ισχυρή πίεση του μηχανήματος) πάνω στην επιφάνεια του μετώπου.



α : γωνία κώνου κοπίδας
P : επιβαλλόμενη δύναμη ώθησης

Εικόνα 2.14 : Γεωμετρική θεώρηση της εισχώρησης της δισκοειδούς κοπίδας στο πέτρωμα

Η δισκοειδής κοπίδα σε συνεργασία με την κατάλληλα τοποθετημένη γειτονική κοπίδα προκαλεί θραύση του πετρώματος κατά τις επιφάνειες ολίσθησης.

Οι θέσεις των συνεργαζόμενων κοπίδων , η διάμετρος και ο αριθμός τους εξαρτώνται από την φύση του πετρώματος. Το μέγεθος και η ποσότητα του υλικού που εξορύσσεται εξαρτάται από την μορφή των επιφανειών ολίσθησης, από την σκληρότητα του πετρώματος από την επιβλημένη δύναμη ώθησης και από την μορφή και την διάταξη των κοπίδων. Ο θρυμματισμός ενός τμήματος του υλικού είναι αναπόφευκτος , με αποτέλεσμα την δημιουργία σκόνης στο μέτωπο. Για το λόγο αυτό απαιτούνται ισχυρά μηχανήματα αποκονίωσης που λειτουργούν με αναρρόφηση και με πίεση.

Αντιπροσωπευτικός τύπος μηχανήματος ολομέτωπου κοπής με δισκοειδείς κοπίδες είναι η μηχανή των εργοστασίων J.S.Robbins. Οι μηχανές των εργοστασίων Wirth , Demag & Lawrence εργάζονται με βάση την ίδια αρχή , με την διαφορά ότι η κοπίδα διαμορφώνεται και ως κυλινδρικό σώμα με καρφιά από σκληροχάλυβα.

Με τα καρφιά επιδιώκεται η αύξηση της διάρκειας ζωής του εργαλείου σε σκληρό πέτρωμα (σκληρότητα πάνω από 1800 Kp/cm²).

3.1 Γενικά για το Σύστημα Διόρθωσης

Το σύστημα Διόρθωσης ή κοπτικής είναι το σημαντικότερο τμήμα του μηχανήματος ολομέτωπου κοπής αφού στα αυτά εδράζονται η λειτουργικότητα και η παραγωγικότητα του μηχανήματος.

Αποτελείται κυρίως από την κοπτική κεφαλή με το κοπτικό εργαλείο , την κίνηση της κοπτικής μηχανής και το σύστημα ώθησης. Το περικόμμα στέβεται στο μέτωπο με τους θάλαμους κοπτικής, οι οποίοι κινούνται σε ομόκεντρους κύκλους πάνω στην κεφαλή και μειώνουν υπό την επήρεια της ωθητικής δύναμης η καθαρή παύση , προώθηση του μηχανήματος ελαττώντας από τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μηχανής και από τις γενικώς παραμέτρους του εδάφους (πίνακας 6).

ΠΙΝΑΚΑΣ 6

Σταθός κοπτικής κεφαλής	Απόδοσή πετρώματος
Δύναμη ώθησης κοπτικής κεφαλής	Εκκληρότητα
Ροπή σπρώχνσης κοπτικής κεφαλής	Αποδοτικότητα
Γιασεύρα δίσκου	Επιμεκράση διαμόρφωση πετρώματος
Στάθρα Πάκτι	Σχεδότητα
Διάκετρος δίσκου	Προσυντελεστής κίνησης των άξονα της σφρίγγας
Βαλβίδα	Γραμμομετρία

Η καθαρή παύση προώθησης είναι γραμμική συνθήκη των άξονα της κοπτικής κεφαλής και της διαμόρφωσης του δίσκου από σφρίγγα της κοπτικής κεφαλής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ ΜΕ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΟΛΟΜΕΤΩΠΟΥ ΚΟΠΗΣ

3.1 Γενικά για το Σύστημα Διάτρησης

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 δισκοειδείς 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 (πίνακας 6).

ΠΙΝΑΚΑΣ 6

<u>Τεχνικά χαρακτηριστικά</u>	<u>Γεωλογικές παράμετροι</u>
Στροφές κοπτικής κεφαλής	Αντοχή πετρώματος
Δύναμη ώθησης κοπτικής κεφαλής	Σκληρότητα
Ροπή στρέψης κοπτικής κεφαλής	Αποξεστικότητα
Γεωμετρία δίσκου	Εσωτερική διαμόρφωση πετρώματος
Φθορά δίσκου	Σχιστότητα
Διάμετρος δίσκου	Προσανατολισμός ως προς τον άξονα της σήραγγας
Διάταξη δίσκου	Υπόστρωμα

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

Η αντίστοιχη σχέση είναι

$$p = \left(\frac{f}{f_1} \right)^b$$

όπου p η καθαρή διείσδυση (mm/στροφή)

f η ώθηση (KN),

f_1 η ανοιγμένη ώθηση για διείσδυση (mm KN)

b εκθέτης

Η ώθηση f_1 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. Η επίδραση της ώθησης στην ταχύτητα προώθησης για διάφορα είδη βράχων φαίνεται στις (εικόνες 3,1 3,2 & 3,3).

Είναι φανερό ότι η φθορά του δίσκου και η αντίστοιχη της επιφάνειας επαφής έχει σημαντική επίδραση.

Ως προς τις ιδιότητες του πετρώματος, η μονοαξονική αντοχή θλίψης, η αντοχή σε εφελκυσμό και ο δείκτης σημειακού φορτίου συμβάλουν στην ταχύτητα προώθησης. Οι ιδιότητες αυτές είναι η βάση της διαμόρφωσης των διάφορων τύπων μηχανών.

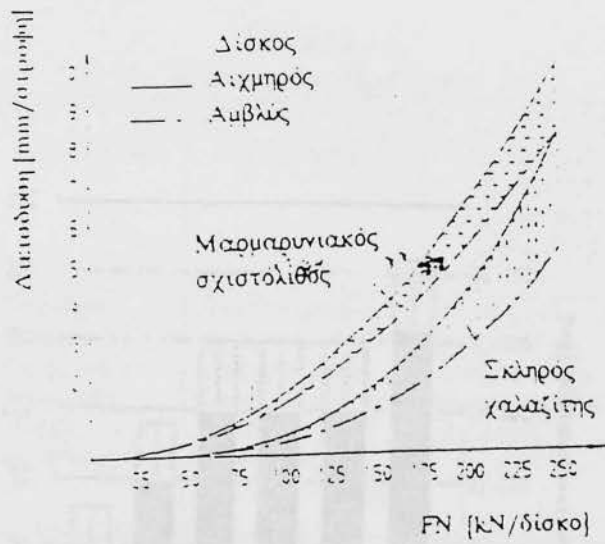
Η επιλογή τους βασίζεται στις γεωλογικές παραμέτρους. Συμπληρωματικά με τις ιδιότητες που προαναφέρθηκαν θα πρέπει να συνυπολογίζεται η επίδραση της σχιστότητας και της εσωτερικής μορφής του πετρώματος.

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 ή χαράσσει το προηγούμενο)

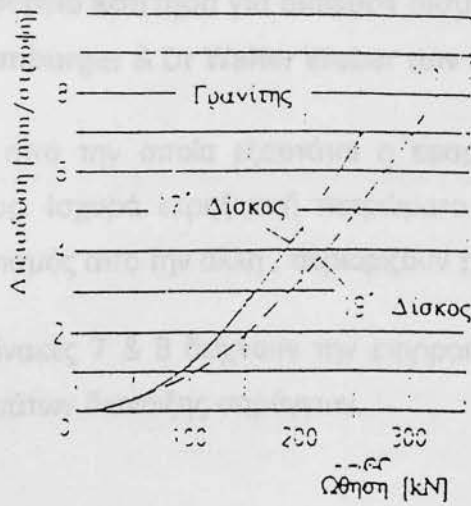
Μαλακότερο  Σκληρότερο	1) Τάλκης
	2) Γύψος
	3) Ασβεστίτης
	4) Φθορίτης
	5) Απατίτης
	6) Ορθοκλαστο (Άστρος)
	7) Χαλαζίας
	8) Τοπάζιο
	9) Κορούνδιο
	10) Διαμάντι

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

ΠΕΤΡΩΜΑ	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑ ΜΟΗ
Αργιλικός σχιστόλιθος	Γενικά κάτω από 3
Ψαμμίτης	3-7 (εξαρτάται από το συνθετικό υλικό)
Ασβεστόλιθος	3
Μάρμαρο	3
Σχιστόλιθος	4-5
Γρανίτης	6-7
Σχιστόλιθος	6-7
Γνεύσιος	6-7
Χαλαζίτης	7



Εικόνα 3.1. Καθαρή διείδυση ως συνάρτηση της δύναμης ώθησης

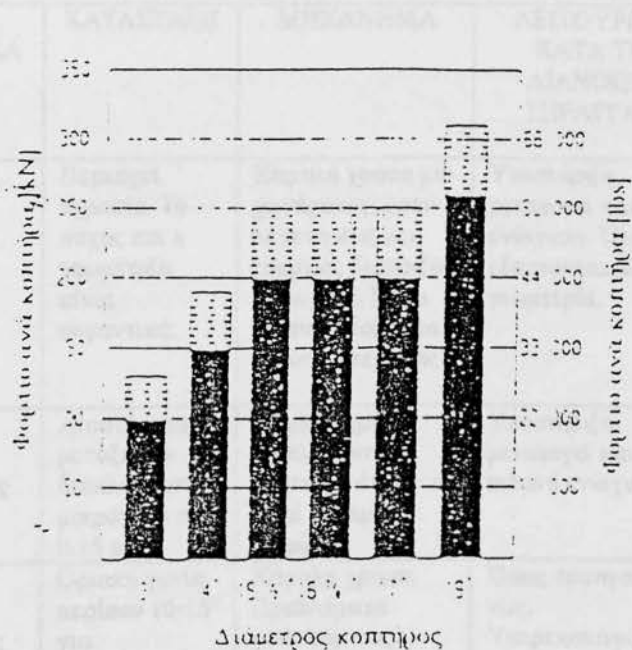


Εικόνα 3.2. Καθαρή διείδυση σε γρανίτη δίσκων 17" & 19"

Πίνακας 7

Καμύς πορτοφύλι

ΨΥΞΗ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΕΝΔΕΙΞΕΩΝ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΤΕΩΝ



Εικόνα 3.3.Μέγιστο φορτίο κοπήρα για διάφορε διαμέτρους κοπήρα. Από μελέτη Herman Hamburger & Dr Walter Weber των εργοστασίων Wirth

Άλλη συνθήκη από την οποία εξαρτάται η εφαρμογή το T.B.M. είναι η συνοχή του πετρώματος. Ισχυρά εκρηξιγενή πετρώματα από την μία, ασταθείς, θρυμματισμένος σχηματισμός από την άλλη , περιορίζουν την εφαρμογή του T.B.M.

Οι παρακάτω πίνακες 7 & 8 δείχνουν την επιρροή διαφόρων παραγόντων στην εφαρμογή μηχανημάτων διάνοιξης σηράγγων.

3.2. Καθοριστικοί Παράγοντες Εφαρμογής T.B.M

Σύμφωνα με τις πρόσφατες μελέτες για την εφαρμογή του T.B.M. , καθοριστικοί παράγοντες είναι το μέγεθος διάτρησης της σήραγγας, το είδος της διατομής της σήραγγας (κυκλική ή πεταλοειδείς) το μέγεθος κατανάλωσης (φθοράς) της κοπτικής αιχμής, η διαθεσιμότητα υπαρχόντων μηχανών , οι γεωλογικές συνθήκες , περιβαλλοντικές θεωρήσεις (επίδραση σκόνης, παρενέργειες ανατινάξεων) και ο χρόνος κατασκευής (πίνακας 7 & 8)

Πίνακας 7
Κύριες παράμετροι.

ΦΥΣΗ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΩΝ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΕΩΝ				
ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΜΗΧΑΝΗΜΑ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ	ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ
Ρήγμα	Περιέχει υγρασία. Το πάχος και η γεωμετρία είναι σημαντικά.	Χαμηλή χρήση μηχανήματος, οφειλόμενη στις λειτουργίες διάνοιξης σήραγγας. Είναι πιθανά προβλήματα καθυστέρησης.	Υποστήριξη, μεταφορά και ενίσχυση. Όλα εξαρτώνται από τη γεωμετρία.	Σχεδιασμός μηχανήματος που να επιτρέπει γρήγορη υποστήριξη οροφής και τοίχων. Καλή πρόβλεψη στο ανάστροφο και στο μέτωπο για μεταφορά προϊόντων εκκοκαφής με τα χέρια. Ειδικευμένος οδηγός στο μηχανήμα για να ελαττωθούν προβλήματα καθοδήγησης.
Έντονες διακλάσεις	Διαστήματα μεταξύ των διακλάσεων μικρότερα από 0.15 μ.	Χαμηλή χρήση. Υψηλό κόστος κοπικών άκρων σε πολύ σκληρό πέτρωμα.	Υποστήριξη, μεταφορά και πιθανή ενίσχυση.	Όπως προηγουμένως. Το μηχανήμα, κατά προτίμηση, να είναι σχεδιασμένο με προστατευτική επικάλυψη.
Σχεδόν παράλληλες ή παράλληλες ασυνέχειες	Οριακή γωνία περίπου 10-15° για ασθενέστερα πετρώματα.	Χαμηλή χρήση. Προβλήματα καθοδήγησης.	Όπως προηγουμένως. Υπερεκκοκαφές που εξαρτώνται κύρια από τη γεωμετρία. Η ενίσχυση μπορεί να είναι κύριο πρόβλημα.	Όπως προηγουμένως. Το μηχανήμα, κατά προτίμηση, να είναι σχεδιασμένο με προστατευτική επικάλυψη.
Υψηλή έως τέλεια αποσάθρωση	Σημαντικοί είναι οι τύποι πετρώματος.	Σκληρά πετρώματα - χαμηλή χρήση. Ασθενή πετρώματα - υψηλή χρήση.	Μηχανοποιημένο σύστημα μεταφοράς προϊόντων εκκοκαφής. Όπως στο ρήγμα.	Όπως στο ρήγμα. Σύστημα μεταφοράς με ικανότητα να χειριστεί υλικό με υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο.
Μεγάλες εισροές νερού	Μεγαλύτερες από 3.000 m ³ /ημέρα σε εύθραυστες ζώνες.	Χαμηλή χρήση. Γενικά χειροτέρευση της ποιότητας σε καθαρά αργιλώδη εδάφη.	Υποστήριξη, άντληση, μεταφορά προϊόντων εκκοκαφής. Εργασιακά προβλήματα.	Πιθανή πλήρωση κενών και προχώρηση εξερευνητικών στοιών. Υδατοστεγανός ηλεκτρικός εξοπλισμός και μεγάλες αντλίες.
Εξαιρετικά σκληρό πέτρωμα	Αντοχή μεγαλύτερη από 200 kN/m ² .	Χαμηλή διάτρηση. Υψηλό κόστος κοπικών άκρων και συντήρησης.	Ενδεχομένως καλό μέσο για διάνοιξη σήραγγας, εφόσον οι ασυνέχειες είναι στεγανές.	Εκλογή μηχανήματος τέτοιου ώστε να μπορεί να κόψει σκληρό πέτρωμα. Επιταχύνεται η σχεδιασμένη συντήρηση.
Μέτωπο που δεν αποτελείται από ένα τύπο πετρώματος	Μεγάλη ποικιλία πετρωμάτων. Η γεωμετρία είναι σημαντική.	Υψηλό κόστος κοπικών άκρων. Υπολογισμός σαν ολομέτωπη εκκοκαφή του πιο σκληρού από τα πετρώματα. Προβλήματα καθοδήγησης και συντήρησης.	Ενίσχυση.	Όπως προηγουμένως. Δεν προτιμούνται κοπικά άκρα από καρβίδια, Ο πεπεραμένος οδηγός είναι σημαντικό στοιχείο.

Πίνακας 8

Συνθήκες μικρότερης σημασίας.

ΦΥΣΗ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΩΝ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΕΩΝ				
ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΜΗΧΑΝΗΜΑ	ΛΕΠΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ	ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ
Μεγάλο ποσοστό διακλάσεων	Διαστήματα 0,5 + 0,15 μ.	Μεγαλύτερη φθορά κοπτικών άκρων σε πολύ σκληρά πετρώματα.	Υποστήριξη και απομάκρυνση εκοκαφής.	Αυτοί οι παράγοντες δημιουργούν, ενδεχομένως, πτωχό έδαφος για διάνοιξη σήραγγας και οι μεγάλες καθυστερήσεις θα σημειωθούν, γενικά, όπου οι παράγοντες δουλεύουν σε συνδιασμό ο ένας με τον άλλο. Όπως πιο πάνω η λύση για την ελαχιστοποίηση των καθυστερήσεων είναι η χρήση ενός μηχανήματος που να επιτρέπει την καλή πρόσβαση για τις λειτουργίες διάνοιξης της σήραγγας και υποστήριξής της.
Ανοιχτές διακλάσεις	Δεν έχουν υλικό πλήρωσης ή συνδετικό υλικό πλήρωσης, όπως άργιλο.		Υποστήριξη.	
Κεκλιμένες διακλάσεις	Δεν έχουν συνεκτικότητα. Οριακή γωνία γύρω στις 20 + 50° με την κατακόρυφο.		Υποστήριξη.	
Διακλάσεις με σπλιμένες πλευρές	Είναι σημαντικές όταν η εργασία γίνεται σε συνδιασμό με σχεδόν παράλληλες διακλάσεις.		Υποστήριξη.	
Αποσάθρωση	Είναι σημαντικός ο τύπος του πετρώματος.	Η εξασθένηση ή η ελαφριά αποσάθρωση μπορεί να έχει μεγάλη επίδραση σε αργιλώδη εδάφη.	Υποστήριξη και μεταφορά προϊόντων εκοκαφής.	
Ανισοτροπία			Υποστήριξη.	
Επίπεδα στρωμάτωσης που περιέχουν αργιλώδη	Επίπεδα πολύ πυκνά τοποθετημένα που σχηματίζουν αξιολογα επίπεδα εξασθένησης.		Υποστήριξη και μεταφορά που έχουν άμεση σχέση με τα υπάρχοντα αργιλώδη.	
Ασθενή πετρώματα	Μικρότερα από 5 MN/m ² .	Χαμηλή χρήση. Προβλήματα καθοδήγησης.	Υποστήριξη, μεταφορά και ενίσχυση.	
Διανεμημένες εισροές νερού	Τύπος πετρώματος ευαίσθητος στο νερό.		Υποστήριξη και μεταφορά. Ενδεχόμενα προβλήματα εργασίας. Άντληση.	Όλος ο ηλεκτρικός εξοπλισμός πρέπει να προστατεύεται από το νερό.
Ορυκτοποίηση	Αποτελεσματική θεραπεία από τις διακλάσεις και τα μικρότερα ρήγματα.	Υψηλή χρήση.	Καλές συνθήκες διάνοιξης σήραγγας.	Συνεχής διάνοιξη.

3.2.1. ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ

Οι δύο 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 ασφαλείας.

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

Για τον υπολογισμό του μεγέθους διάτρησης ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα :

- Προσδιορισμός του μηχανήματος και συσχετιζόμενων παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν
- 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
- Σχεδιασμός μιας διάτρησης ανά περιστροφική κίνηση (καμπύλη διάτρησης - σκληρότητας) για την κατάλληλη ιστορική περίπτωση που θα χρησιμοποιηθεί.

- Χρήση της ολικής σκληρότητας από τα δείγματα για τον υπολογισμό της διάτρησης ανά περιστροφική κίνηση.
- Χρήση της προβλεπόμενης διαμέτρου και του μεγέθους της κοπτικής κεφαλής για τον προσδιορισμό της αναλογίας διάτρησης.

3.2.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΤΩΝ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΑΙΧΜΩΝ

Ο προσδιορισμός της φθοράς των κοπτικών αιχμών γίνεται από τους κατασκευαστές εξαρτημάτων και είναι δύσκολο να γενικευτεί . Ωστόσο , είναι δυνατό, να συσχετιστεί η ολική σκληρότητα (H.T.) με το κόστος κοπτικών αιχμών, για μια μεγάλη ποικιλία μηχανημάτων.

3.2.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ

Σαν χρησιμοποίηση (utilization) καθορίζεται το ποσοστό του όλου χρόνου κίνησης, μέσα από τον οποίο το T.B.M. κόβει πραγματικά το πέτρωμα.

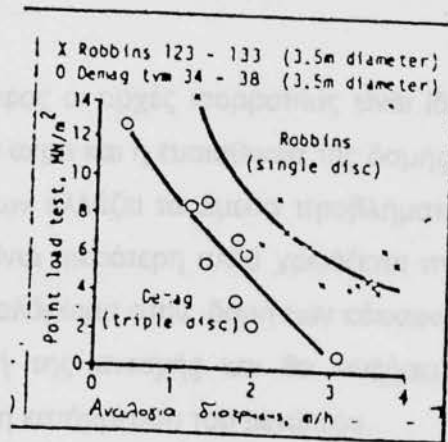
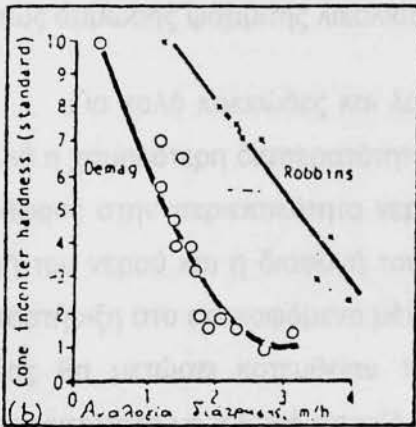
3.2.4. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΔΥΟ ΤΥΠΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΟΜΟΙΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ

Με σκοπό να υπολογισθούν οι σχέσεις μεταξύ σκληρότητας του πετρώματος και προσχώρησης, σκληρότητας του πετρώματος και κατανάλωσης κοπτικών αιχμών και να εξαχθούν διάφορα συμπεράσματα σχετικά με την χρήση μηχανημάτων , έγιναν μετρήσεις σε δύο περιπτώσεις γειτονικών σηράγγων , διαμέτρου 3,5 μ. Η μία διανοίχτηκε με ένα DEMAG TVM 34 - 38 , τριπλού δίσκου και η άλλη με ένα ROBBINS 123/133, απλού δίσκου. Τα διαγράμματα των εικ. 3.4. και 3.5. δίνουν την σχέση μεταξύ αντοχής του πετρώματος και αναλογίας προχώρησης και για τις δύο μηχανές.

Το διάγραμμα της εικ. 3.4. εκφράζει την προχώρηση σε σχέση με την αντοχή του πετρώματος από μετρήσεις αντοχής με POINT - TEST .

Το διάγραμμα της εικ. 3.5 εκφράζει την προχώρηση σε σχέση με την σκληρότητα από μετρήσεις σκληρότητας με δοκιμή STANDAR κώνου αιχμής.

Το συμπέρασμα είναι ότι στο συγκεκριμένο παράδειγμα με το ROBBINS πετυχαίνονται μεγαλύτερες προχωρήσεις.



Εικ. 3.4 3.5 Αναλογία διάτρησης σε σχέση με αντοχή του πετρώματος, για τα δύο μηχανήματα του παραδείγματος

Τα διαγράμματα των εικ. 3.6 & 3.7 δίνουν την σχέση αναλογίας και κατανάλωσης δίσκων και ιδιοτήτων πετρώματος και για τις δύο μηχανές, όπως παραπάνω.

Σε όλες τις περιπτώσεις το μηχάνημα απλού δίσκου δίνει λιγότερη αναλογία κατανάλωσης.

Παρατηρείται μια σημαντική διασπορά των δεδομένων σημείων του τύπου τριπλού δίσκου.

Εικ. 3.6 3.7. Κατανάλωση κοπτικών εργαλείων (δίσκων) σε σχέση με την αντοχή του πετρώματος για τα μηχανήματα του παραδείγματος

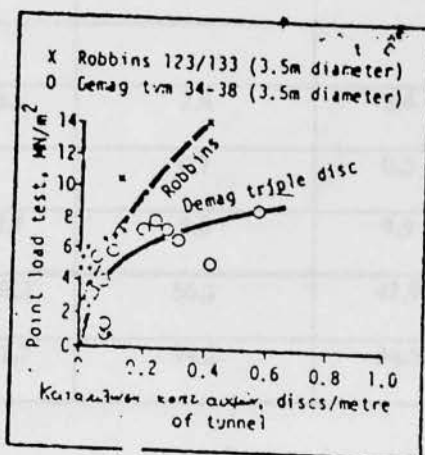
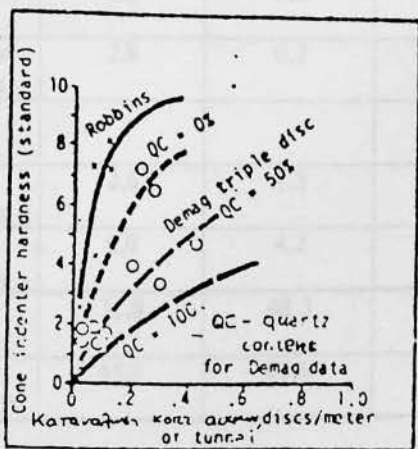
Αυτό εξηγείται από το ότι στον κώνο που χαράσσει στην δοκιμή, από την οποία προκύπτει το διάγραμμα, υπήρχαν διάφορες περιεκτικότητες χαλαζία. Μια μεγαλύτερη αναλογία φθοράς της κοπτικής αιχμής τριπλού δίσκου οφείλεται στην τριβή που γίνεται από την μεγαλύτερη περιστροφή με τα προϊόντα εκσκαφής.

Οι πίνακες 9 και 10 συνοψίζουν τις αναλύσεις κινήσεων και διακοπών των δύο μηχανημάτων.

Καθώς διατρύπουν διάφορα πετρώματα βλέπουμε ότι τα πιο ικανοποιητικά μέσα και στις δύο περιπτώσεις είναι τα μαλακά, συμπαγή πετρώματα όπως αμμόδης ψαμμίτης λικόλιθος κ.τ.λ.

Για καλό κοκκώδες και λασπώδες έδαφος οι αρχές ισορροπίας είναι ίδιες, αλλά η χαμηλότερη διαπερατότητα σε νερό και αέρα και η ευαισθησία της δομής του εδάφους στην περιεκτικότητα νερού των πόρων αλλάζει τα άμεσα προβλήματα. Η ροή του νερού και η διαφυγή του αέρα θα είναι μικρότερη αλλά χρειάζεται πυκνή υποστήριξη στο εκσκαφόμενο μέτωπο. Κάθε χαλάρωμα στην δομή των κόκκων της ιλύος θα μετώσει κατευθείαν την διατμητική της αντοχής και θα αυξήσει την διαπερατότητα με πιθανό αποτέλεσμα την ολική κατάρρευση του μετώπου.

Η ιλύς εξακολουθεί να είναι ο πιο ανεπιθύμητος τύπος εδάφους κατά την διάνοιξη σήραγγας και η συνάντησή της απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή.



Εικ 3.6 3.7. Κατανάλωση κοπτικών αιχμών (δίσκων) σε σχέση με την αντοχή του πετρώματος για τα μηχανήματα του παραδείγματος

Πίνακας 9

Ανάλυση διακοπών - εκατοστιαία αναλογία χρόνου βάρδιας.

DEMAG T.V.M. 34-38 triple disc/button

ΤΥΠΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	Ψαμμίτης	Ψαμμίτης	Ανάμικτα στρώματα	Γλυόλιθος	Ασβεστόλιθος	Δολερίτης	Γλυόλιθος
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	Πυριτιούχος	Πυριτιούχος	Σκληρυμμένα	Γλυώδης	Παχυστρωματώδης	Αποδοτικός	Καθαρός
Απόσταση από εξοδό (km)	0-0,5	0-5	1	2	2	3	5
Μήκος του τεστ (m)	500	200	400	150	850	200	100
Προχώρηση (m/h)	1,2	1,2	1,6	2,0	1,4	0,6	2,7
ΚΥΡΙΕΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΕΙΣ							
1. Συντήρηση μηχανήματος	2,7	4,1	7,8	11,5	11,8	10,7	11,6
2. Αντικατάστ. κοπτικών άκρων	10,0	10,2	2,7	1,0	4,2	11,2	1,9
3. Τοποθέτηση σιδηροτροχιάς στον πυθμένα	6,7		1,8	2,4	2,3		2,4
4. Υποστήριξη	1,7		6,4	12,2	1,0	0,1	22,1
5. Χάραξη/Λείζερ	0,2					0,9	
6. Συντήρηση σήραγγας	1,8	0,2	3,4	3,5	4,9	1,1	8,4
7. Αλλαγή βαγον. για mucking	2,3	3,4	6,2	3,7	6,0	2,5	7,8
ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΕΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΕΙΣ							
8. Υδατοπτώσεις (mucking)	4,1	4,6	1,6	5,7	2,1	1,0	10,9
9. Φορτωτής (mucking)	16,7	8,8	5,3	5,9	0,1	5,5	2,7
10. Μηχανικός φορτ. (muck.)	3,0	4,5		4,1			2,6
11. Ηλεκτρικά μηχανήματα	1,0	1,9	2,0	2,0	1,8	1,4	0,9
12. Μηχανοκίν. μηχανήματα	4,3	7,7	9,9	3,5	1,1	0,7	1,1
13. Πρόωρη υποστήριξη						0,4	
14. Εκτροχιασμοί ουρμών	2,3	0,6	0,4	0,5	0,1	1,0	2,0
15. Νερά (όχι μεταφερόμενα)	2,8	0,2	0,2				
16. Συντήρηση σήραγγας				3,1	2,8	5,4	4,8
17. Εξωτερικοί παράγοντες	2,6	1,3			0,7	0,3	
18. Διάφορες άλλες αιτίες	6,0	4,2	2,0	2,7	5,0	9,9	3,5
Επί τοις % καθ. χρήση μηχανήμ.	31,8	48,3	50,3	38,2	56,1	47,9	17,0
Πρόσδος (m/120 ώρ. εργ.)*	45,8	69,6	96,6	91,7	94,2	34,5	55,1

* Πρόσδος (m/120 ώρες εργασίας) = Προχώρηση (m/h) x 120 (ώρες εργασίας) x $\frac{\text{καθαρή χρήση μηχανήματος}}{100}$

100

Πίνακας 10

Ανάλυση διακοπών - εκατοστιαία αναλογία χρόνου βάρδιας.

ROBBINS 123/133						
ΤΥΠΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	Ψαμμίτης	Ασβεστόλιθος στην οροφή	Ψαμμίτης	Ψαμμίτης	Γλυόλιθος	Γλυόλιθος
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	Παχυσωματώδης Χονδρόκοκκος	Ανάμικτα στρώματα στη σήραγγα	Πυριτιούχος	Χονδρόκοκκος Αργίλοσχιτώδης	Γλυώδης	Καθαρός
Απόσταση από έξοδο (km)	0,5	3	4,5	5,5	7	7,5
Μήκος του τεστ (m)	200	560	100	750	210	170
Προχώρηση (m/h)	3,5	3,0	2,3	3,7	2,9	3,0
ΚΥΡΙΕΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΕΙΣ						
1. Συντήρηση μηχανήματος	4,0	13,2	3,8	8,8	4,4	6,3
2. Αντικατάσταση κοπτικών άκρων	6,5	9,1	11,0	5,4	2,1	2,7
3. Τοποθέτηση σιδηροτροχιάς στον πυθμένα	0,3	1,8	2,0	2,4	0,7	6,8
4. Υποστήριξη	0,9	2,1		6,9	17,7	28,8
5. Χάραξη (Λείζερ)			0,9			
6. Συντήρηση σήραγγας	4,9	5,4	3,0	3,4	5,5	2,4
7. Αλλαγές βαγονιών για mucking	14,6	15,0	13,5	16,0	8,7*	6,1*
ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΕΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΕΙΣ						
8. Υδατοπώσεις (mucking)						
9. Φορτωτής (mucking)	0,6	0,3		1,5	0,9	1,1
10. Μηχ. φορτωτής (mucking)						
11. Ηλεκτρικά μηχανήματα	3,8			0,3	1,4	1,6
12. Μηχανοκίν. μηχανήματα	0,9	2,0	4,2	2,3	1,7	2,5
13. Πρόωρη υποστήριξη		1,2	2,0	1,1	3,7	
14. Εκτροχιασμοί συρμών		0,7	4,0	2,6	1,5	3,2
15. Νερά (όχι μεταφερόμενα)	26,2			0,5	1,3	
16. Συντήρηση σήραγγας						
17. Εξωτερικοί παράγοντες						
18. Διάφορες άλλες αιτίες	9,2	10,1	12,6	13,8	14,4	15,6
Επί τοις % καθαρή χρήση μηχανήματος		39,1	43,0	35,0	36,0	22,9
Πρόσδος (m/120 ώρ. εργ.)	118,0	140,8	118,7	155,4	125,3	82,4

* εφαρμόστηκαν συρμοί με μεγαλύτερη χωρητικότητα απομάκρυνσης προϊόντων εκσκαφής

3.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΜΕ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΟΛΟΜΕΤΩΠΟΥ

ΚΟΠΗΣ

Για την κατασκευή σηράγγων χρησιμοποιούνται τα εξής συστήματα:

- i) Μηχανική διάτρηση όλης της διατομής με μηχανές απλής ή διπλής ασπίδας τηλεσκοπικού τύπου (για μαλακά εδάφη)
- ii) Μηχανική διάτρηση όλης της διατομής με μηχανές ανοιχτού τύπου (για αυτοφερόμενο)
- iii) Μηχανική διάτρηση με οδηγητική σήραγγα (Pilot Tunnel) & στην συνέχεια διεύρυνση.

3.3.1. ΟΛΟΜΕΤΩΠΗ ΚΟΠΗ ΜΕ ΑΠΛΗ ΑΣΠΙΔΑ

Ένα μεγάλο ποσοστό οδικών σηράγγων μεγάλης διατομής σε μαλακά πετρώματα , διατρήθηκαν τα τελευταία χρόνια με μηχανήματα ολομέτρωτου κοπής με ασπίδα , με παράλληλη τοποθέτηση των επενδυτικών στοιχείων (εικ. 3.8) .

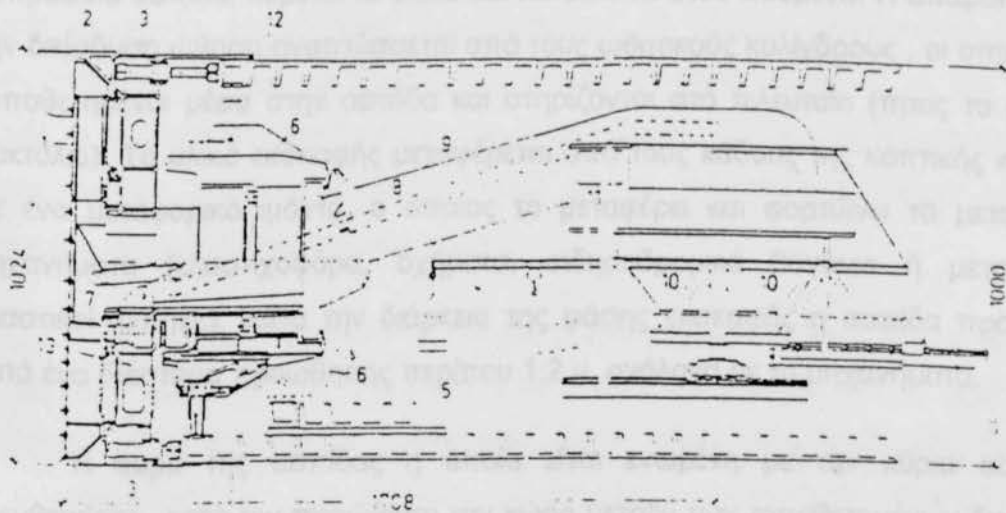
Οι μηχανές με ασπίδα αποτελούνται από την ασπίδα , το σημαντικότερο εργαλείο του μηχανήματος διάτρησης από την κοπτική κεφαλή, με την μονάδα κίνησης, από το σύστημα ώθησης , από το συγκρότημα των κινητηρίων μονάδων και από το σύστημα φόρτωσης των μεταφορικών μέσων.

Η εκσκαφή και η αντιστήριξη της σήραγγας γινόταν μέσα στην προστατευόμενη περιοχή της ασπίδας.

Η αντιστήριξη της σήραγγας εξασφαλίζεται με την τοποθέτηση προκατασκευασμένων στοιχείων δακτυλίων , από οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι δακτύλιοι μπορούν να σχεδιαστούν έτσι ώστε να αποτελέσουν την τελική επένδυση της σήραγγας ή να θεωρηθούν ως πρωτογενής αντιστήριξη, με διάστρωση σκυροδέματος για την τελική ασφάλιση.

Σε σύγκριση με τα μηχανήματα ανοιχτού τύπου η προώθηση των μηχανών με ασπίδα περιορίζεται από την ταχύτητα τοποθέτησης των δακτυλίων αντιστήριξης. Το μειονέκτημα αυτό αντιμετωπίζεται με ελεύθερη τοποθέτηση υποστηριγμάτων εφ' όσον το επιτρέπουν οι εδαφολογικές συνθήκες.

Η διάνοιξη σηράγγων μεγάλης διατομής με ασπίδα, σε μη αυτοφερόμενο βράχο, μπορεί να οδηγήσει σε παγίδευση της ασπίδας. Σε σήραγγες μεσαίου μεγέθους το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με μια πρόσθετη υπερεκκαυφή ή με ασπίδα μορφής λεπίδας ρυθμιζόμενης διαμέτρου, η οποία αποτελείται από χωριστά στοιχεία προώθησης.



Εικ 3.8. Μηχάνημα ολομέτωπου κοπής με τηλεσκοπική ασπίδα (Σχέδιο Robbins)

- | | |
|---|-------------------------------|
| 1) Τροχός κοπής | 8) Κύριος μεταφορικός ιμάντας |
| 2) Αναβατήριο υλικού με κάδους | 9) Αεροστεγές κάλυμμα |
| 3) Κύλινδρος προώθησης (τηλεσκοπήσεις) | 10) Θέση μεταφόρτωσης |
| 4) Τροχιά γερανού (μοναριαιλ) | 11) Καμπίνα χειρισμού |
| 5) Δακτύλιοι αντιστήριξης(οπλισμένο σκυρόδεμα) | 12) Στεγάνωση ασπίδας ουράς |
| 6) Διάταξη τοποθέτησης δακτυλίων | 13) Διάδρομος επίσκεψης |
| 7) Ενδιάμεσος τροφοδοτικός ιμάντας | |

Για την αντιστήριξη του βράχου οι κενοί χώροι πίσω από τους προκατασκευασμένους δακτυλίους γεμίζονται με ειδικό σκυρόδεμα ή οι δακτύλιοι προεκτείνονται προς το πέτρωμα.

Είναι απαραίτητο ο προμηθευτής της μηχανής T.B.M. να γνωρίζει τις παραμέτρους των μικρομετακινήσεων, το μέγεθος της αλλαγής της διατομής και την αναμενόμενη αντίδραση του διαταραγμένου βράχου.

Οι φάσεις λειτουργίας του μηχανήματος, ανά κύκλο έχουν ως εξής (εικόνα 3.8)

α) Εκσκαφή και σκυροδέτηση πλάτης δακτύλων.

Με την περιστροφή της κοπτικής κεφαλής, η οποία εδράζεται μέσα στην εμπρόσθια ασπίδα, κόβεται το υλικό και καταπίπτει στον πυθμένα. Η απαραίτητη για την διεύθυνση ώθηση αναπτύσσεται από τους ωθητικούς κυλίνδρους, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι μέσα στην ασπίδα και στηρίζονται στο τελευταίο (προς το μέτωπο δακτύλιο). Το υλικό εκσκαφής μεταφέρεται από τους κάδους της κοπτικής κεφαλής σε ένα μεταφορικό ιμάντα, ο οποίος το μεταφέρει και φορτώνει τα μεταφορικά μηχανήματα (ελαστικοφόρα, οχήματα, σιδηροδρομικά βαγόνια ή μεταφορικοί ελαστικοί ιμάντες). Κατά την διάρκεια της φάσης εκσκαφής η ασπίδα προωθείται κατά ένα διάστημα προώθησης περίπου 1,2 μ ανάλογα με τα μηχανήματα.

Η ουρά της ασπίδας η οποία είναι ενωμένη με την κύρια ασπίδα, ελευθερώνει, κατά την προώθηση τον χώρο μεταξύ των τοποθετημένων δακτυλίων και του πετρώματος. Για την αποφυγή καθιζήσεων πρέπει ο χώρος αυτός να γεμίσει με υλικό πλήρωσης.

β) Σύμπτυξη υδραυλικών κυλίνδρων και δακτυλίου πίεσης

Μετά το πέρας της προώθησης κατά ένα βήμα 1,2 μ (ανάλογα με το μέγεθος του μηχανήματος), συμπύσσονται συγχρόνως, οι υδραυλικοί κύλινδροι προώθησης. Ο δακτύλιος πίεσης (εξάρτημα του μηχανήματος που τοποθετείται μεταξύ δακτυλίων σκυροδέματος και εμβόλου κυλίνδρου) προχωρεί κατά ένα βήμα.

Έτσι ελευθερώνεται ο χώρος της ασπίδας ουράς για την τοποθέτηση του νέου δακτυλίου αντιστήριξης.

γ) Τοποθέτηση δακτυλίων

Με την προστασία του οπίσθιου τμήματος της ασπίδας τοποθετούνται τα στοιχεία του νέου δακτυλίου. Η τοποθέτηση γίνεται με την βοήθεια μιας βοηθητικής διάταξης, η οποία βρίσκεται πάνω στο μηχάνημα.

Ο δακτύλιος πίεσης πιέζεται πάνω στο νέο δακτύλιο αντιστήριξης και επαναλαμβάνεται η νέα φάση εκσκαφής.

3.3.2 ΟΛΟΜΕΤΩΠΗ ΚΟΠΗ ΜΕ ΔΙΠΛΗ ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΚΗ ΑΣΠΙΔΑ

Μια εξέλιξη της μηχανής ολομέτωπου κοπής με απλή ασπίδα είναι η μηχανή με διπλή τηλεσκοπική ασπίδα, η οποία επιτρέπει προχώρηση της κεφαλής με ή χωρίς σύγχρονη τοποθέτηση των δακτυλίων. Η μηχανή αποτελείται από την εμπρόσθια ασπίδα, με την κοπτική κεφαλή και το κύριο έδρανο, με την ασπίδα ουράς για την τοποθέτηση των δακτυλίων επένδυσης. Η εμπρόσθια ασπίδα και η κύρια ασπίδα συνδέονται μεταξύ τους με το τηλεσκοπικό τμήμα και τους υδραυλικούς κυλίνδρους τηλεσκόπησης.

Όταν η μηχανή μπορεί να προεκταθεί ικανοποιητικά προς τα τοιχώματα της σήραγγας, τότε έχει την δυνατότητα να σκάβει το μέτωπο και συγχρόνως να τοποθετεί τους δακτυλίους επένδυσης. Στην περίπτωση κατά την οποία οι γεωλογικές συνθήκες δεν απαιτούν αντιστήριξη, η εμπρόσθια ασπίδα με την κοπτική κεφαλή προωθείται μέσω των κυλίνδρων τηλεσκόπησης, ενώ η κύρια ασπίδα στηρίζεται στα τοιχώματα της σήραγγας.

Αν η δύναμη προέκτασης προς τα τοιχώματα δεν είναι ικανή να προωθήσει την κοπτική κεφαλή η μηχανή λειτουργεί ως κοινή μηχανή με απλή ασπίδα. Η προχώρηση δηλαδή πρέπει να διακοπεί προκειμένου να τοποθετηθούν οι δακτύλιοι.

Για την μείωση του ενεργού μήκους της ασπίδας (απαραίτητος παράγοντας για την αποφυγή παγίδευσης της ασπίδας από τα υψηλά φορτία των υπερκείμενων υλικών, ή για την περίπτωση εργασιών επί καμπυλών) προστίθενται αρθρωτοί σύνδεσμοι μεταξύ των γειτονικών τμημάτων της ασπίδας.

π.χ. μεταξύ εμπρόσθιας ασπίδας κοπτικής κεφαλής και κύριας ασπίδας και μεταξύ κύριας ασπίδας και ασπίδας ουράς.

Οι μεγαλύτερες τηλεσκοπούμενες μηχανές που κατασκευάστηκαν μέχρι σήμερα εργάζονται στην διάνοιξη της σήραγγας της Μάγχης (συνολικά 8 μηχανές με διάμετρο 8,36 και 8,72 μ) και στο σύστημα αποχέτευσης του λιμένα της Βοστώνης (Robbins) διαμέτρου 8,1 σε σκληρό πέτρωμα.

3.3.3. ΜΗΧΑΝΗ ΟΛΟΜΕΤΩΠΟΥ ΚΟΠΗΣ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΤΥΠΟΥ

Οι μηχανές της κατηγορίας αυτής δεν έχουν ασπίδα και επομένως είναι κατάλληλες για σκληρό αυτοφερόμενο πέτρωμα. Υπάρχουν δύο τύποι μηχανών ολομέτωπου κοπής, οι οποίες διαφέρουν στην βασική διαμόρφωση ως προς το σύστημα πέδιλων στήριξης προέντασης, στα τοιχώματα και στο σύστημα κατεύθυνσης (εικ.3.9.)

3.3.3.1.Μηχανή ολομέτωπου κοπής Robbins

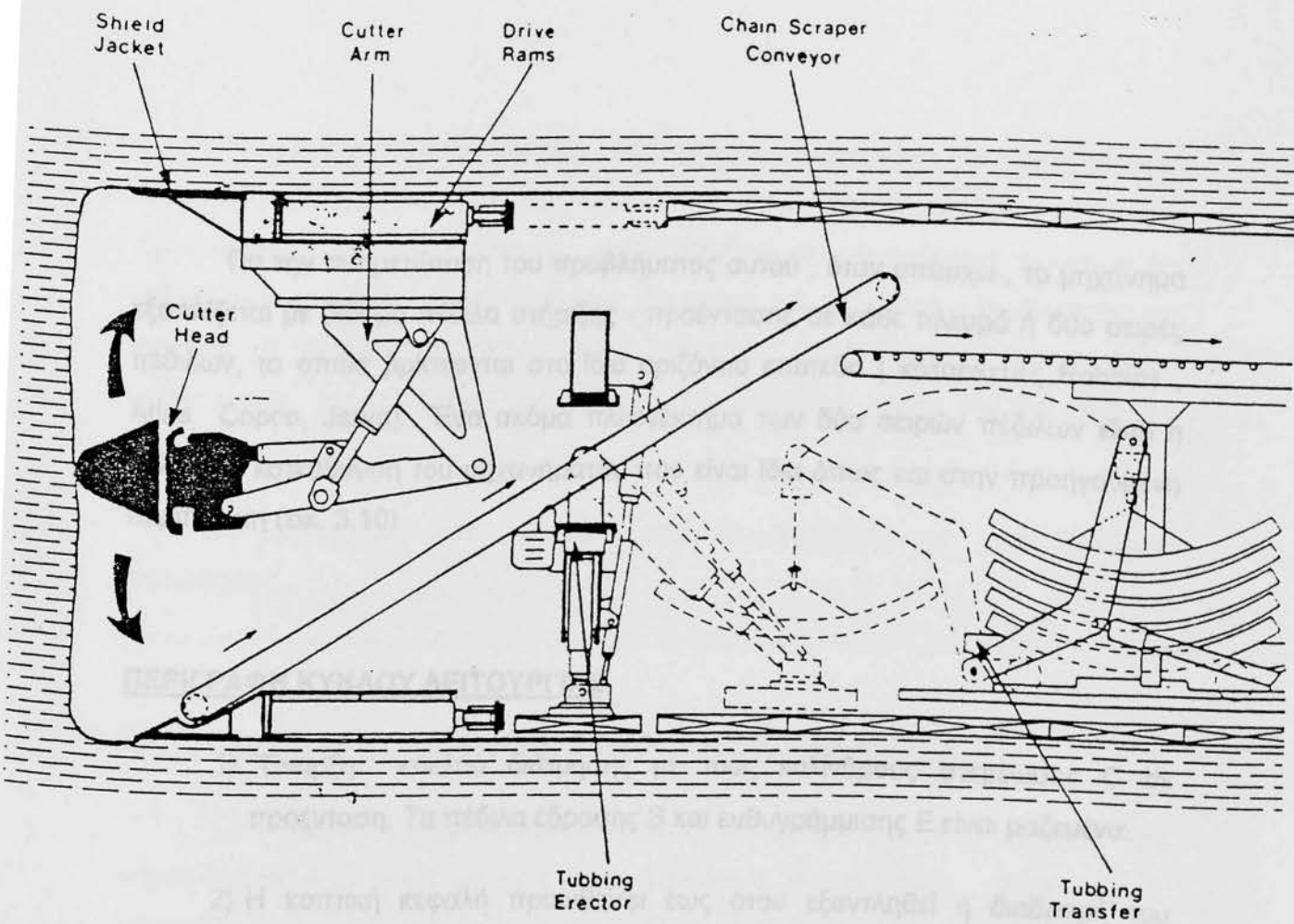
Η εικόνα 3.10 δίνει αρχή λειτουργίας της μηχανής ROBBINS.

Το χαρακτηριστικό της απλής μηχανής Robbins είναι η χρησιμοποίηση ενός ζεύγους κυλίνδρων προέκτασης προς τα τοιχώματα της σήραγγας.

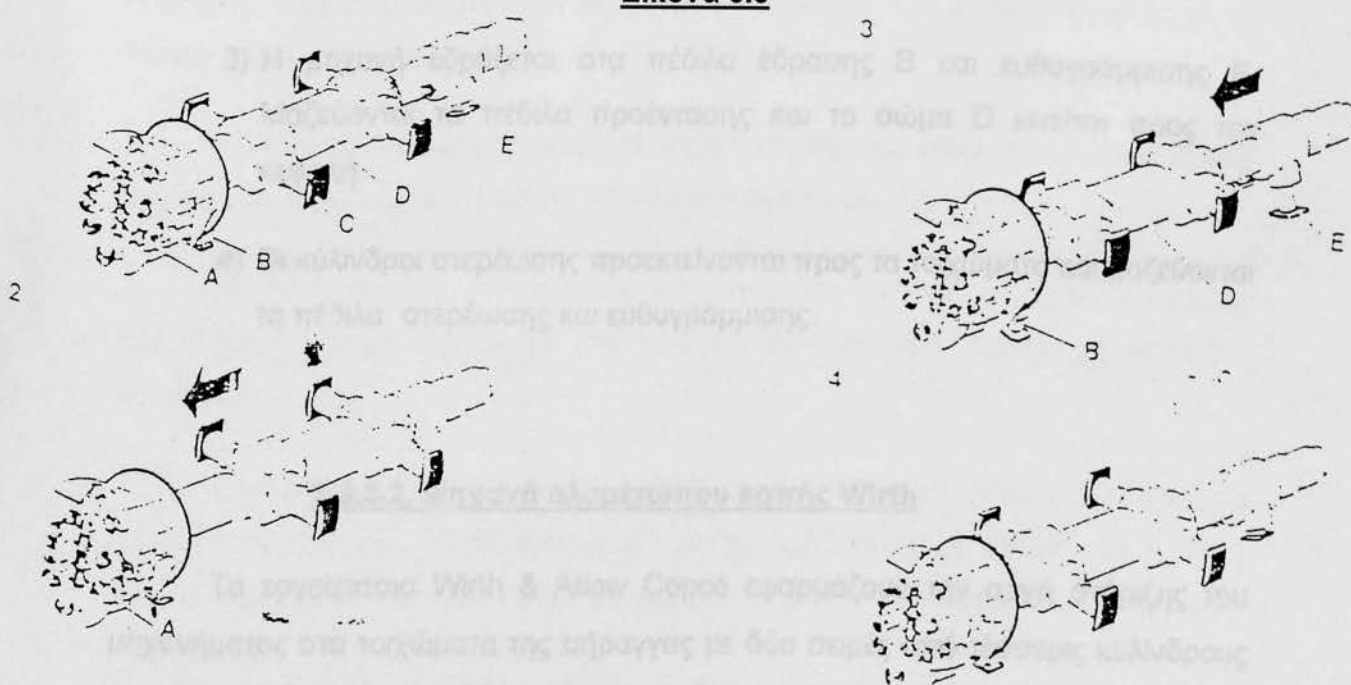
Κατά την φύση της εκσκαφής η μηχανή προεκτείνεται προς τα τοιχώματα της σήραγγας για την επίτευξη πρόσφυσης, απαραίτητης για την ανάπτυξη της δύναμης ώθησης της κεφαλής.

Η προώθηση γίνεται με τους κυλίνδρους προώθησης . Όταν εξαντληθεί η διαδρομή των εμβόλων προώθησης της μηχανής , διακόπτεται η λειτουργία , η μηχανή εδράζεται στα βοηθητικά πέδιλα υδραυλικής λειτουργίας και οι υδραυλικοί κύλινδροι πλευρικής στήριξης συσπειρώνονται . Το κύκλωμα των υδραυλικών κυλίνδρων προώθησης αναστρέφεται από προώθηση της κεφαλής σε συσπίρωση των εμβόλων, και το σύστημα των κυλίνδρων στερέωσης - προέκτασης κινείται προς την φορά του μετώπου κατά μια διαδρομή εμβόλου.

Οι κύλινδροι προεκτείνονται στην νέα θέση προς τα τοιχώματα, μαζεύοντας τα βοηθητικά πέδιλα στήριξης και η λειτουργία εκσκαφής επαναλαμβάνεται για ένα μήκος διαδρομής εμβόλου. Το σύστημα είναι απλό και δεν απαιτεί πολλούς χειρισμούς. Έχει το μειονέκτημα όμως ότι λόγω των υψηλών δυνάμεων στήριξης, απαιτείται αντίστοιχα ανθεκτικό πέτρωμα. Όταν παρουσιαστούν ρήγματα ή κενά , η λειτουργία του μηχανήματος είναι προβληματική.



Εικόνα 3.9



Εικ. 3.10 Μηχανή ολομέτωπου κοπής ανοικτού τύπου για σκληρό πέτρωμα με δύο κυλίνδρους προέντασης - στερέωσης (Atla3s Corco Jarva)

- A) Κοπτική κεφαλή
- B) Πέδιλα έδρασης
- C) Πέδιλα με κυλίνδρους προέντασης - στερέωσης προς τα τοιχώματα.
- D) Σώμα μηχανής
- E) Πέδιλα ευθυγράμμισης

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, όταν υπάρχει, το μηχάνημα εξοπλίζεται με δίδυμα πέδιλα στήριξης - προέντασης σε κάθε πλευρά ή δύο σειρές πέδιλων, τα οποία βρίσκονται στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο (κατασκευές Robbins, Atlas Corco, Jarva). Ένα ακόμα πλεονέκτημα των δύο σειρών πέδιλων είναι η καλύτερη κατεύθυνση του μηχανήματος που είναι ίδια όπως και στην προηγούμενη περίπτωση (εικ. 3.10)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΥΚΛΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

- 1) Έναρξη κύκλου διάτρησης με τους κυλίνδρους στερέωσης C σε προένταση. Τα πέδιλα έδρασης B και ευθυγράμμισης E είναι μαζεμένα.
- 2) Η κοπτική κεφαλή προωθείται έως ότου εξαντληθεί η διαδρομή του εμβόλου προώθησης.
- 3) Η μηχανή εδράζεται στα πέδιλα έδρασης B και ευθυγράμμισης E. Μαζεύονται τα πέδιλα προέντασης και το σώμα D κινείται προς την κεφαλή.
- 4) Οι κύλινδροι στερέωσης προεκτείνονται προς τα τοιχώματα και μαζεύονται τα πέδιλα στερέωσης και ευθυγράμμισης.

3.3.3.2. Μηχανή ολομέτωπου κοπής Wirth

Τα εργοστάσια Wirth & Atlas Corco εφαρμόζουν την αρχή στήριξης του μηχανήματος στα τοιχώματα της σήραγγας με δύο σειρές από τέσσερις κυλίνδρους οι οποίοι βρίσκονται σε δύο κάθετα μεταξύ τους επίπεδα. Ο σχεδιασμός αυτός εξασφαλίζει πολύ καλή και ισοσταθμισμένη στήριξη και κατεύθυνση της κοπτικής κεφαλής κατά την διάρκεια της κοπής, σχεδόν ανεξάρτητα από τις γεωλογικές μεταβολές. Η διάταξη αυτή δεν απαιτεί διορθώσεις κατεύθυνσης κατά την φάση της διάτρησης. Οι διορθώσεις γίνονται μετά το πέρας του κύκλου προώθησης, όταν το μηχάνημα εδράζεται στα εμπρόσθια στηρίγματα. Είναι ακριβή λύση ως προς την επένδυση.

Η διάταξη των κυλίνδρων προέντασης - στήριξης σε δύο επίπεδα εξασφαλίζει βελτιωμένες συνθήκες εφαρμογής των δυνάμεων ώθησης στο μέτωπο της σήραγγας. Επίσης, η διάταξη αυτή επιτρέπει την τοποθέτηση πλαισίων και αγκυρώσεων οροφής. Είναι ιδιαίτερης σημασίας για το ρυθμό προχώρησης της μηχανής η δυνατότητα τοποθέτησης πλαισίων αντιστήριξης , αγκυρώσεων, εκτοξευμένου σκυροδέματος και δακτυλίων επένδυσης, χωρίς την διακοπή της εκσκαφής.

Η παράλληλη αυτή λειτουργία αυξάνει σημαντικά την μέση ταχύτητα προώθησης.

3.4. ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΟΛΟΜΕΤΩΠΟΥ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ

Στην μέθοδο ολομέτρωτου διάνοιξης με χρήση μηχανής ασπίδας δεν σημειώνονται διαμπερείς ρωγμές στην επιφάνεια του εδάφους . Μόνο μικρές καταπτώσεις χώματος μπορούν να σημειωθούν στο μέτωπο διάνοιξης , που εύκολα είναι δυνατό να αναχαιτιστούν με κλείσιμο των θυρίδων του τύμπανου κοπής με τις οποίες είναι εφοδιασμένο

Η περίπτωση αυτή σπανιότατα παρουσιάζεται και μόνο σε αμμώδη εδάφη (περίπτωση Κ.Α.Α. Θεσσαλονίκης όπου απεφεύχθη κάθε επιπλοκή).

Μεγάλης έκτασης καταπτώσεις και διαμπερείς ρωγμές μέχρι την επιφάνεια του εδάφους σημειώνονται με την μέθοδο NATM (Νέα Αυστριακή Μέθοδος Σηράγγων).

Σύμφωνα με τις στατιστικές διαπιστώσεις που έχουν γίνει στην Γερμανία (αποστάσεις 120 χλμ. Σε 65 σήραγγες που έχουν διανοιχτεί με την μέθοδο NATM) σημειώθηκε μια κατάπτωση κάθε 10 χλμ στις σήραγγες που έχουν αποπερατωθεί μέχρι σήμερα.

Η πιθανότητα ρωγμής στις σήραγγες με την μέθοδο αυτή αυξάνει αν το πάχος του υπερκείμενου στρώματος είναι 20 μέτρα ή (λιγότερο από 1,5 φορές την διάμετρο της σήραγγας) , όπως στην περίπτωση του METPO της Αθήνας. Η ρωγμή που σημειώθηκε το 1986 κατά την διάνοιξη της σήραγγας Kneberg (κοντά στο Kassel στην Γερμανία) με την μέθοδο NATM , δημιούργησε στην επιφάνεια μια

καθίζηση βάθους πολλών μέτρων , με περιοχή επίδρασης μήκους 60 μ. & πλάτους 15μ.

3.5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ & ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Τ.Β.Μ.

3.5.1. Πλεονεκτήματα

- 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 Τ.Β.Μ. για διάνοιξη σηράγγων σε κατοικημένες περιοχές.

- Τα ηλεκτρικά παραχωρούμενα μηχανήματα δεν παράγουν ούτε καπνούς ούτε τοξικά αέρια που πρέπει να απομακρύνονται.

- Μπορούν να ελαχιστοποιηθούν οι υπερεκκαφές με προφανή οικονομικά αποτελέσματα.

- Η μεταφορά προϊόντων εκσκαφής μπορεί να γίνεται συνέχεια.

- Κάτω από συνθήκες πετρώματος ίδιες με αυτές για τις οποίες σχεδιάστηκε η μηχανή μπορεί να επιτευχθεί τέτοια πρόοδος που δεν μπορεί να γίνει με καμία άλλη μέθοδο.

3.5.2. Μειονεκτήματα

Το βασικότερο μειονέκτημα των Τ.Β.Μ. είναι η στέρηση ευκαμψίας. Κάθε Τ.Β.Μ 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 ξαναλειτουργήσει η μηχανή.

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

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

4.3. ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΩΝ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΑΣ

Η εκαστοική ενός δικτύου μετρό στην περιοχή της πρωτεύουσας, περαιτέρω αναμένεται να συμβάλει περισσότερο από κάθε άλλο τμήμα στην ανακούφιση του κυκλοφοριακού συγκοινωνιακού προβλήματος της.

Και αυτό είναι λογικό εφ' όσον το ΜΕΤΡΟ αποτελεί το γενικό πριμότερο μέσο δημοσίως συνεισφερόμενο από ένα έργο δοκιμαστές και λειτουργούν με επιτυχία μέχρι σήμερα, λόγω 2 βασικών χαρακτηριστικών του.

α) Μεγάλη μεταφορική ικανότητα (μεγάλες όγκους).

β) Υπόγειο διάδρομο κάτω από τα κέντρα της πόλης που το αποκαταβάλλει από την επιφανειακή κυκλοφορία και του επιτρέπει να αναπτύσσει μεγάλες ταχύτητες.

Για μια περιοχή όπως η Αθήνα τα δύο αυτά χαρακτηριστικά και ειδικά το δεύτερο, απαιτούν ιδιαίτερη βαρύτητα εφ' όσον υπάρχει ήδη στενότερο χώρου για κατασκευή αποκονδύρισης όγκων.

Παρουσιάζουν τα αίτια ΜΕΤΡΟ 2 σημαντικά μειονεκτήματα:

α) Μεγάλο κόστος κατασκευής και λειτουργίας.

β) Επιρροή της πολιοδομικής εξέλιξης της πόλης που κατασκευάζονται, επειδή με την μεγάλη εξυπηρέτηση που προσφέρουν η χωρητικότητα και ταχύτητα δημιουργούν σοβαρές ανεπάρκειες στην προσπελασιμότητα των περιοχών που διέρχονται σε γραμμές του ΜΕΤΡΟ.

Για αυτό βασική προϋπόθεση για έναν επιτυχημένο σχεδιασμό δικτύου μετρό είναι μια σειρά λειτουργικών και εμπνευσμένων μελετών που το εξετάζουν όλες τις πλευρές θέσης και ανημέριες - του προβλήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1. ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΩΝ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΑΣ

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 δύο αυτά χαρακτηριστικά και ιδίως το δεύτερο αποκτούν ιδιαίζουσα βαρύτητα εφ' όσον υπάρχει τόση στενότητα χώρου για κατασκευή οποιονδήποτε έργων.

Παρουσιάζουν τα Δίκτυα ΜΕΤΡΟ 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 (χωρητικότητα και ταχύτητα) 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 όλες τις πτυχές - θετικές και αρνητικές - του προβλήματος.

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 ΜΕΤΡΟ 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.

4.2. ΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΟ ΜΕΤΡΟ

Βασικά υπάρχουν 3 μελέτες που έχουν ασχοληθεί ουσιαστικά με το ΜΕΤΡΟ της περιοχής της πρωτεύουσας.

A. Μελέτη κυκλοφορίας και μεταφορών περιοχής Αθηνών Αττικής.

WILBUR SMITH , ΤΟΜΟΣ 2 ΜΑΙΟΣ 1974

B. ATHENS METRO - GENERAL REPORT

SOFR ETU - SGTE - SOGELERG - ADK Δεκέμβριος 1977

Υπάρχουν βέβαια και οι προτάσεις για διατάξεις του δικτύου μετρό.

Γ. Π.Ρ.Σ.Α

Δεκέμβριος 1977

Δ. Υ.Σ.Π.Π.

Γραφείο Δοξιάδη 1976

Στην πρώτη φάση κατασκευής του μετρό προστέθηκαν να κατασκευαστούν οι 2 γραμμές.

α. Μοναστηράκι - Σύνταγμα - Ολύμπειο - Πάντειος

Σε καμιά από τις παραπάνω μελέτες δεν έγινε προσπάθεια αξιολόγησης των προτεινόμενων δικτύων από οικονομικής πλευράς. Η οικονομική σκοπιμότητα των έργων είναι σήμερα διεθνώς ένα από τα βασικότερα κριτήρια στην διαδικασία σχεδιασμού και επιλογής των έργων, είτε είναι συγκοινωνιακό είτε όχι.

Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί η ασάφεια που υπάρχει ως προς το κόστος κατασκευής του δικτύου μετρό.

Στην πρώτη μελέτη παρουσιάζεται ένα κόστος 10 δισεκατομμυρίων δραχμών σε τιμές 1972 , για την κατασκευή δικτύου συνολικού μήκους 43,3 χλμ.

Στην τρίτη μελέτη που είναι πιο σύγχρονη (Δεκέμβριος 1977) δίδεται ένα κόστος κατασκευής 21,480 εκ . δραχμές για 19,5 χλμ. Μετρό στο οποίο δεν συμπεριλαμβάνονται οι δαπάνες απαλλοτριώσεων για την δημιουργία σταθμού και λοιπών εγκαταστάσεων.

Υπάρχει μεγάλη ασάφεια για το πόσο θα κοστίσει το έργο του ΜΕΤΡΟ. Φαίνεται ότι θα είναι αρκετά ακριβό έργο που οπωσδήποτε χρειάζεται μια εμπειριστατωμένη εξέταση από πλευράς οικονομικής σκοπιμότητας.

4.3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΘΗΝΩΝ

4.3.1. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η περιοχή των Αθηνών χαρακτηρίζεται από ένα ανάγλυφο κοιλάδας με πολυάριθμους λόφους.

Οι συνθήκες εδάφους κατά μήκος των 2 γραμμών του ΜΕΤΡΟ 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" (ή κιμιλιά) .

Οι σχιστόλιθοι αυτοί παρουσιάζουν ρήματα , είναι τοπικά αργιλώδεις 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.

4.3.2. Στρωματογραφία

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

Ο Αθηναϊκός σχιστόλιθος που αποτελεί το υπόβαθρο της πόλης . Είναι της ανώτερης κρητιδικής περιόδου και περιλαμβάνει δύο ορίζοντες .

α) Τον κατώτερο ορίζοντα που αποτελείται από στρώσεις αργιλλοαμμώδους σχιστόλιθου, του τύπου φλύσχη με παρεμβολή αργιλικού ή ασβεστολιθικού ψαμμίτη, κατακερματισμένου ή καρστικού χρώματος τεφρού έως τεφροπράσινου , μπορεί να αποβεί φαιοκίτρινος από εξαλλοίωση.

Περιέχει πολλές αλλαγές πλευρικών όψεων.

Έτσι είναι δυνατόν να συναντηθούν ασβεστολιθικές διαστρώσεις , λίγο - πολύ φαργώδεις και πυριτιδικές διαστρώσεις .

Πρέπει να σημειωθεί ότι έχουν δημιουργηθεί εγχύσεις ηφαιστειογενών πετρωμάτων , ταυτόχρονα με τις προσχώσεις . Έτσι σε αυτόν το ορίζοντα μπορούν να συναντηθούν βασικά ηφαιστειογενή πετρώματα τύπου αλβίτη , οφιόλιθου και διαβάση.

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 μαργών, φαιοκίτρινων και διαστρώσεις νεφρών πυρίτη.

Περιλαμβάνει πλακοειδή ασβεστόλιθο και κροκαλολατοποπαγή .

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

Ο ασβεστόλιθος των Αθηναϊκών λόφων είναι κρυσταλλικός ασβεστόλιθος , συμπαγής σε ακανόνιστες στρώσεις μεγάλου πάχους, κατακερματισμένες. Μερικές φορές έχει υφανσματική όψη.

Οι νεογενείς διαστρώσεις αποτελείται από μαργαικούς ασβεστόλιθους , ψαμμίτες και κροκαλοπαγή. Η έκτασή τους είναι περιορισμένη.

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 (Μεταξουργείο , Κολωνός) ενώ οι παλαιότερες αποτελούνται από συμπαγή κροκαλοτυποπαγή.

γ) Στις κοντακρημίσεις στους πρόποδες των ασβεστολιθικών λόφων , σε πάχος μικρότερο των 3 μ. γενικά . Είναι υλικά χαλαρά, μικρής συνοχής και τοπικά ,υλικά μέσης συνοχής.

δ) Στους κώνους πρόσχωσης , στις ζώνες αλλαγής κλίσης της κοίτης χειμάρρων . Αποτελούνται από όγκους ελαφρά στρογγυλεμένους, ποικίλης σύνθεσης, που συνδέονται με ασβεστούχο , συνδετική ύλη και άργιλο. Το πάχος τους κανονικά είναι κάτω των 10 μ.

Η Β γραμμή του Μετρό θα βρεθεί στον κατώτερο ορίζοντα του Αθηναϊκού σχιστόλιθου με επικάλυψη τεταρτογενών αποθέσεων, πάχους μικρότερου από 10μ εκτός από την αλσοβιακή μισγαγκεία των ποταμών Κηφισού και Ιλισού .

4.3.3. Τεκτονική

Οι διάφορες ορογενετικές κινήσεις προκάλεσαν μια πτύχωση των στρώσεων κατά διεύθυνση άξονα ΒΑ/ ΝΔ .

Υπό την επίδραση των κινήσεων αυτών , οι άκαμπτοι σχηματισμοί κατακερματίστικαν και υπέστησαν ισχυρό μεταμορφισμό.

Οι εύκαμπτοι και πλαστικοί σχηματισμοί παρουσίασαν ισχυρή πτύχωση και ασθενή μεταμορφισμό. Στην πραγματικότητα η ανομοιογένεια των εδαφών

προκάλεσε ανομοιόμορφες πτυχώσεις, κυρίως στην επαφή σχιστόλιθου και ασβεστόλιθου.

Οι διάφορες ηπειρογενετικές κινήσεις προκάλεσαν με την εξάρθρωση των στρώσεων την δημιουργία σημαντικού ανάγλυφου που εξομαλύνθηκε αργότερα με την διάβρωση.

Σε συμπέρασμα, οι σχηματισμοί είναι κατακερματισμένοι και παρουσιάζουν κλιτές πολύ ανομοιογενούς προσανατολισμού. Οι ασβεστόλιθοι είναι κατακερματισμένοι και καρστικοποιημένοι. Οι σχιστόλιθοι, κανονικά δεν παρουσιάζουν ανοιχτές ρωγμές, επειδή έχουν πληρωθεί με άργιλο.

4.3.4. Υδρογεωλογία της περιοχής των Αθηνών

Το κλίμα των Αθηνών χαρακτηρίζεται από βροχοπτώσεις συνολικού μέσου ετήσιου ύψους 400 χιλιοστ.

Η περίοδος των βροχών μεταξύ Οκτωβρίου και Μαρτίου με ύψος βροχόπτωσης άνω των 35 χιλιοστ.

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

Τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά κάθε σχηματισμού είναι τα ακόλουθα :

Αθηναϊκός σχιστόλιθος:

Ο κατώτερος ορίζοντας χαρακτηρίζεται από την παρουσία μερικών διαπερατών επιπέδων, με καθορισμένη διεύθυνση σε ένα σχηματισμό λίγο διαπερατό στο σύνολό του.

Αποτελείται από εναλλαγή αδιαπέραστου σχιστόλιθου και στρώσεων με περισσότερη περιεκτικότητα άμμου και με μέση διαπερατότητα, συνάρτηση του βαθμού τερματισμού και διαγένεσης.

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. Στην επιφανειακή εξαλλοιωμένη στρώση το υδροφόρο φαίνεται, χωρίς διακοπή μικρής ισχύος αλλά είναι δυνατό τοπικά να είναι σημαντικότερο.

Το πάχος του υδροφόρου ορίζοντα δεν φαίνεται να ξεπερνά τα κ.σ.μ.

Η πεζομετρική επιφάνεια του υδροφόρου αυτού αντιστοιχεί σχεδόν προς την επιφάνεια του εξαλλοιωμένου τμήματος του κατώτερου ορίζοντα. Πάντως , στις ζώνες ισχυρού κερματισμού ή στις ζώνες ασβεστόλιθου το υδροφόρο είναι δυνατό να κυριαρχεί σε μεγάλο βάθος.

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

Συνεπώς όλος ο ανώτερος ορίζοντας φαίνεται να είναι ημιδιαπερατός με ενίοτε, μερικά διαπερατά επίπεδα σχιστόλιθου και μάργας και παρουσιάζει ανομοιογένεια και ανισοροπία. Από αυτό και η ύπαρξη μικρών υπόγειων λεκανών που επικάθονται των αδιαπέραστων επιπέδων μικρής χωρητικότητας.

Ασβεστόλιθοι των Αθηναϊκών λόφων :

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

Τεταρτογενείς αποθέσεις:

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

4.4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ Β

4.4.1. Κατάταξη των συναντωμένων εδαφών

Λαμβάνοντας υπόψη της μεγάλης ανομοιογένειας του Αθηναϊκού σχιστόλιθου , που καθιστούσε αδύνατη την σύνταξη γεωλογικών τομών προτιμήθηκε να καταταχθούν τα συναντώμενα εδάφη σε συνάρτηση προς ένα λιθολογικό κριτήριο και ένα κριτήριο κατάστασης κερματισμού ή εξαλλοίωσης.

4.4.1.1. Κριτήριο κερματισμού και εξαλλοίωσης

Για τα βραχώδη εδάφη (υπόβαθρο) το κριτήριο είναι πρωταρχικό για τις μελέτες ευστάθειας των εκσκαφών τόσο των υπαίθριων όσο και των υπόγειων .

Και για το υπόβαθρο , επίσης καταστρώθηκε η ακόλουθη αρίθμηση με βάση τις περιγραφές των γεωτρήσεων:

- 1) Πέτρωμα λίγο κερματισμένο , χαρακτηριζόμενο από υψηλή πυρηνοληψία (μεγαλύτερη του 60%). Βαθμός κερματισμού RQD μεγαλύτερο του 50% . Για λόγους σύγκρισης , η κατηγορία αυτή βράχου αντιστοιχεί στην κλάση B της ταξινόμησης Lanfter ή στην κατηγορία III , IV, V της ταξινόμησης After. Πρόκειται για βράχο υγιή, συμπαγή, λίγο κερματισμένο.
- 2) Βραχώδες έδαφος μέτρια κερματισμένο χαρακτηριζόμενο από ποσοστό πυρηνοληψίας, αρκετά υψηλό (άνω του 50%) με βαθμό κερματισμού RQD μεταξύ 10% & 50% . Η κατηγορία αυτή αντιστοιχεί στην κλάση C του Lanfter . Πρόκειται για υγιή βράχο, αρκετά κερματισμένο ή για βράχο ελαφρά εξαλλοιωμένο.
- 3) Βραχώδες έδαφος κερματισμένο χαρακτηριζόμενο από ποσοστό πυρηνοληψίας αρκετά μικρό, με βαθμό κερματισμού RQD κάτω των 10%.
Η κατηγορία αυτή αντιστοιχεί στην κλάση D του Lauffer ή στην κατηγορία VI του Aftes. Πρόκειται για βράχο κερματισμένο ή αρκετά εξαλλοιωμένο.
- 4) Βραχώδες έδαφος αποσυντεθειμένο ή πολύ εξαλλοιωμένο. Η κατηγορία αυτή αντιστοιχεί στην κλάση E του Lahtter ή στην κατηγορία VII του Alter.

4.4.1.2. Λιθολογικό κριτήριο

Για το υπόβαθρο:

- α) Εκρηξιγενές πέτρωμα, τύπου περιοδίτη
- β) Μεταμορφωσιγενές πέτρωμα, τύπου σχιστόλιθου
- γ) Ιζηματογενές πέτρωμα , τύπου ασβεστόλιθου

4.4.1.1. Κριτήριο κερματισμού και εξαλλοίωσης

Για τα βραχώδη έδαφη (υπόβαθρο) το κριτήριο είναι πρωταρχικό για τις μελέτες ευστάθειας των εκσκαφών τόσο των υπαίθριων όσο και των υπόγειων .

Και για το υπόβαθρο , επίσης καταστρώθηκε η ακόλουθη αρίθμηση με βάση τις περιγραφές των γεωτρήσεων:

- 1) Πέτρωμα λίγο κερματισμένο , χαρακτηριζόμενο από υψηλή πυρηνοληψία (μεγαλύτερη του 60%). Βαθμός κερματισμού RQD μεγαλύτερο του 50% . Για λόγους σύγκρισης , η κατηγορία αυτή βράχου αντιστοιχεί στην κλάση B της ταξινόμησης Lanfter ή στην κατηγορία III , IV, V της ταξινόμησης After. Πρόκειται για βράχο υγιή, συμπαγή, λίγο κερματισμένο.
- 2) Βραχώδες έδαφος μέτρια κερματισμένο χαρακτηριζόμενο από ποσοστό πυρηνοληψίας, αρκετά υψηλό (άνω του 50%) με βαθμό κερματισμού RQD μεταξύ 10% & 50% . Η κατηγορία αυτή αντιστοιχεί στην κλάση C του Lanfter . Πρόκειται για υγιή βράχο, αρκετά κερματισμένο ή για βράχο ελαφρά εξαλλοιωμένο.
- 3) Βραχώδες έδαφος κερματισμένο χαρακτηριζόμενο από ποσοστό πυρηνοληψίας αρκετά μικρό, με βαθμό κερματισμού RQD κάτω των 10%.

Η κατηγορία αυτή αντιστοιχεί στην κλάση D του Lauffer ή στην κατηγορία VI του Aftes. Πρόκειται για βράχο κερματισμένο ή αρκετά εξαλλοιωμένο.

- 4) Βραχώδες έδαφος αποσυντεθειμένο ή πολύ εξαλλοιωμένο. Η κατηγορία αυτή αντιστοιχεί στην κλάση E του Lahtter ή στην κατηγορία VII του Alter.

4.4.1.2. Λιθολογικό κριτήριο

Για το υπόβαθρο:

- α) Εκρηξιγενές πέτρωμα, τύπου περιοδίτη
- β) Μεταμορφωσιγενές πέτρωμα, τύπου σχιστόλιθου
- γ) Ιζηματογενές πέτρωμα , τύπου ασβεστόλιθου

Για τις υπερκείμενες γαίες:

- 4α) άργιλος λίγο - πολύ αμμώδεις
- 4β) άργιλος λίγο - πολύ αμμώδης
- 4γ) αμμοχάλικο σε αργιλώδες περιβάλλον υλικό
- 4δ) αμμοχάλικο
- 4ε) κροκάλες και σκληρυμένα.

4.4.2 Υδρογεωλογικά δεδομένα

Η γραμμή Β αναπτύσσεται, κυρίως στις ζώνες με χαμηλό υψόμετρο, πλαισιούμενες από τους λόφους. Βρίσκονται στην γειτονιά των αξόνων αποστράγγισης και επομένως, σε ζώνες συγκέντρωσης ύδατος. Πάντως, οι διάφορες δοκιμές ύδατος που έγιναν κατά την διάρκεια της διάνοιξης των ορυγμάτων για πολυάριθμες κατασκευές έδειξαν ότι το σχιστολιθικό υπόβαθρο μέσα στο οποίο αναπτύσσεται η Γραμμή Β είναι λίγο διαπερατό, με συντελεστή κάτω των 10^{-6} m/sec. Μόνο οι ασβεστολιθικές παρεμβολές, είναι δυνατό να παρουσιάζουν μεγάλη διαπερατότητα.

Το υδροφόρο αναπτύσσεται κυρίως, στην βάση των υπερκείμενων γαίων και το επάνω τμήμα του υπόβαθρου είναι συνεπώς, μικρής ισχύος.

Η διακύμανση της επιφάνειας του σε στατική ηρεμία πρέπει να είναι μικρότερη από 2μ στην θέση των αξόνων αποστράγγισης

4.4.3.Γεωλογική μηκοτομή στην θέση της Γραμμής Β

Από το συνεργείο Σεπολίων ως την έξοδο του σταθμού άργιλος με αμμοχάλικο σε πάχος άνω των 15μ. Αντιστοιχεί στα αλλουβιακά του Κηφισού.

Αντιστοιχεί στα αλλουβιακά του Κηφισού. Η οροφή του υπόβαθρου ανεβαίνει γρήγορα προς τον σταθμό των Σεπολίων.

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

υπόβαθρο παρουσιάζει πολύ μικρή ποικίλη λιθολογία : στην αρχή του τμήματος ασβεστόλιθος μέτρια κερματισμένος , σε μήκος 150μ (2-3 c) περίπου , κατόπιν αργιλικός σχιστόλιθος, σε μήκος 250 cm 600 μ περίπου (3-4d) , αφήνοντας προοδευτικά την θέση του σε σχιστόλιθο μέτρια έως πολύ κερματισμένο (2-3b)

Από 150μ πέρα από τον σταθμό Αττικής έως 1250μ πριν από τον σταθμό Δεληγιάνη: οι υπερκείμενες γαίες σε πάχος πολύ μεταβλητό που μπορεί να φτάσει τοπικά τα 7μ. Το υπόβαθρο αποτελείται από περιοδική μέτρια έως πολύ κερματισμένο και εξαλλοιωμένο (3α).

Από 150μ προ του σταθμού Δεληγιάνη ως 90 μ προς την Ακαδημίας : υπερκείμενες γαίες σε πάχος 1 έως 6μ . Το υπόβαθρο αποτελείται από σχιστόλιθο μέτρια έως πολύ κερματισμένο (2-3b) . Στην έξοδο του σταθμού Δεληγιάνη σημειώνονται παρεμβολές σχιστόλιθου και ασβεστόλιθου κατακερματισμένου και εξαλλοιωμένου (3bc) , σε μήκος 350μ περίπου. Σε 150 μ περίπου πέρα από τον σταθμό Ομονοίας σημειώνονται παρεμβολές από όγκους ασβεστολιθικούς και σχιστολιθικούς (3-4c).

Από 90μ προ της Ακαδημίας ως 50μ μετά την Ακαδημίας: Υπερκείμενες γαίες, πάχους κάτω των 5μ και παρεμβολές σχιστόλιθου λίγο ή μέτρια κερματισμένου (2-3cb).

50μ μετά την Ακαδημίας ως 200μ προ του Ολυμπίου: υπερκείμενες γαίες πάχους μέχρι 8μ και υπόβαθρο αποτελούμενο από σχιστόλιθο μέτρια μέχρι πολύ κερματισμένο (2-3b) . Σημειώνεται μια παρέμβαση κατακερματισμένου ασβεστόλιθου (3c) στο Σύνταγμα και ασβεστόλιθου μέτρια κερματισμένου (2c) στο άκρο του τμήματος.

200μ πριν από Ολύμπιο ως 250μ προ του Ν.Κόσμου: Υπερκείμενες γαίες, σε πάχος που τοπικά μπορεί να φτάσει τα 8μ αποτελούμενες κυρίως από άργιλο με αμμοχάλικο. Το υπόβαθρο αποτελείται από αργιλικό σχιστόλιθο κατακερματισμένο και εξαλλοιωμένο (3-4b).

250μ από τον Ν. Κόσμο ως 180μ μετά το Ν.Κόσμο: υπερκείμενες γαίες σε πάχος που μπορεί να φτάσει τα 7,5 μ και υπόβαθρο αποτελούμενο από μία εναλλαγή σχιστόλιθου και ασβεστόλιθου μέτρια ως πολύ κερματισμένου (2-3bc).

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

Από τον Αγ. Ιωάννη ως την Δάφνη: υπερκείμενες γαίες , πάχους 2 έως 7μ και υπόβαθρο αποτελούμενο από σχιστόλιθο μέτρια ως πολύ κερματισμένο με μερικές συναντήσεις αργιλικού σχιστόλιθου (3-4b).

- Το έργο βρίσκεται λοιπόν σε αλλουβιακά εδάφη στην θέση του συνεργείου Σεπολίων ως τον σταθμό και στην έξοδο του Σταθμού του Ν.Κόσμου.

- Στις άλλες θέσεις βρίσκονται μέσα στο υπόβαθρο που η λιθολογία του και η κατάσταση κερματισμού είναι πολύ ευμετάβλητη από θέση σε θέση.

- Σχιστόλιθο μέτρια ως πολύ κερματισμένο (2-3b) μέχρι την είσοδο του σταθμού Αττικής (350μ περίπου από Δεληγιάννη μέχρι Ακαδημία (1.500 μ περίπου), στο διάστημα μεταξύ Ακαδημίας και Ολυμπίου (1.200μ περίπου) και μεταξύ Αγ.Ιωάννη και Δάφνη (800μ περίπου).

- Αργιλικό σχιστόλιθο (3-4b) μεταξύ Σεπολίων και Αττικής (500μ περίπου) μεταξύ Ολυμπίου και Ν.Κόσμου (550μ περίπου) και μεταξύ Ν.Κόσμου και Αγ. Ιωάννη (110μ περίπου).

- Εναλλαγή σχιστόλιθου και ασβεστόλιθου μέτρια ως πολύ κερματισμένων (5-3bc) στην Ακαδημία (250μ περίπου) στον Ν.Κόσμο (580μ περίπου) κατακερματισμένο και στην έξοδο του σταθμού Δεληγιάννη (350μ περίπου),

- Ασβεστόλιθο μέτρια κατακερματισμένο στην έξοδο των Σεπολίων (150μ περίπου) και τοπικά σε διάφορες θέσεις.

- Περιοδίτη κατακερματισμένο στην Αττική ως Δεληγιάννη (1000μ περίπου).

4.5. Γεωλογικά Δεδομένα της Γραμμής Α.

4.5.1. Γεωλογική μηκοτομή στην θέση της Γραμμής Α.

Από το Αιγάλεω 2-280μ πριν από τον Άγιο Σάββα: Υπερκείμενες γαίες , σε πάχος γενικά μικρότερο των 3μ και υπόβαθρο αποτελούμενο από κατακερματισμένο σχιστόλιθο (3b) εκτός από ένα τμήμα 600μ που βρίσκεται αξονικά προς τον σταθμό Αιγάλεω 2 και αποτελείται από μάργα λίγο-πολύ ασβεστολιθική.

280μ πριν από τον Άγιο Σάββα ως τον Κεραμεικό : άργιλος αμμοχαλικομιγής (4b) σε πάχος γενικά μεγαλύτερο από 15μ με εμφανίσεις στρωμάτων περισσότερο χαλικομιγών (4b) και τοπικά με ορίζοντες σκληρούς (4e περί την Γεωπονική σχολή και τον Κεραμικό) . Πρόκειται για τα αλλουβιακά του Κηφισού . Πρέπει να σημειωθεί μια ανύψωση του υποβάθρου περί την Γεωπονική Σχολή, που συναντάται σε βάθος μεταξύ 11 και 18μ και αποτελείται από σχιστόλιθο κατακερματισμένο και εξαλλοιωμένο.

Από τον Κεραμεικό ως 150μ πριν από το Μοναστηράκι: υπερκείμενες γαίες σε πάχος 2 έως 8μ και υπόβαθρο αποτελούμενο από μάργα ασβεστολιθική (3-4c).

Σε μήκος 150μ δυτικά και 100μ ανατολικά του Μοναστηριακίου: Υπερκείμενες γαίες, σε πάχος 2,5 έως 8μ και υπόβαθρο αποτελούμενο από εναλλαγή σχιστόλιθου και ασβεστόλιθου κατακερματισμένου και εξαλλοιωμένου (3bc).

100μ μετά το Μοναστηράκι ως 250μ πριν από τον Ευαγγελισμό υπερκείμενες γαίες , σε πάχος 0 έως 7μ μέσο πάχος 5μ και υπόβαθρό αποτελούμενο από σχιστόλιθο μέτρια ως πολύ κατακερματισμένο.

250μ πριν από τον Ευαγγελισμό ως 300μ πριν από τον Α1: υπερκείμενες γαίες , σε πάχος 0 έως 3μ και υπόβαθρο αποτελούμενο από σχιστόλιθο ως πολύ κατακερματισμένο.

300μ πριν από τον Α1 μέχρι 400μ πριν από τον Α3: υπερκείμενες γαίες , σε πάχος 0 έως 3μ και υπόβαθρο αποτελούμενο από σχιστόλιθο κατακερματισμένο και εξαλλοιωμένο.

400 μ πριν από τον A3 ως τον A5: αμμοχαλικομιγής άργιλος (4b) σε μεγάλο πάχος , με εμφανίσεις πλουσιότερες από χαλίκι (4c) και τοπικά σκληρούς ορίζοντες (4e περί του A5).

Μεταξύ A5 και A6 : υπερκείμενες γαίες , σε πάχος 1 έως 4μ και υπόβαθρο αποτελούμενο από σχιστόλιθο μέτρια κερματισμένο (2b) .

4.6. Μηχανήματα ολομέτωπου κοπής

ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΩΝ

Τα δύο μηχανήματα ολομέτωπου κοπής για την διάνοιξη των σηράγγων του Αθηναϊκού Μετρό είναι τύπου διπλής ασπίδας, κατασκευής των εργοστασίων NEYRPIC Γαλλίας , με σχέδια των εργοστασίων MITSUBISHI. Η αρχή λειτουργίας είναι ROBBINS. Το συνολικό μήκος κάθε μηχανήματος είναι 149μ. Και το βάρος (κενό) είναι 1.650 τόνοι, με εγκατεστημένη ισχύ είναι 4.000 KVA. Η διάμετρος εκσκαφής της σήραγγας είναι 9,5μ . Επενδύεται με προκατασκευασμένους δακτυλίους από σπλισμένο σκυρόδεμα. Η ταχύτητα εκσκαφής προβλέπεται να είναι 4,80m/min , και η μέση ημερήσια προχώρηση για 24ωρη εργασία περίπου 10 μέτρα επενδυμένης σήραγγας.

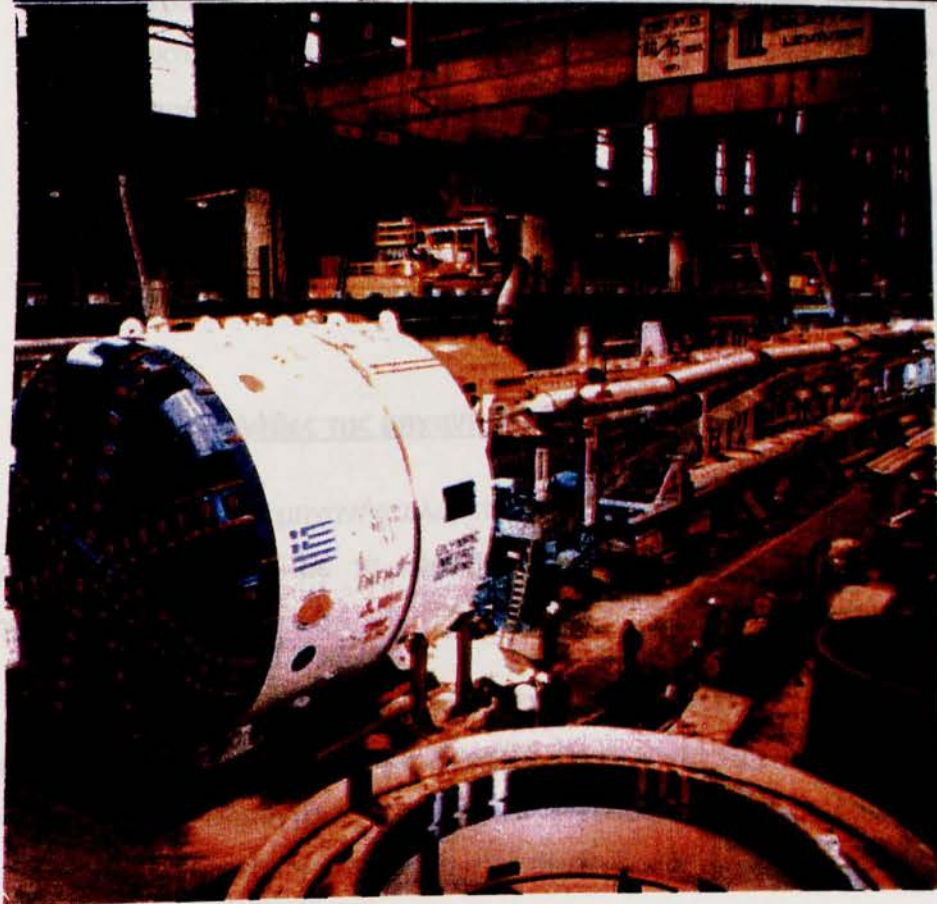
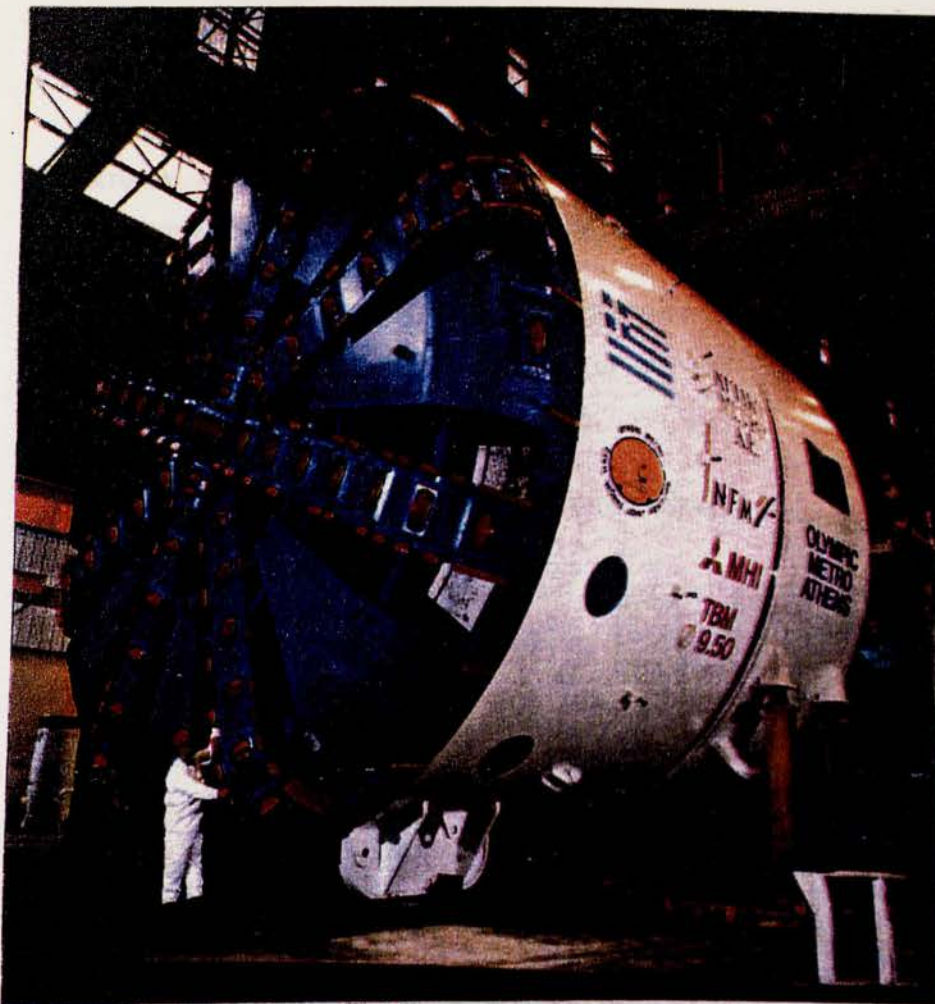
Η κεφαλή του TBM έχει διάμετρο 9,456μ μήκος 8,963μ και βάρος 900Μρ. Διακρίνεται στα εξής τέσσερα τμήματα :

α) Κοπτική κεφαλή . Φέρει τα αποξεστικά μαχαίρια και τις δισκοειδής κοπίδες διαμέτρου 17" (431,8 mm)(εικ. 4.1 & 4.2).

β) Το εμπρόσθιο τμήμα της ασπίδας που φέρει τα εξής στοιχεία:

i. Τα πέλματα σταθεροποίησης της μηχανής έναντι πιθανής περιστροφής , που είναι δυνατόν να αναπτυχθεί ως αντίδραση κατά την κοπή του πετρώματος.

Τα έμβολα προώθησης της κοπτικής κεφαλής τα οποία είναι τοποθετημένα περιμετρικά κάτω από την ασπίδα και αναπτύσσουν την δύναμη ώθησης μέχρι 5.600 τόνους , στηριζόμενοι στον τελευταίο



Εικόνα 4.1 , 4.2 : Κοπτική κεφαλή ολομέτωπου κοπής για την διάνοιξη του Μετρό Αθηνών

- i. δακτύλιο από προκατασκευασμένα στοιχεία. Μεταξύ των εμβόλων και των δακτυλίων παρεμβάλλεται μεταλλικός προστατευτικός δακτύλιος.
 - ii. Τον κλασικό του υιόδρομο, ο οποίος παίρνει τα προϊόντα εκσκαφής από το εμπρόσθιο τμήμα, της ασπίδας και τα μεταφέρει στα οχήματα μεταφοράς.
- γ) Το οπίσθιο τμήμα της ασπίδας (εικ. 4.3.) που φέρει τα εξής στοιχεία:

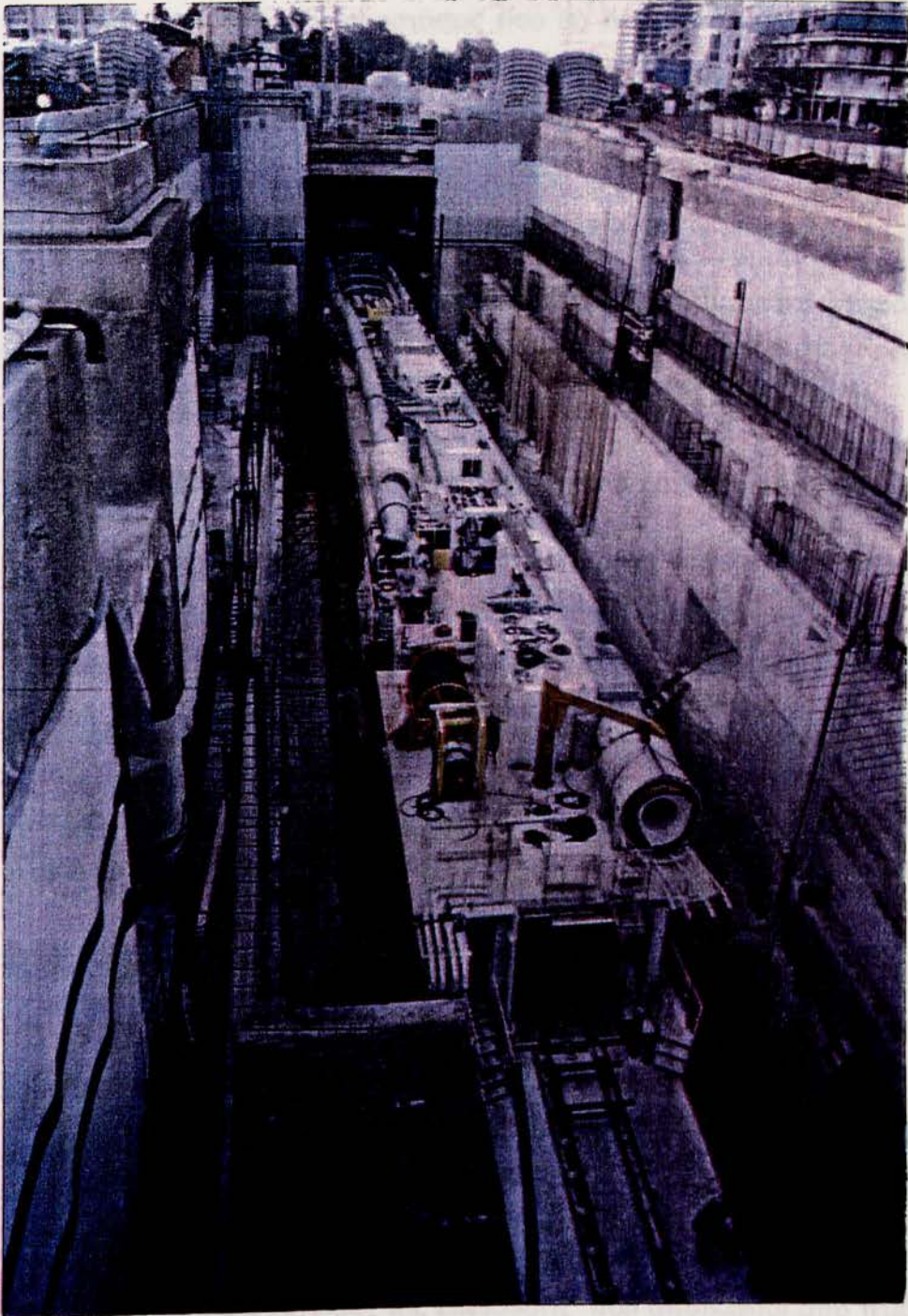
- i. Την διάταξη τοποθέτησης των προκατασκευασμένων στοιχείων (erecrot) επένδυσης της σήραγγας. Η συγκράτηση των στοιχείων γίνεται με την δημιουργία κενού μεταξύ της αρπαγής του βραχίονα και της άνω πορείας των στοιχείων, η επιφάνεια της οποίας πρέπει να είναι τελείως λεία.
- ii. Τα ακροφύσια έγχυσης σκυροδέματος, τα οποία βρίσκονται στο οπίσθιο τμήμα της ασπίδας. Οι δακτύλιοι επένδυσης έχουν διάμετρο μικρότερη από αυτή της εκσκαφής. Τα κενά μεταξύ πετρώματος και δακτυλίων γεμίζουν με ειδικό σκυρόδεμα (mortar) το οποίο καταθλίβεται μέσω των ακροφυσίων.
- iii. Το τμήμα μετάδοσης κίνησης. Βρίσκεται στο εσωτερικό της ασπίδας, πίσω από την κοπτική κεφαλή.

4.6.1. Βλάβες της μηχανής ολομέτρωτου διάνοιξης.

Η κατάσταση της μηχανής ολομέτρωτου διάνοιξης γίνεται με βάση ειδικές προδιαγραφές, εν σχέση με τα εδάφη και τα πετρώματα που πρόκειται να διατρηθούν.

Οι βλάβες αυτών των μηχανημάτων αφορούν μονάδες παλιάς κατασκευής, με ανεπαρκή ισχύ στις κοπτικές τους κεφαλές. Οι μηχανές πρόσφατης κατασκευής (για παράδειγμα στη σήραγγα της Μάγνης όπου χρησιμοποιήθηκαν έντεκα μηχανές ολομέτρωτου διάνοιξης που προέρχονται από πέντε διαφορετικούς κατασκευαστές).

Επιπλέον οι σημερινές μηχανές είναι κατασκευασμένες κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επισκευάζονται, αν χρειαστεί, μέσα σε σήραγγα, σε ιδιαίτερα σύντομο



Εικόνα 4.3: Οπίσθιο τμήμα TBM.

χρόνο (2 με 3 εβδομάδες για το κύριο έδρανο της μηχανής που είναι το σημαντικότερο και δυσκολότερο εξάρτημα της στην αντικατάσταση).

Για το Μετρό Αθηνών, οι αποστάσεις που θα διανύονται από τις μηχανές ολομέτωπου διάνοιξης ανάμεσα στους σταθμούς είναι 800μ που είναι πολύ μικρές σε σύγκριση με τα 20 χιλιόμετρα που καλύπτονται χωρίς πρόβλημα με τις μηχανές που υπάρχουν. Εκτός αυτού, το μηχάνημα μπορεί να επιθεωρείται όταν περνάει από κάθε σταθμό.

Οι Μ.Ο.Δ. που προβλέπονται από την Κοινοπραξία Ολυμπιακό Μετρό για την διάνοιξη των κυρίων σηράγγων του Μετρό Αθηνών είναι τελείως διαφορετικές από τις κλασσικές Μ.Ο.Δ. σκληρών πετρωμάτων.

Είναι του τύπου ασπίδας και περιλαμβάνουν:

- ◇ Μία ολομέτωπο οπτική κεφαλή (τύμπανο προώθησης) εφοδιασμένη με διάφορα είδη κοπτικών εργαλείων (κοπτικά εργαλεία για χύμα και κυλιόμενους κοπτικούς δίσκους για σκληρότερα πετρώματα). Η κοπτική αυτή κεφαλή (το τύμπανο προώθησης περιλαμβάνει μικρά μεταβλητά ανοίγματα ώστε να εξασφαλίζεται η μηχανική στήριξη του μετώπου της σήραγγας και να είναι δυνατή η αλλαγή των κοπτικών εργαλείων από το μέτωπο σε συνθήκες ασφαλείας.
- ◇ Μια κυλινδρική ασπίδα, ενισχυμένη με βιδωμένα στηρίγματα, για την ακτινική συγκράτηση της πίεσης του εδάφους.
- ◇ Ένα θάλαμο εργασίας, ακριβώς κάτω από την κοπτική κεφαλή. Ο θάλαμος ορίζεται από ένα χώρισμα με ένα άνοιγμα στο κεντρικό τμήμα, για την αποκομιδή προϊόντων εκσκαφής.
- ◇ Ανυψωτήρες δηλαδή ειδικούς μηχανισμούς για την τοποθέτηση στο οπίσθιο μέρος της ασπίδας της επένδυσης που αποτελείται από τεμάχια προκατασκευασμένων δακτυλίων από σκυρόδεμα.
- ◇ Ένα συγκρότημα υδραυλικών γρύλων σε κύκλο που εξασφαλίζει την προώθηση της μηχανής με την πίεση που ασκεί στο δακτύλιο της επένδυσης, που τοποθετήθηκε τελευταία.

Με τέτοια μηχανή το έδαφος υποστηρίζεται συνεχώς στο μέτωπο (κοπτική κεφαλή) και τα τοιχώματα (κυλινδρική ασπίδα) και στην συνέχεια επένδυση από προκατασκευασμένα τεμάχια σκυροδέματος (θολίτες). Έτσι ο κίνδυνος ρωγμής αποφεύγεται.

4.6.2. Κίνηση της μηχανής ολομέτωπου κοπής

Η κίνηση της Μ.Ο.Δ. ελέγχεται πολύ εύκολα σε συνθήκες μικτού εδάφους στο μέτωπο διάνοιξης.

Η Μ.Ο.Δ. είναι κανονικά εφοδιασμένη με ανιχνευτές κλίσης και κλυδωνισμού εγκατεστημένους στο σώμα της μηχανής και με μετρητές διαδρομής στους προωθητικούς γρύλους. Οι συνεχείς αυτές μετρήσεις δίνουν την δυνατότητα να είναι ακριβώς γνωστή η θέση και η κατεύθυνση της Μ.Ο.Δ. όταν προχωρεί και καθοδηγείται με ακτίνες laser.

Με ρύθμιση της ωστικής δύναμης των διαφόρων υδραυλικών προωθητικών γρύλων, σε συνάρτηση με τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων, εξασφαλίζεται ικανοποιητική οδήγηση της Μ.Ο.Δ., ανάλογα με τις ακριβείς συνθήκες εδάφους στα μέτωπα διάνοιξης.

Η μέθοδος αυτής οδήγησης έχει εφαρμοστεί με επιτυχία στα έργα που αναφέραμε παραπάνω.

Επί πλέον η Μ.Ο.Δ. μπορεί να εφοδιαστεί με αυτόματο σύστημα ελέγχου λειτουργίας, όμοιο με αυτό που εγκαταστάθηκε στις Μ.Ο.Δ. που εργάζονται στις σήραγγες Ville just (διάμετρος εκσκαφής 2,25 μέτρα, Γαλλικός Σιδηρόδρομος κοντά στο Παρίσι) και έδωσε καλά αποτελέσματα.

4.6.3. Μέθοδος Μ.Ο.Δ. (TBM) & ΝΑ.Μ.Σ. (NATM)

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου ολομέτωπης διάνοιξης με ασπίδα, σε σύγκριση με την μέθοδο NATM είναι πασίγνωστο. Τα κυριότερα είναι τα παρακάτω:

Γρηγορότερη εκτέλεση.

Πολύ μεγαλύτερη ασφάλεια και προστασία των υφισταμένων κτιρίων (δεν υπάρχει πρόβλημα καθιζήσεων) και των εργατών (δεν υπάρχει δυνατότητα καταπτώσεων υποστήριξης του μετώπου της σήραγγας σε περίπτωση αιφνίδιας εισροής υδάτων).

Βελτίωση της ποιότητας του έργου, ιδιαίτερα της επένδυσης της σήραγγας, λόγω της χρησιμοποίησης προκατασκευασμένων τεμαχίων από μπετόν ελεγμένου στο εργοστάσιο των προκατασκευασμένων τεμαχίων αντί για μπετόν χυμένο επί τόπου.

Ικανοποιητική συμπεριφορά της επένδυσης σε περίπτωση σεισμού, λόγω χαμηλής ακαμψίας, εξ αιτίας του μεγάλου αριθμού αρμών μεταξύ των προκατασκευασμένων τεμαχίων του μειωμένου πάχους της εν λόγω επένδυσης από σκυρόδεμα υψηλής αντοχής.

Ελάττωση του αριθμού των εργοταξίων, λόγω προγραμματισμού ενός εργοταξίου διάνοιξης με ασπίδα ανά γραμμή, με σημείο τροφοδότησης και αποκομιδής μπαζών για κάθε μια (Λάρισα για την γραμμή 2 και Κεραμεικός για την γραμμή 3).

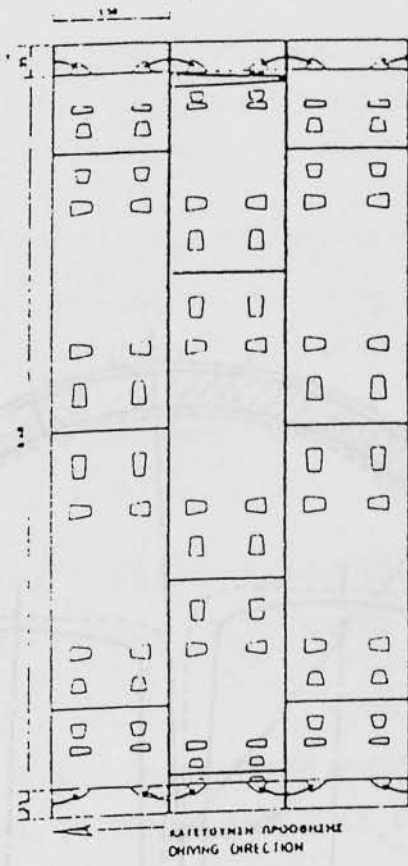
Η οργάνωση αυτή επιτρέπει εξάλειψη των εργοταξίων στο κέντρο της πόλης και σημαντική μείωση της σχετικής κυκλοφορίας φορτηγών.

Ευελιξία των μηχανών ολομέτωπου διάνοιξης

Στα τελευταία είκοσι χρόνια η τεχνική της χρησιμοποίησης μηχανών ολομέτωπου διάνοιξης σε υπόγεια έργα έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο. Τα μηχανήματα είναι κατασκευασμένα ανάλογα με τις συνθήκες εδάφους όπου θα χρησιμοποιηθούν και μπορούν να αποδίδουν τα σκληρά πετρώματα, καθώς επίσης και σε μαλακά εδάφη. Σχετικά με την χάραξη των σηράγγων, η μέθοδος T.B.M. επιτρέπει καμπύλες με ακτίνα 150 μέτρων (εικ. 4.4, 4.5 & 4.6). Για την εκτέλεση της κύριας σήραγγας προτάθηκε κατώτερο όριο της ακτίνας καμπυλότητας τα 300 μέτρα, επειδή η αύξηση της ελάχιστης ακτίνας έχει πλεονεκτήματα όπως:

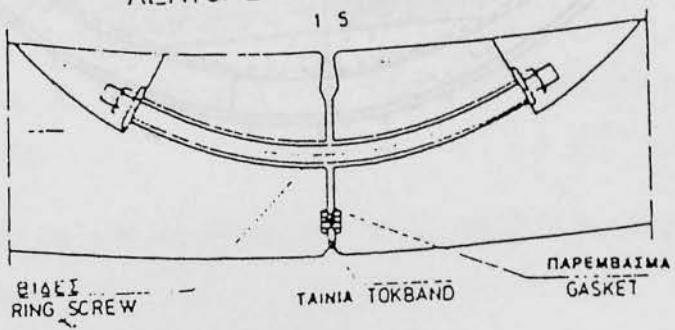
- μεγαλύτερη άνεση των επιβατών
- αύξηση της ταχύτητας των συρμών
- ελάττωση της φθοράς των γραμμών

ΚΑΤΑΜΗΙΚΟΣ ΤΟΜΗ
 LONGITUDINAL SECTION
 1:25



Εικόνα 4.4

ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ - DETAIL
 1:5



Εικόνα 4.5

4.7. Ηλεκτρομαγνητική Ανοχή

Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία (ΗΜΠ) είναι φυσικά φαινόμενα που υπάρχουν παντού στο χώρο. Τα ΗΜΠ μπορούν να προκαλέσουν βλάβες σε ηλεκτρονικά συστήματα, όπως για παράδειγμα:

Τα ΗΜΠ μπορούν να προκαλέσουν βλάβες σε ηλεκτρονικά συστήματα, όπως για παράδειγμα:

Τα ΗΜΠ μπορούν να προκαλέσουν βλάβες σε ηλεκτρονικά συστήματα, όπως για παράδειγμα:

Τα ΗΜΠ μπορούν να προκαλέσουν βλάβες σε ηλεκτρονικά συστήματα, όπως για παράδειγμα:

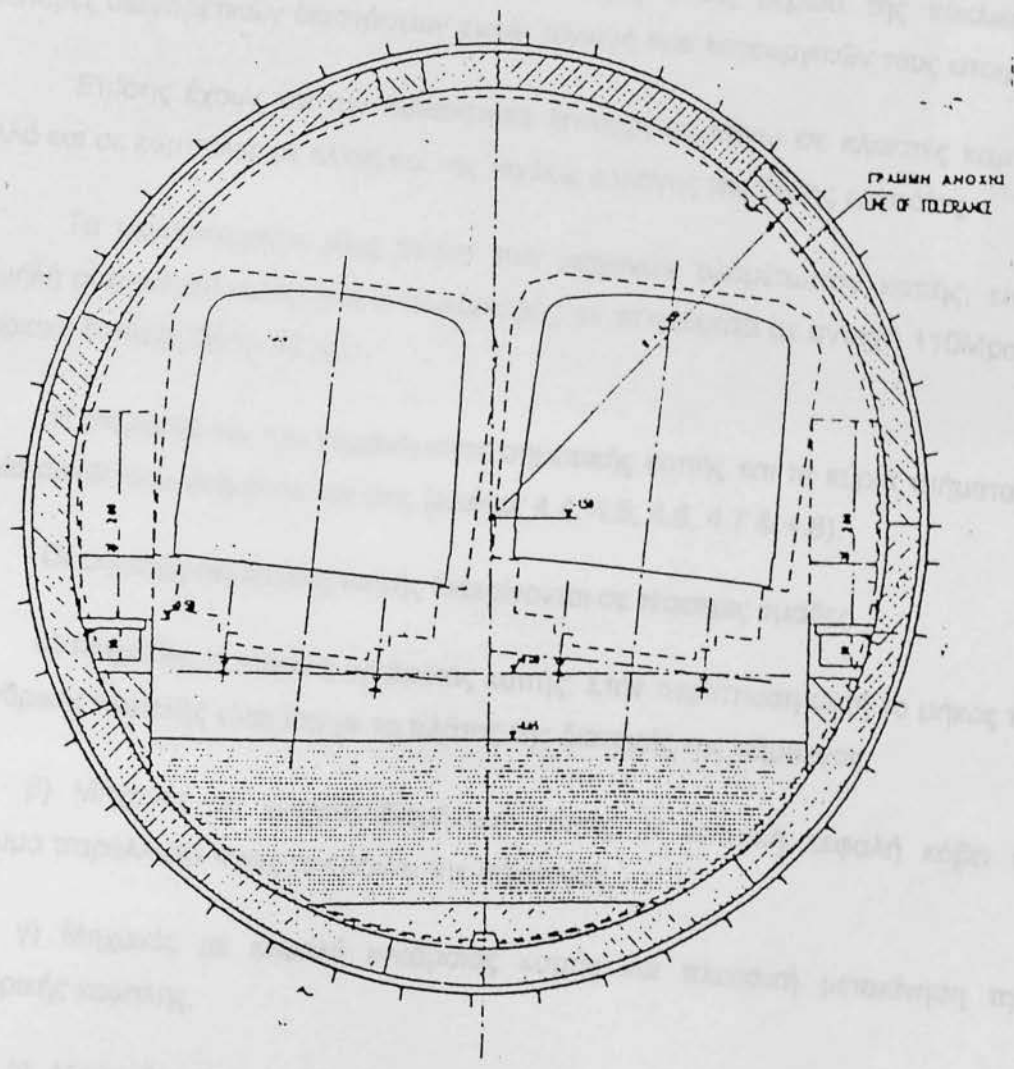
Τα ΗΜΠ μπορούν να προκαλέσουν βλάβες σε ηλεκτρονικά συστήματα, όπως για παράδειγμα:

Τα ΗΜΠ μπορούν να προκαλέσουν βλάβες σε ηλεκτρονικά συστήματα, όπως για παράδειγμα:

Τα ΗΜΠ μπορούν να προκαλέσουν βλάβες σε ηλεκτρονικά συστήματα, όπως για παράδειγμα:

Τα ΗΜΠ μπορούν να προκαλέσουν βλάβες σε ηλεκτρονικά συστήματα, όπως για παράδειγμα:

Τα ΗΜΠ μπορούν να προκαλέσουν βλάβες σε ηλεκτρονικά συστήματα, όπως για παράδειγμα:



Εικόνα 4.6

4.7. Μηχανήματα σημειακής κοπής

Τα τελευταία χρόνια οι μηχανές σημειακής κοπής χρησιμοποιούνται με συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό τόσο σε υπόγεια τεχνικά έργα, όσο και στη διάνοιξη στοών μεταλλείων.

Σε σύγκριση με τα μηχανήματα ολομέτωπου κοπής έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να διανοίξουν διάφορες διαταγές εκτός βέβαια της κυκλικής και διατομές διαφορετικών διαστάσεων χωρίς αλλαγή των λειτουργικών τους στοιχείων.

Επίσης έχουν και την δυνατότητα λειτουργίας πάνω σε κλειστές καμπύλες αλλά και σε καμπύλες με κλίση και της ταχείας αλλαγής της θέσης εργασίας.

Τα μειονεκτήματα τους έναντι των μηχανών ολομέτωπου κοπής, είναι η χαμηλή εκσκαπτική ικανότητα, ο περιορισμός σε πετρώματα με αντοχή 110Μρα και η οριακή διατομή μέχρι 42 m².

Η διαμόρφωση του μηχανήματος σημειακής κοπής και τα κύρια τμήματα, τα οποία συνθέτουν φαίνονται και στις (εικόνες 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 & 4.8).

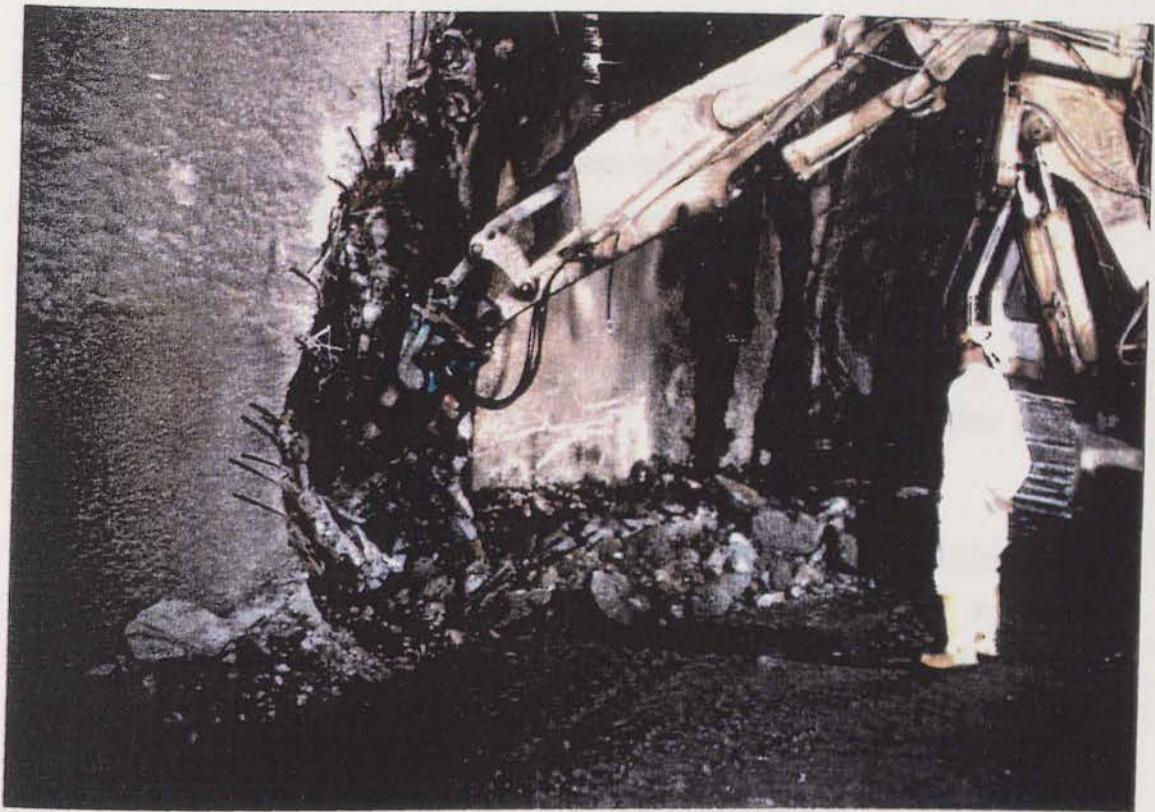
Οι μηχανές σημειακής κοπής διακρίνονται σε τέσσερις ομάδες.

α) Μηχανές με κεφαλή εγκάρσιας κοπής: Στην περίπτωση αυτή το μήκος της κυλινδρικής κεφαλής είναι ίσο με το πλάτος της διατομής της σήραγγας.

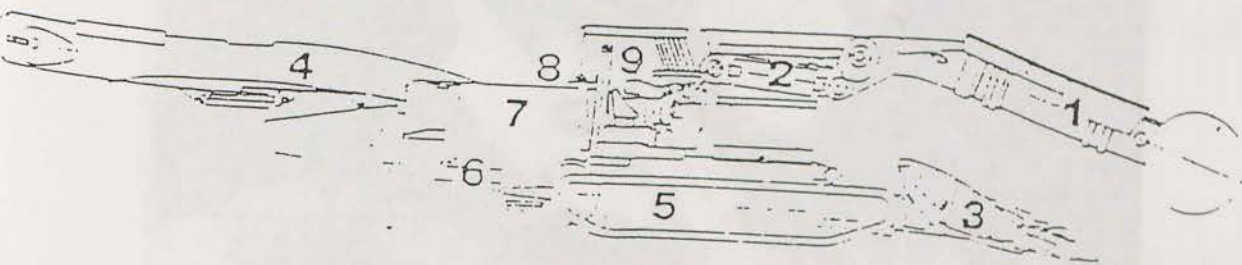
β) Μηχανές με κεφαλή διαμήκουσ κοπής. Η κοπτική κεφαλή κόβει το πέτρωμα παράλληλα προς τον άξονα της σήραγγας.

γ) Μηχανές με κεφαλή εγκάρσιας κοπής και πλευρική μετακίνηση της κυλινδρικής κεφαλής.

δ) Μηχανές με κεφαλή εγκάρσιας κοπής και δύο κοπτικούς κυλίνδρους (κεφαλή διπλού τύμπανου).



Εικόνα 4.7



Εικόνα 4.8 : Μηχάνημα σημειακής κοπής

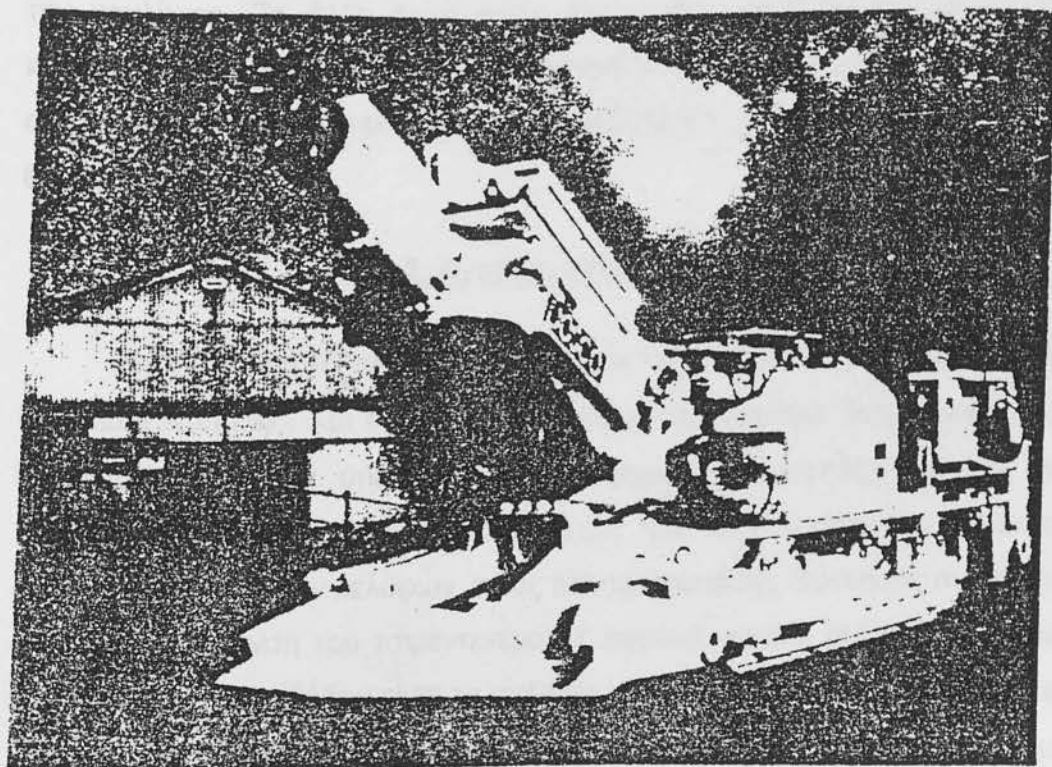
- 1) Πρόβολος κοπτικής κεφαλής
- 2) Δισκοειδή έδρανα
- 3) Διάταξη αυτοφόρτωσης
- 4) Μεταφορικός ιμάντας φόρτωσης
- 5) Ερπυστριοφόρο φορείο
- 6) Πλαίσιο βάσης
- 7) Ηλεκτρική εγκατάσταση
- 8) Υδραυλική Μονάδα

Η κοπτική κεφαλή διαμορφώνεται ως διπλό στρεφόμενο τύμπανο με τους δύο κοπτικούς κυλίνδρους εκατέρωθεν του διαμήκους άξονα του προβόλου.

Το σύστημα με την στρεφόμενη κοπτική κεφαλή είναι συναρμολογημένο πάνω σε ένα , το οποίο με δύο υδραυλικούς κυλίνδρους δίνει την δυνατότητα στο σύστημα να ολισθαίνει προς το μέτωπο κοπής κατά 600mm.

Με το σύστημα αυτό είναι δυνατή η στερέωση του μηχανήματος πριν την έναρξη της κοπής, ώστε να μην καταπονείται το σύστημα του φορείου και την ερπυστριών κατά την διάρκεια της λειτουργίας.

Επίσης όταν το μηχάνημα σκάβει σήραγγα με μεγάλη κλίση η στερέωση είναι απαραίτητα για την εξάσκηση της απαιτούμενης πίεσης στο μέτωπο. Χωρίς την υδραυλική ολίσθηση του συστήματος κοπής η εκσκαφή με κεκλιμένη σήραγγα θα ήταν αδύνατη. Για την προστασία από την σκόνη το μηχάνημα , εκτός από διάφορες εξελιγμένες διάταξης μείωσης της σκόνης, είναι εξοπλισμένο με δικό του σύστημα αποκονίωσης και με πρόσθετο σύστημα μείωσης του θορύβου. Η τροφοδότηση της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με τάση 1.000V από μια σταθερή εκτυλίχτρια καλωδίων. Στην περίπτωση μη σαθρών εδαφών χρησιμοποιούνται μηχανήματα σημειακής κοπής με ασπίδα.



Εικόνα 4.9 : Μηχανή σημειακής κοπής με κεφαλή διαμήκους κοπής (κατασκευής Paurat) , τύπος T1.10, για πετρώματα μέχρι 100 Mpa.

4.8. Συστήματα Αντιστήριξης Σηράγγων

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 κυρία στοιχεία τα αγκύρια και το εκτοξευμένο σκυρόδεμα σε συνδυασμό στην συνέχεια εφόσον απαιτείται με την τοποθέτηση μεταλλικών πλαισίων ή δακτυλίων από χάλυβα ή οπλισμένο σκυρόδεμα.

4.8.1. Μορφές αγκυρίων

Με τα αγκύρια συρραύονται τα διαταραγμένα βραχώδη στοιχεία.

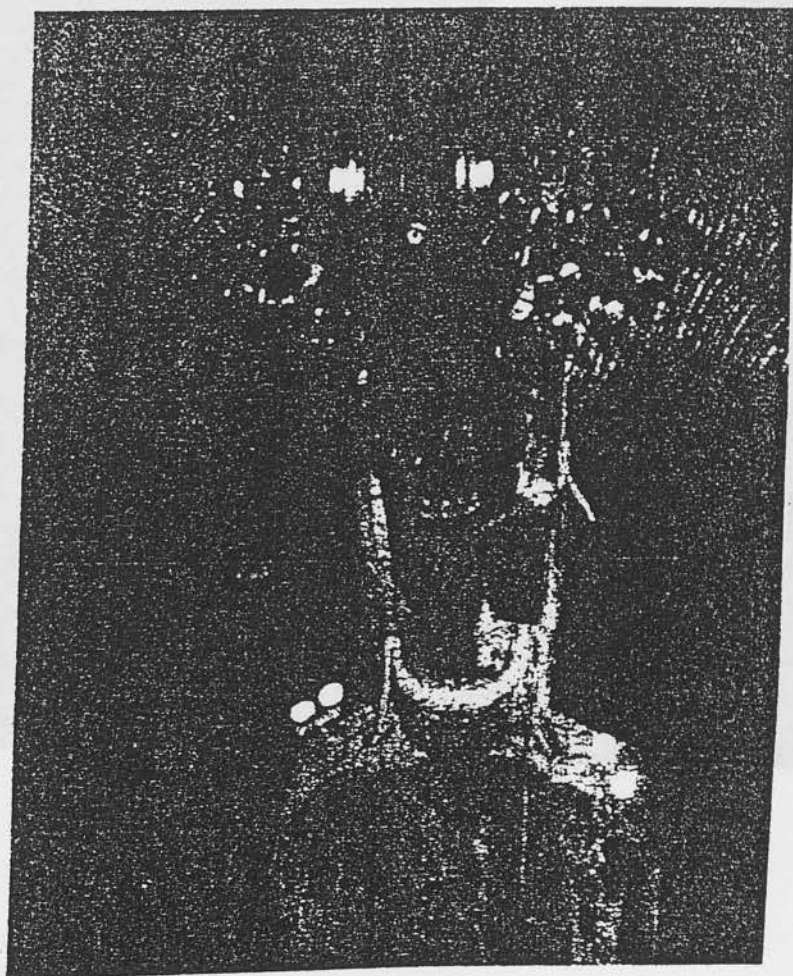
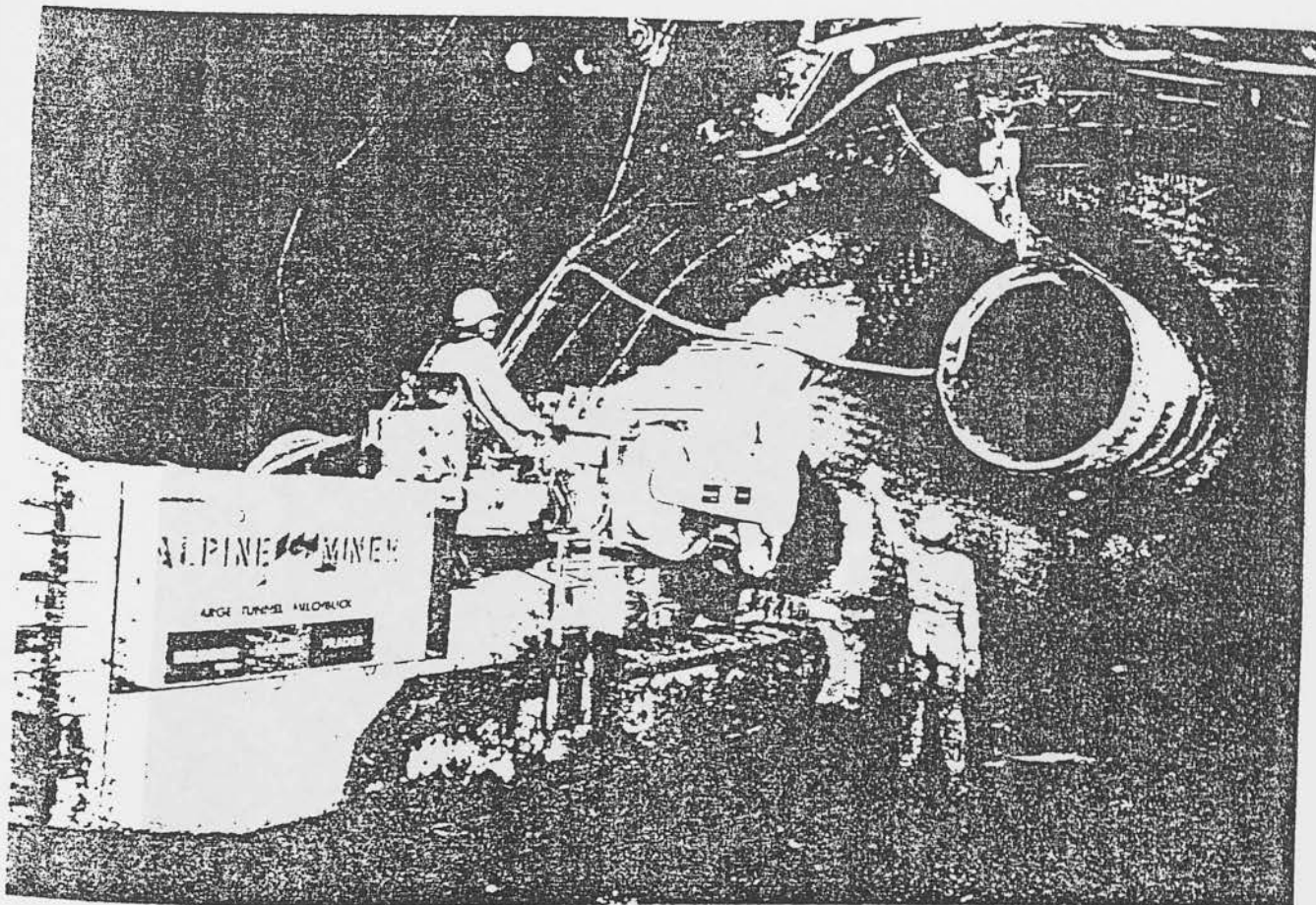
Διακρίνονται οι τύποι που περιγράφονται παρακάτω.

4.8.1.1. Αγκύριο εκτόνωσης

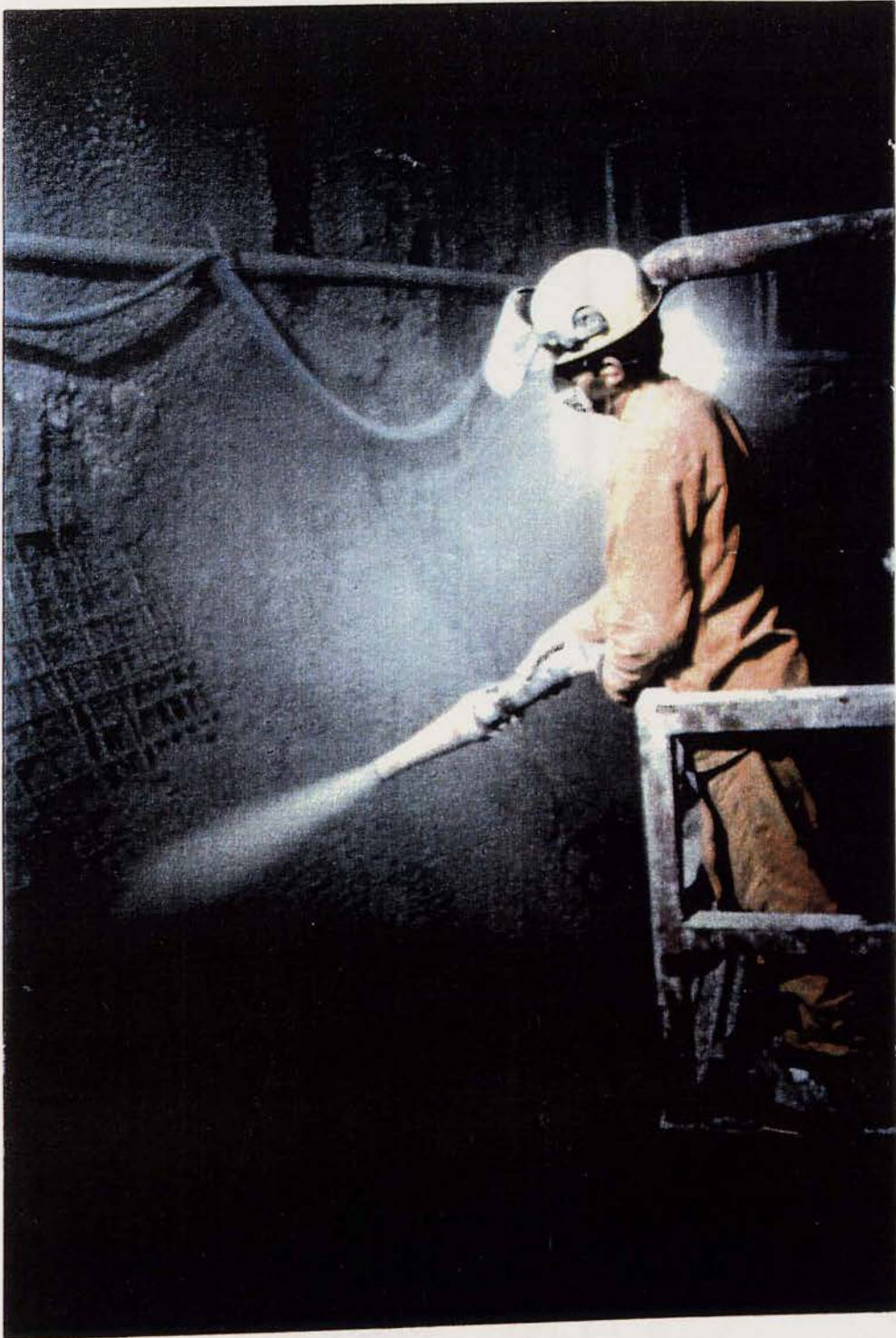
Αποτελείται από το στέλεχος του αγκυρίου, του οποίου το κατώτερο άκρο εισάγεται μέσα στην οπή διάτρησης. Το άκρο αυτό φέρει την κεφαλή εκτόνωσης με την κοχλίωση. Το άλλο άκρο φέρει ένα κοχλία με τετράγωνη κεφαλή για την κοχλίωση του αγκυρίου. Με την περιστροφή του κοχλία και κατά συνέπεια του στελέχους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

4.8.1.2. Αγκύρια σκυροδέματος

Οι πιο αντιπροσωπευτικοί τύποι είναι των εργοστασίων Plastiment (perfo) & SN (store Nortors). Και στους δύο τύπους με την βοήθεια διάτρητων ημικελύφων εισάγεται μέσα στην οπή διάτρησης τσιμεντένεμα υψηλής αντοχής και στην συνέχεια με κρούσεις το χαλύβδινο στέλεχος. Με την συμπίεση του τσιμεντένεματος μέσα από τις οπές των κελυφών προς τα τοιχώματα της διάτρησης αναπτύσσονται, μετά την σκλήρυνση του τσιμεντένεματος 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 (εικόνα 4.10, 4.11, 4.11 έγχρωμη, 4.12 & 4.13).



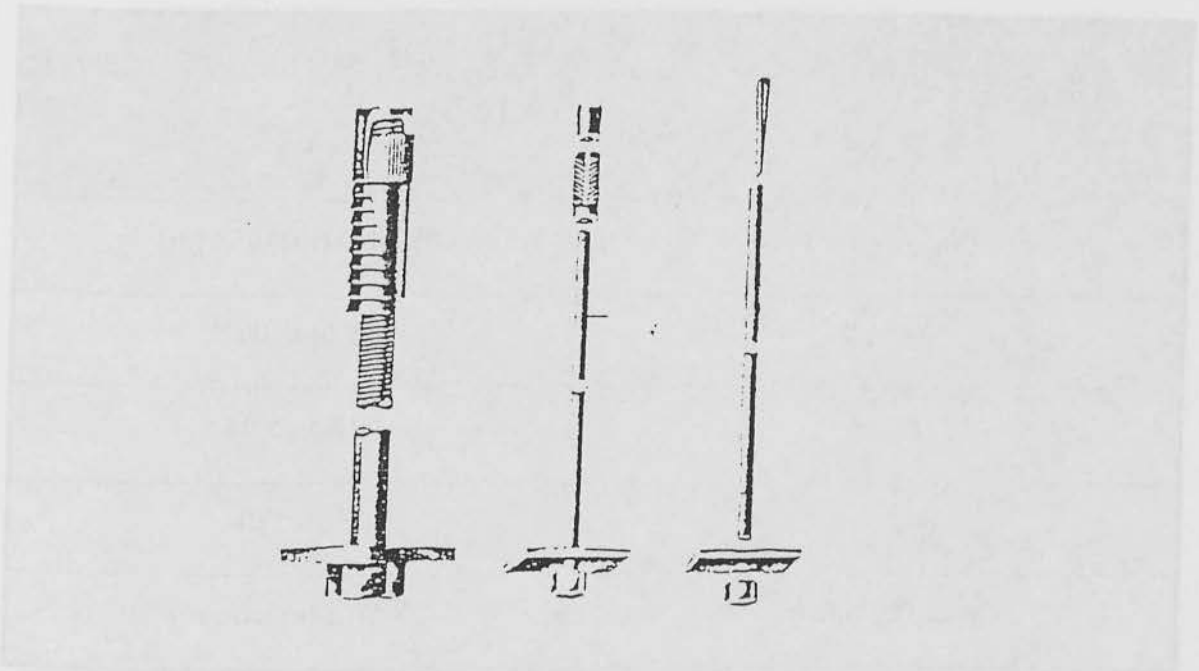
Εικόνα 4.10, 4.11: Μηχανή σημειακής κοπής εγκάρσιας κοπής με διπλό τύμπανο (κατασκευή Westfalia - Becorit)



Εικόνα 4.11

ΕΙΚΟΝΑ 4.11

Κατάλληλη πετρωμάτων ανάλογα με την μηχανική τους αντοχή σε τένση

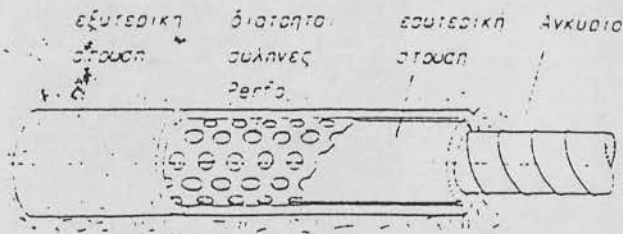


ΕΙΚΟΝΑ 4.12

Ορισμένα αποδοτικά μηχανήματα εφαρμογής κονιάματος διαμετρώσεως 25mm

Εικόνα 4.12 : Διάφοροι τύποι αγκυρίων εκτόνωσης.

- α) Αγκύριο διπλής σφήνας
- β) Αγκύριο με διμερή ελλατηριωτό λωβό
- γ) Αγκύριο με σχισμή και σγήνα



Εικόνα 4.13 : Σχηματική παράσταση του αγκυρίου τσιμεν

ΠΙΝΑΚΑΣ 11

Κατάταξη πετρωμάτων ανάλογα με την μονοαξονική αντοχή σε θλίψη

Αντοχή σε θλίψη MPa	Χαρακτηρισμός
μεγαλύτερη από 280	πολύ υψηλή
180 έως 280	υψηλή
80 έως 180	μέση
40 έως 80	χαμηλή
μικρότερη από 40	πολύ χαμηλή

ΠΙΝΑΚΑΣ 12

Ωριαίες αποδόσεις μηχανήματος σημειακής κοπής (Μηχανήματα Paurat E 169 & E 195).

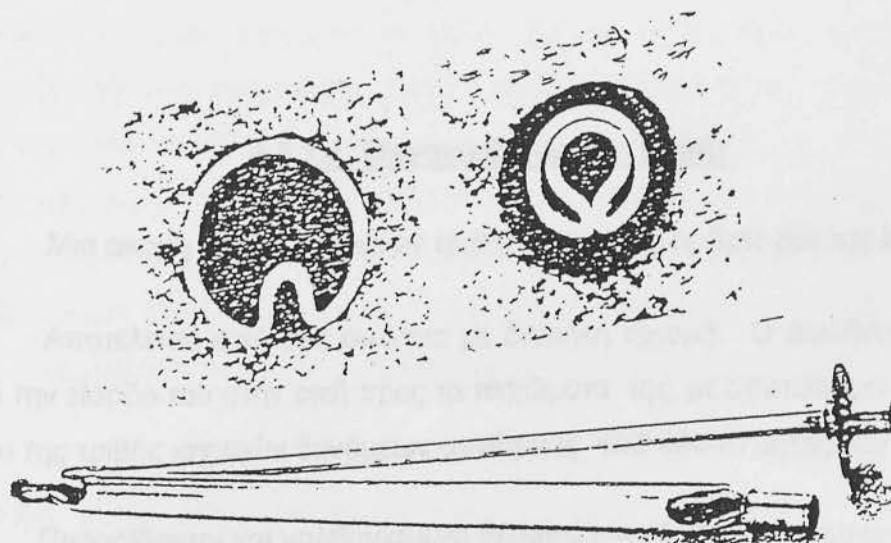
Αντοχή σε θλίψη MPa	Απόδοση κοπής m ³ /h			Κατανάλωση κοπτικών/ m ³	
	Μέγιστη	Μέση	Ελάχιστη	Μέγιστη	Ελάχιστη
<20	>130	>0,91	>45	<0,02	<0,01
20	115	80	40	0,05	0,01
30	100	70	30	0,07	0,02
40	91	63	31	0,09	0,03
50	80	50	25	0,12	0,04
60	55	38	19	0,15	0,05
70	39	27	13	0,18	0,06
80	30	22	10	0,22	0,08
90	20	14	7	0,28	0,12
100	10	6	0	0,40	0,30

4.8.1.3 Αγκύρια τριβής υδραυλικής εκτόνωσης (Swellex της Atlas Copco)

Θεωρείται σκόπιμο να δοθεί μια ιδιαίτερη έμφαση στο θέμα της αντιστήριξης σηράγγων με τα αγκύρια τριβής υδραυλικής εκτόνωσης, μια νέα (σχετικά) 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 βραχώδους μάζας των τοιχωμάτων της σήραγγας.

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

Χημικά ήτσιμεντικά ενέματα δεν απαιτούνται. Κανονικά μήκη μέχρι 8m και με ειδική παραγγελία μέχρι 12m. 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 (εικόνα 4.14)



Εικόνα 4.14 : Αγκύριο υδραυλικής εκτόνωσης Swellex της Atlas Copco

Τα πλεονεκτήματα είναι τα εξής:

- Άμεση ετοιμότητα αντιστήριξης , εφόσον δεν χρησιμοποιείται τσιμεντένεμα.
- Άμεση ανάπτυξη της ολικής φέρουσας ικανότητας του αγκυρίου.
- Υψηλές τιμές αντοχής ως προς την διάμετρο διάτρησης και αντίστοιχα υψηλής ποιότητας εφαρμογής.
- Η ποιότητα εγκατάστασης του αγκυρίου δεν εξαρτάται από την ικανότητα του χειριστή.
- Η λειτουργία του αγκυρίου είναι ανεξάρτητη από τις δονήσεις των ανατινάξεων.
- 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 συστήματος Swellex χαρακτηρίζεται ως πολύ καλή, ιδιαίτερα για την ταχύτητα της εγκατάστασης και την αξιοπιστία της αντιστήριξης. Ο χρόνος εγκατάστασης από εργοταξιακές μετρήσεις είναι της τάξης 10-15 λεπτών για 7 έως 8 αγκύρια.

4.8.1.4. Μηχανικά Αγκύρια τριβής

Μια ακόμη μορφή αγκυριών τριβής είναι ο τύπος Split-Set της Inersol-Rand.

Αποτελείται από ένα σωλήνα με διαμήκη σχισμή. Ο σωλήνας εκτονώνεται κατά την είσοδο του 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 την προστασία από διάβρωση .

4.8.2. Το εκτοξευμένο σκυρόδεμα στην άμεση υποστήριξη των σηράγγων

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 μία 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 και από αποσύνθεση.

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 15cm όταν εφαρμοστεί σε σήραγγα διαμέτρου 10m μπορεί να κρατήσει φορτίο 45ton/m.

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

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

Το νερό και ο επιταχυντής τροφοδοτούνται στην αντλία με χωριστούς σωλήνες, αναμιγνύονται και τροφοδοτούνται κατευθείαν στο ακροφύσιο. Η αντλία ρυθμίζεται για να τροφοδοτεί διαλύματα επιταχυντή νερού σε όλες τις αναλογίες

μεταξύ 1:20 και 1:1. Για την ευκολία της εκτόξευσης χρησιμοποιούνται ειδικοί πρόβολοι εκτόξευσης, τοποθετημένοι πάνω σε αυτοκινούμενους κιλλίβαντες ή και πάνω στο σώμα (back up) του διατρητικού μηχανήματος.

4.9. Μεταφορικά Συστήματα

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 διατρητική 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 διάφορων δομικών υλικών προς το μέτωπο (μεταλλικοί δακτύλιοι, χάλυβες οπλισμού , σκυρόδεμα ανταλλακτικά) και προσωπικού.

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.

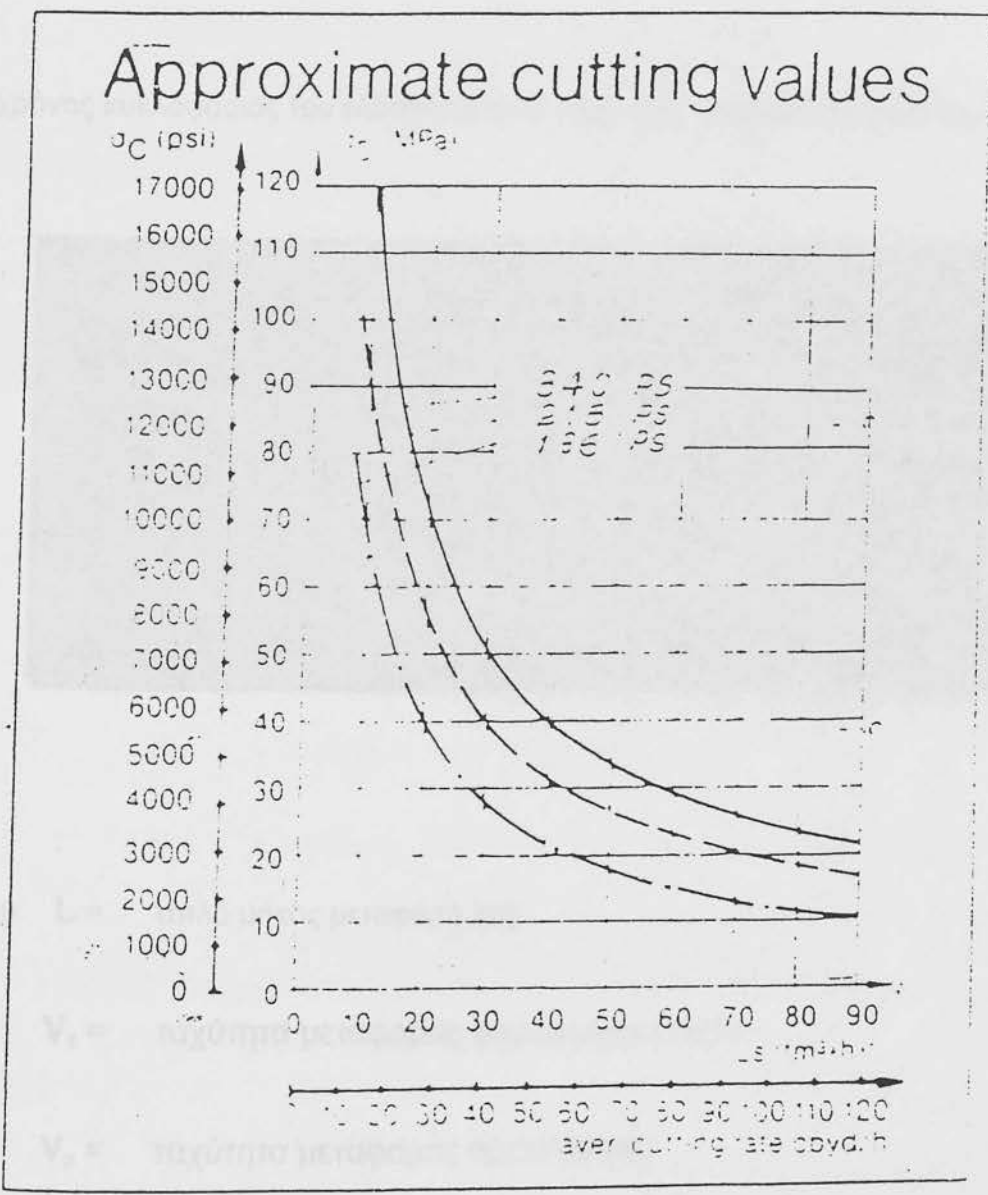
Ο μεταφορικός ιμάντας χρησιμοποιείται μόνο στις στοές μεταλλείων με μικρή διατομή . Τα ελαστιχοφόρα οχήματα αρχίζουν να γίνονται ανταγωνιστικά έναντι των σιδηροδρομικών οχημάτων για διατομή σήραγγας πάνω από 20m² (εικόνα 4.16).

4.9.1. Ελαστιχοφόρα οχήματα

Χρησιμοποιούνται κυρίως σε σήραγγες μεγάλης διατομής, μεγαλύτερης των 20m² . Το πλεονέκτημα τους είναι ότι δεν απαιτείται 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.

Το κόστος επένδυσης είναι το κόστος αγοράς του μηχανήματος, το οποίο είναι υψηλότερο από το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του πελάτη.



t_D = χρόνος φόρτισης (sec)
 t_R = χρόνος απόρριψης (sec)
 t_C = σταθερός χρόνος (sec) (π.χ. 1 sec)

Εικόνα 4.16: Προσεγγιστικές τιμές ωριαίας απόδοσης μηχανημάτων σημειακής κοπής, σε συνάρτηση με την σκληρότητα του πετρώματος (ALPINE)

Το κόστος επένδυσης είναι χαμηλότερο αλλά το κόστος λειτουργίας ανοιγμένο σε $\delta\rho\chi/m^3$ είναι υψηλότερο του σιδηροδρομικού υλικού, παρόλο το υψηλό κόστος επένδυσης του τελευταίου .

Ο χρόνος κυκλοφορίας του ελαστικοφόρου οχήματος υπολογίζεται από την σχέση :

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

όπου $L =$ απλό μήκος μεταφορά (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 χρόνοι (περίπου 1 min)

όπου Οι ταχύτητες υπολογίζονται από την σχέση :

$$v1 = \frac{270 \times N \times \eta_y}{(B_a + B_o) \times (W_r + W_s)} \times \eta_r \text{ (km/h)}$$

όπου : **N** = ισχύς κινητήρα(PS)

η_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)

η_r = συντελεστής ταχύτητας

Η ωριαία μεταφορική ικανότητα του οχήματος είναι :

$$Q_h = \frac{60 \times v \times \eta_e}{t_s} \text{ (m}^3/\text{h)}$$

όπου ne = συντελεστής εργοταξίου

V = χωρητικότητα οχήματος (m^3)

4.9.2. Μεταφορά με σιδηροδρομικά οχήματα

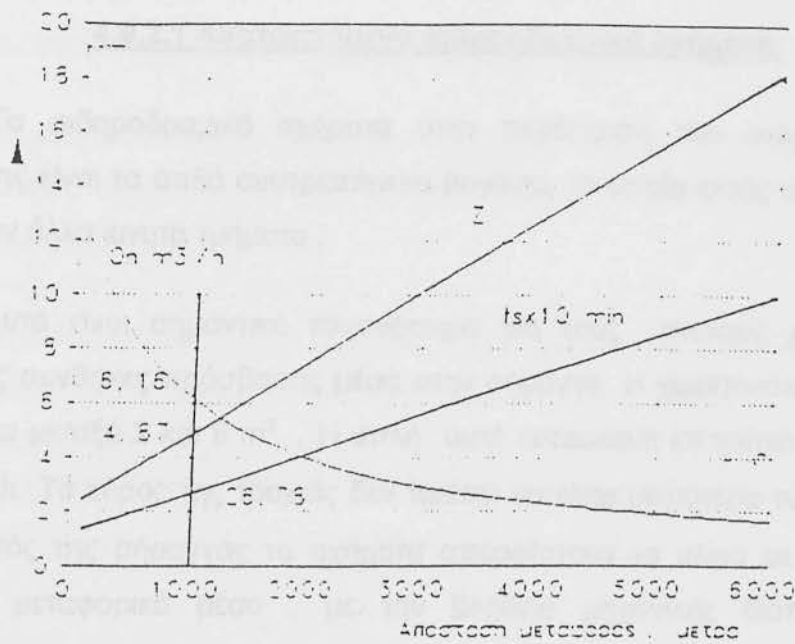
Η χρησιμοποίηση σιδηροδρομικού υλικού είναι οικονομικότερη των ελαστιχοφόρων οχημάτων για σήραγγες μικρής διατομής μέχρι $20 m^3$. Για μεγαλύτερες διατομές η επιλογή γίνεται με βάση τις γεωλογικές συνθήκες, το μήκος της σήραγγας και την ταχύτητα προώθησης του διατρητικού μηχανήματος. Με τους σιδηροδρομικούς 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 κυλίστρα από μια ή δύο 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 δύο συρμοί που βρίσκονται πάνω σε δύο παράλληλες τροχιές, όπως είναι οι διακλαδώσει τύπου Καλιφόρνιας.

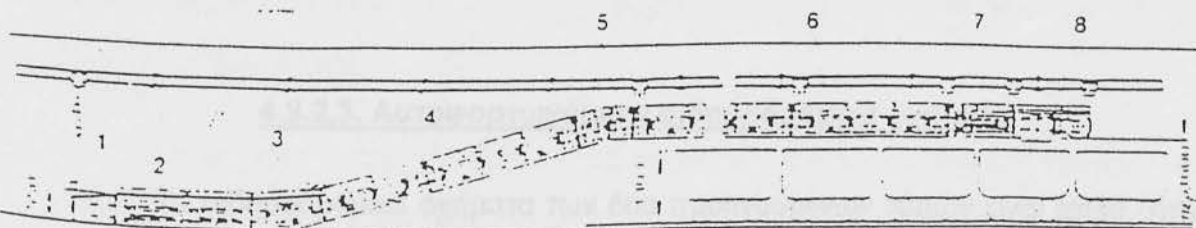
Στο άκρο απόρριψης του ιμάντα υπάρχει ένας κάθετος ιμάντας διατομής μικρού μήκους ο οποίος με αναστροφή της φοράς κίνησης του απορρίπτει το υλικό στον ένα και μετά στον άλλο συρμό. Το σύστημα του αναρτημένου ιμάντα έλκεται από το διατρητικό μηχανήμα. Η λειτουργία του συστήματος εξηγείται παραστατικά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

Στα εξελιγμένα συστήματα φόρτωσης για να αποφεύγεται η κίνηση του συρμού κατά ένα (βαγόνι) βήμα, εξοπλίζεται ο ενδιάμεσος ιμάντας φόρτωσης με μια διάταξη αναδίπλωσης του ιμάντα, η οποία έχει την δυνατότητα να κινείται κατά μήκος του ιμάντα και να απορρίπτει το υλικό από τις δύο πλευρές στα οχήματα (ανάλογο σύστημα χρησιμοποιείται στους ταινιόδρομους απόθεσης των λιγνιτορυχείων) (εικόνα 4.22)..



Εικόνα 4.22 : Διάγραμμα λειτουργίας οχήματος για την εξυπηρέτηση διατηρητικού μηχανήματος 30 m^3 , για τα δεδομένα του παραδείγματος.

Z =αριθμός απαιτούμενων οχημάτων



Εικόνα 4.22 : Μέθοδος φόρτωσης σιδηροδρομικών οχημάτων με ενδιάμεσο μεταφορικό ιμάντα φόρτωσης.

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| 1) Τύμπανο αναστροφής | 5) Στοιχείο άρθρωσης |
| 2) Θέση τροφοδότησης | 6) Στοιχείο 3 μέτρων |
| 3) Στοιχείο κλίσης | 7) Διατάραξη προέντασης |
| 4) Στοιχείο 3 μέτρων | 8) κίνηση |

4.9.2.1 Ανατρεπόμενα σιδηροδρομικά οχήματα.

Τα σιδηροδρομικά οχήματα στην περίπτωση του αναρτημένου ιμάντα φόρτωσης είναι τα απλά ανατρεπόμενα βαγόνια, τα οποία εκτός από τους τροχούς δεν έχουν άλλα κινητά τμήματα .

Αυτό είναι σημαντικό πλεονέκτημα για τους στενούς χώρους και τις δύσκολες συνθήκες πρόσβασης μέσα στην σήραγγα. Η χωρητικότητα του κιβωτίου κυμαίνεται μεταξύ 2 και 8 m³ . Η απλή αυτή κατασκευή επιτρέπει ταχύτητες μέχρι 30 Km / h. Το εύρος της τροχιάς δεν πρέπει να είναι μικρότερο των 900mm . Στο χώρο εκτός της σήραγγας τα οχήματα απορρίπτουν το υλικό σε σωρούς ή στο επόμενο μεταφορικό μέσο , με την βοήθεια μηχανικής διάταξης, η οποία περιστρέφει ολόκληρο το όχημα περί τον διαμήκη άξονα του κατά 360° .

4.9.2.2. Σιδηροδρομικά οχήματα με πλάγια απόρριψη

Κατασκευάζονται σε μεγέθη από 3 cm /25 m² για εύρος τροχιάς 600 - 1.200mm . Η απόρριψη του υλικού γίνεται πλευρικά με την βοήθεια μηχανικής διάταξης, η οποία βρίσκεται έξω από την είσοδο της σήραγγας.

4.9.2.3. Αυτοφορτωνόμενα σιδηροδρομικά οχήματα

Τα σιδηροδρομικά οχήματα των δύο προηγούμενων τύπων είναι απλά στην κατασκευή και ανθεκτικά έχουν όμως το μειονέκτημα ότι απαιτούν πρόσθετα βοηθητικά μέσα για την φόρτωση (ενδιάμεσος μεταφορικός ιμάντας φόρτωσης με παρελκόμενα και μηχανική διάταξη απόρριψης).

Το μειονέκτημα αυτό προσπαθούν να βελτιώσουν οι τύποι των αυτοφορτομενων σιδηροδρομικών οχημάτων (Bunkerzug).

Αντιπροσωπευτικοί τύποι είναι οι κατασκευές των εργοστασίων Salzgitter κυρίως για μεταλλεία & Hagglund για τα τεχνικά έργα.

4.10 Τα οχήματα τα οποία είναι ανοικτά και στα δύο άκρα τους , φέρουν επιδαπέδιο μεταλλικό μεταφορέα , οποίος προωθεί το προερχόμενο από το μηχάνημα διάτμησης υλικό κατά μήκος του συρμού μέχρι το πρώτο όχημα .

Η μετωπική πλάκα αναστολής του πρώτου οχήματος συγκρατεί το υλικό και προκαλεί μια συμπύκνωση του με αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου του μεταφερόμενου υλικού.

Η απόρριψη του υλικού έξω από την σήραγγα γίνεται με την χρησιμοποίηση των επιδαπέδιων μεταφορέων.

Τα οχήματα Hagglund κατασκευάζονται για χωρητικότητα 9-13 m³. Η μέγιστη χωρητικότητα συρμού είναι 54 m³ συμπιεσμένου υλικού.

4.9.2.4. Μηχανή έλξης

Ο συρμός έλκεται από την μηχανή έλξης η οποία μπορεί να κινείται με ντηζέλοκινητήρα ηλεκτροκινητήρα συνεχούς ρεύματος με συσσωρευτές ή σπανιότερα , κινητήρα πεπιεσμένου αέρα. Η φόρτιση των συσσωρευτών γίνεται κάθε 10 ώρες , ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας.

Η ισχύς των τυποποιημένων ντηζελαμαξιών είναι από 22 έως 123 kW , ελκτική δύναμη 11 έως 72 kn. & των ηλεκτραμαξιών 27 έως 100 kW με ελκτική δύναμη 15 έως 42 KN.

Οι μηχανές έλξης είναι εξοπλισμένες με ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου, τα οποία με τα στοιχεία σήμανσης που τοποθετούνται σε επιλεγμένο σημείο πάνω στις τροχιές , εξασφαλίζουν αυτόματη λειτουργία και ασφάλεια κυκλοφορίας.

Τελευταία σε σήραγγες μεγάλης διατομής χρησιμοποιούνται ηλεκτροκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος με θυρίστορ. Η τροφοδότηση της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται από υπερκείμενους αγωγούς.

Οι μηχανές έλξης εξοπλίζονται με διάταξη αυτόματης πέδησης, σε περίπτωση ανούσιας αδράνειας του χειριστή, διάταξη οριακής ταχύτητας ηλεκτρονική οδήγηση , διάταξη καθαρισμού καυσαερίων και καταλύτη.

4.10. Ολομέτωπη διάνοιξη και Αρχαιολογικά Ευρήματα

Τα αρχαιολογικά ευρήματα σημειώνονται συνήθως στα προσχωσιγενή στρώματα ή στο ανώτερο μέρος του υποστρώματος , όπου οι σχιστόλιθοι είναι αποσαθρωμένοι. Αυτό αντιστοιχεί σε 6 με 8 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους.

Η πρόταση που έχει γίνει είναι να χαμηλώσει η στάθμη των γραμμών, ώστε να αποφευχθεί η χρήση της μεθόδου ανοικτού ορύγματος στο κεντρικό τμήμα της πόλης και επίσης να μπορούν να κατασκευαστούν οι σταθμοί με επαρκές υπερκείμενο στρώμα (για την αποφυγή όλων των παρενοχλήσεων στην επιφάνεια και στις θεμελιώσεις των κτιρίων που υπάρχουν) και να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα αρχαιολογικών ευρημάτων, δεδομένου ότι η σήραγγα που διανοίγεται θα βρίσκεται πάντα μέσα στο σχιστόλιθο.

Επιπρόσθετα , παρέχεται η δυνατότητα με την ύπαρξη ανθρωποθυρίδων να επιθεωρείται από το τύμπανο της μηχανής το μέτωπο, με την είσοδο ειδικών στο πρόσθιο θάλαμο εργασίας της μηχανής (μεταξύ του μετώπου και του τύμπανου), κατόπιν μικρής οπισθοχώρησης , ώστε να προλαμβάνεται κάθε κίνδυνος ζημιάς στα αρχαιολογικά ευρήματα.

Το Μετρό χρηματοδοτεί αρχαιολογικές ανασκαφές έκτασης 69.000 τετραγωνικών μέτρων που είναι οι μεγαλύτερες που έχουν γίνει ποτέ στην Αθήνα.

Στις περιοχές που ανευρίσκονται αρχαιότητες υπάρχει αυστηρός έλεγχος και παρακολούθηση ώστε να προστατευθούν και να διατηρηθούν τα ευρήματα.

Εξειδικευμένοι αρχαιολόγοι του Υπουργείου Πολιτισμού ανασκάπτουν με προσοχή, καταγράφουν , αναλύουν και αποθηκεύουν κάθε εύρημα. Σε όλα τα εργοτάξια υπάρχει προσωπικό ασφαλείας όλο το 24ωρο.

Για να ελαχιστοποιηθούν οι πιθανότητες συνάντησης με αρχαιότητες , οι σήραγγες του Μετρό διανοίγονται σε βάθος 20 μέτρων , επίπεδο πολύ χαμηλότερο από αυτό που βρίσκονται οι αρχαιότητες.

Ορισμένα από τα σημαντικά αρχαία αντικείμενα που ανακαλύφθηκαν κατά την διάρκεια αυτών των ανασκαφών , θα εκτεθούν σε προσθήκες σε μερικούς σταθμούς του Μετρό (εικόνες στο τέλος της πτυχιακής).

ΣΥΝΟΨΗ - ΚΡΙΣΕΙΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το μηχάνημα ολομέτωπης διάνοιξης σήραγγων (T.B.M) άρχισε στις 27 Απριλίου 1994 να ανοίγει την σήραγγα της μιας από τις 2 νέες γραμμές του ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ , από το σταθμό "Λάρισα" μια σαφής απόδειξη ότι πλέον η κατασκευή του έργου έχει μπει σε ένα πιο προχωρημένο στάδιο.

Το γιγαντιαίο αυτό μηχάνημα που ζυγίζει 1.650 τόνους, έχει μήκος 140 μέτρων (το μήκος , δηλαδή ενός ποδοσφαιρικού γηπέδου) και διάμετρο 9,5 μέτρων , θα διανοίξει το μεγαλύτερο τμήμα της σήραγγας της γραμμής που εκτείνεται από τα Σεπτόλια στην Δάφνη .

Το T.B.M. θα λειτουργήσει 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.

Το T.B.M θα δουλεύει σε εικοσιτετράωρη βάση με κάποια διαλείμματα για συντήρηση. Θα προχωρεί κατά μέσο όρο 10 μέτρα την ημέρα, ενώ ταυτόχρονα θα κατασκευάζει μια σχεδόν τελειωμένη σήραγγα, διαμέτρου 8,5 μέτρων . Τρεις βάρδιες εργατοτεχνιτών 32 σε κάθε βάρδια θα λειτουργούν, διευθύνουν και συντηρούν το μηχάνημα .

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

Και μόνο το μέγεθος , η ισχύς και η τεχνολογία αιχμής αυτών των μηχανημάτων προκαλούν δέος.

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

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 ποτέ άλλοτε κατά την πρόσφατη διάνοιξη του Ευρωτούνελ που ενώνει την Γαλλία με την Αγγλία, κάτω από την Μάγγη. Μηχανήματα T.B.M. έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή μετρό σε διάφορα μέρη του κόσμου, όπως στο Παρίσι, στη Μόσχα, στο Λονδίνο, στην Ουάσιγκτον, στην Ρώμη και στην Φραγκφούρτη.

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

Τα προϊόντα της εκσκαφής, στην συνέχεια, απομακρύνονται από την σήραγγα με βαγόνια που σύρονται από μηχανοάμαξα κι μεταφέρονται στο Σχιστό, για να χρησιμοποιηθούν στην ανάπλαση του χώρου, καθώς και για την κάλυψη ανενεργών λατομείων της Αττικής.

Ένας δεύτερος σχεδόν πανομοιότυπος Μετροπόντικας ξεκινά από τον σταθμό "Κατεχάκη" για να διανοίξει το μεγαλύτερο τμήμα της σήραγγας της γραμμής που θα εκτείνεται από το σταθμό "Πεντάγωνο" στο σταθμό "Κεραμεικός". Το δεύτερο αυτό μηχάνημα αρχίζει να λειτουργεί το καλοκαίρι του 1994. Το κόστος και των δύο T.B.M. ανέρχεται στα 16 δισεκατομμύρια δραχμές σε τιμές του 1993.

Σήμερα εργάζονται 1.400 άτομα σε 13 εργοτάξια του ΜΕΤΡΟ σε διάφορα σημεία της πόλης. Ήδη κατασκευάστηκαν οι σταθμοί "Αττική" "Λάρισα" "Δεληγιάννη", "Ομόνοια", "Ακαδημίας", "Κατεχάκη" και "Μοναστηράκι". Μεγάλες αρχαιολογικές ανασκαφές συνεχίζονται στο Σύνταγμα, στο Ολύμπειον και στο Μοναστηράκι. Σε άλλα σημεία βρίσκονται σε εξέλιξη διάφορες μετατοπίσεις δικτύων κοινής ωφελείας.

Όταν το Μετρό της Αθήνας ολοκληρωθεί το 1998, το σύστημα θα αποτελείται από 21 σταθμούς και θα εξυπηρετούν περίπου 450.000 επιβάτες καθημερινά

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 ΜΕΤΡΟ είναι η εταιρεία ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ που ιδρύθηκε με νόμο το 1991 . Ανάδοχος του έργου είναι η εταιρεία Ολυμπιακό Μετρό, μια κοινοπραξία 25 Γερμανικών, Γαλλικών και Ελληνικών εταιριών, με επικεφαλής την Γερμανική SIEMENS A .G. και την Γαλλική Interinfra S.A.

Η Αμερικάνικη εταιρία BECHTEL INTERNATIONAL βάσει σχετικής σύμβασης, παρέχει υπηρεσίες συμβούλων στην ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.

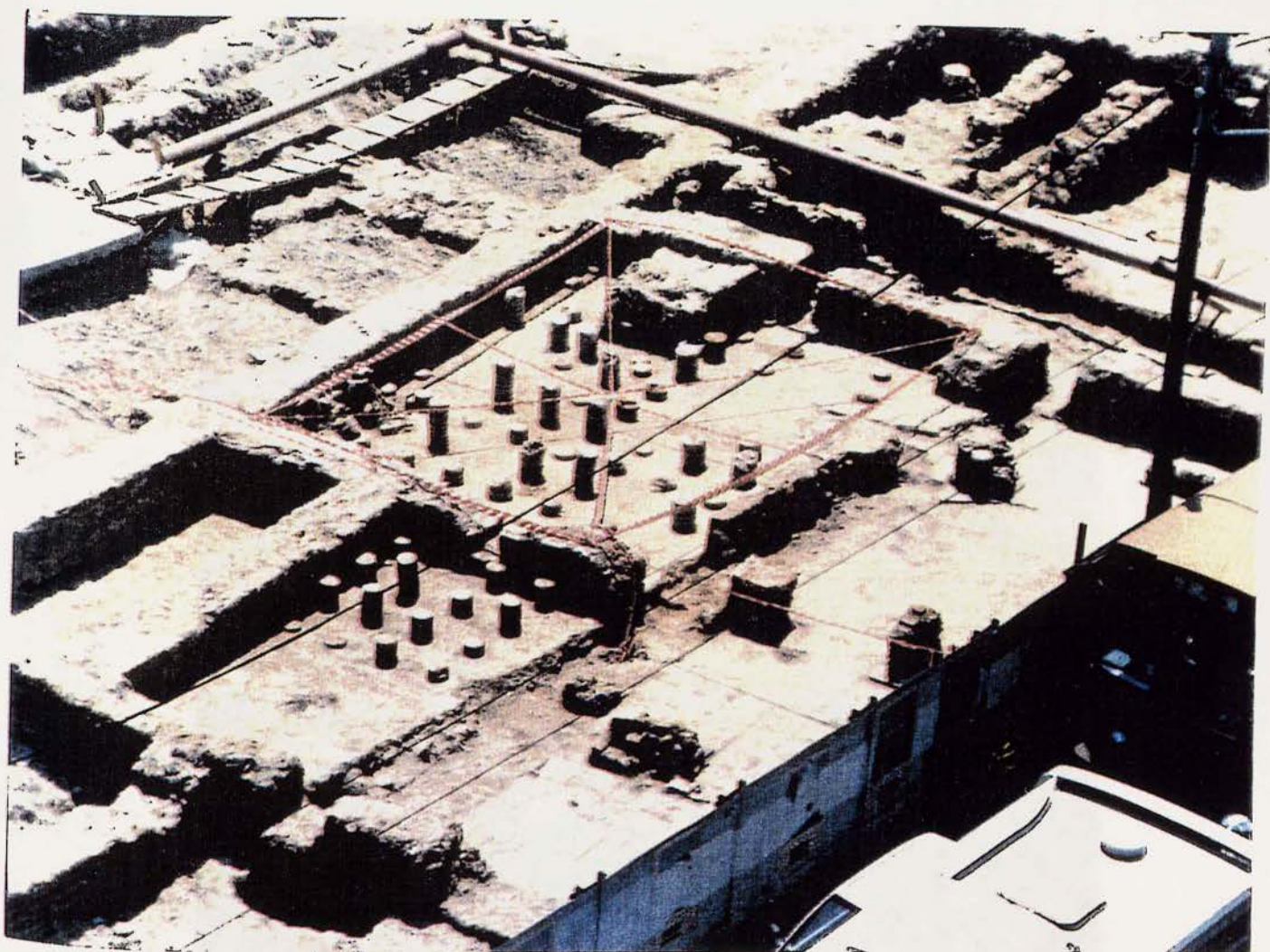
Η προϋπολογιζόμενη συνολική δαπάνη του έργου είναι 1,93 δις ECU (524 δισεκατομμύρια δραχμές) σε τιμές συναλλάγματος Δεκεμβρίου 1993 . Η Ευρωπαϊκή Ένωση και η Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων χρηματοδοτούν το 80% του έργου με δάνεια και επιχορηγήσεις, ενώ το υπόλοιπο είναι συμμετοχή του Ελληνικού Δημοσίου .

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.

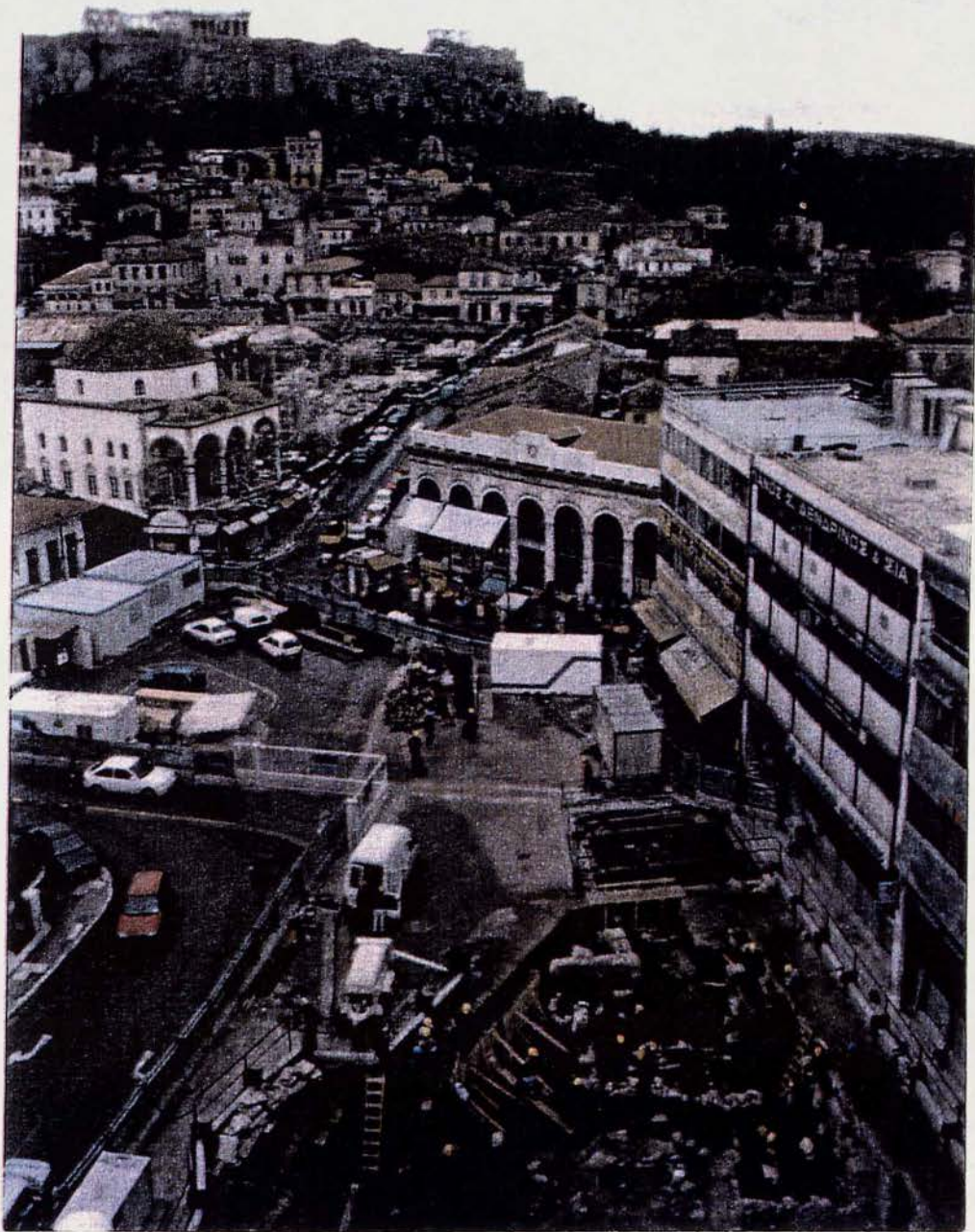
Ίσως αποτελεί δε την καλύτερη λύση για το ΜΕΤΡΟ της Αθήνας , καθ' όσον παρέχει ταχύτητα εκτέλεσης , ασφάλεια στα υπερκείμενα κτίσματα προστασία στα τυχόν αρχαιολογικά ευρήματα, καθώς επίσης και μείωση επίδρασης επί των σηράγγων από σεισμογενής δραστηριότητες.



ΣΥΝΤΑΓΜΑ

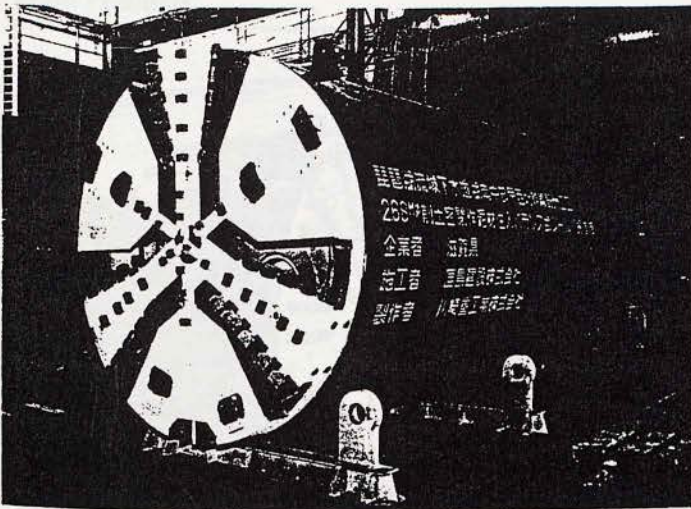


KATEXAKH

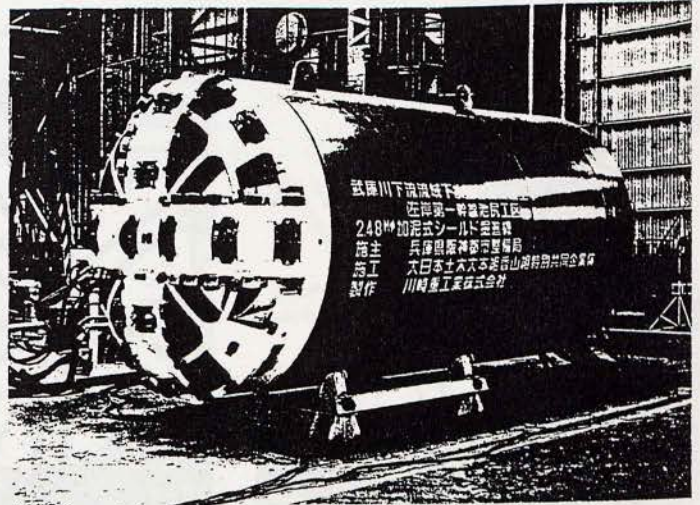


ΜΟΝΑΣΤΗΡΑΚΙ

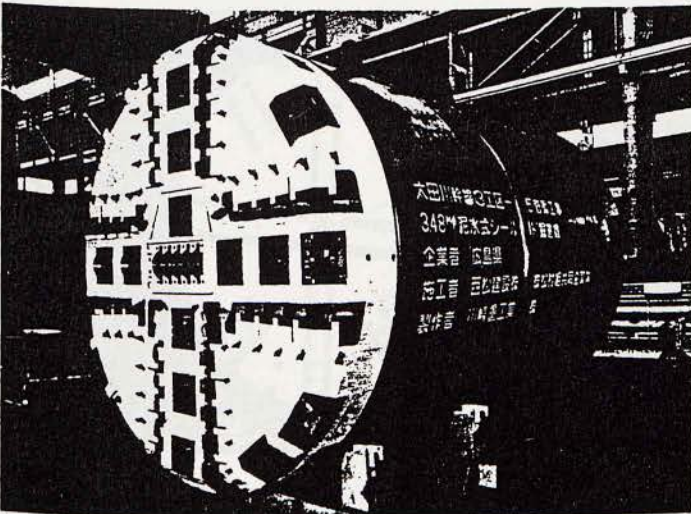




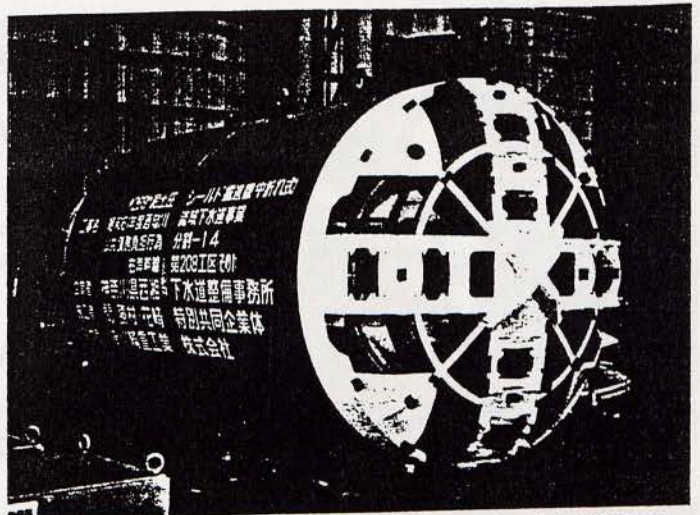
2.68 Mφ mud pressure balanced shield; flat type (Drag bits protection)



2.48 Mφ mud pressure balanced shield: dome type



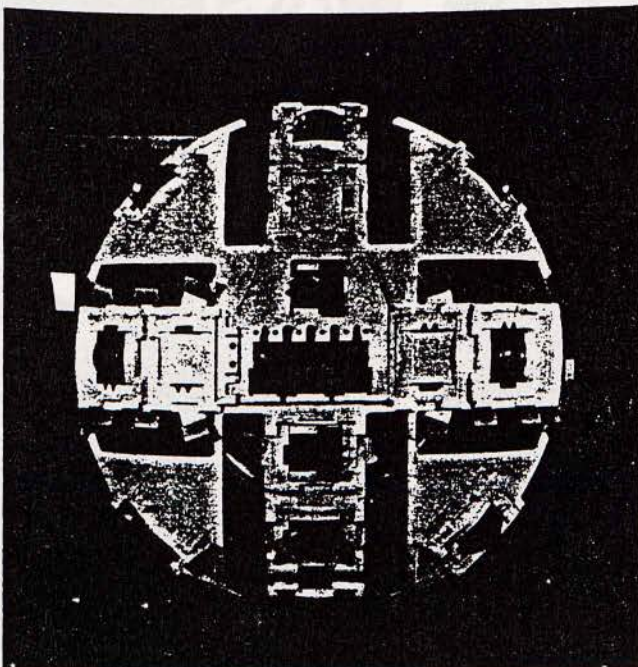
3.48 Mφ slurry shield; semidome type; front-crushing type



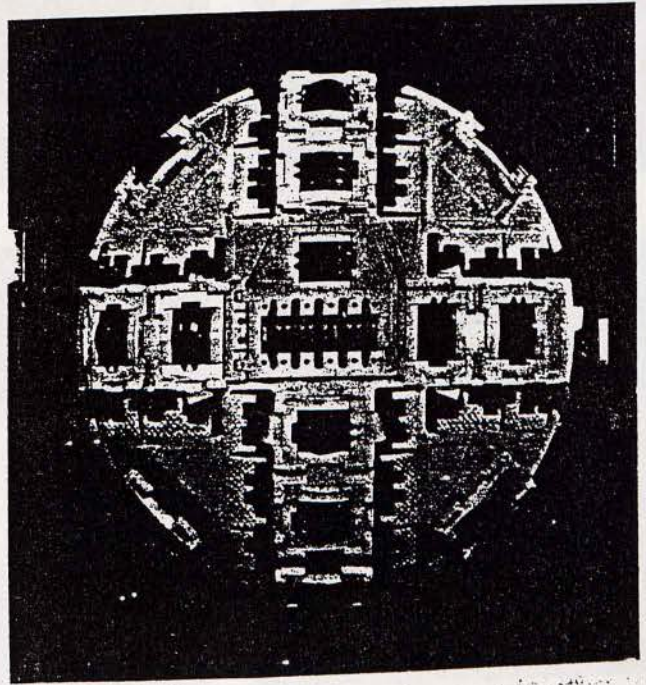
2.68 Mφ mud pressure balanced shield: dome type: non-front-crushing type

Shield Machine for Diversed Stratum

This machine is capable of continuously excavating a series of soft ground and hard rock stratum.

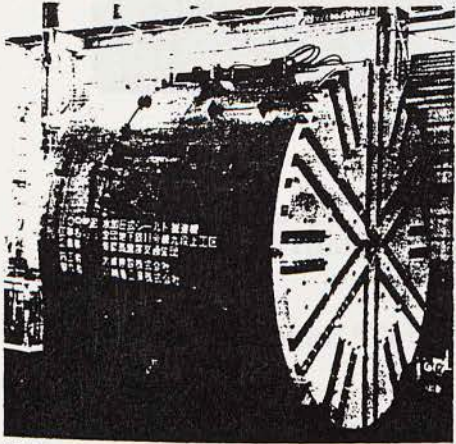


Cutter face for soft ground

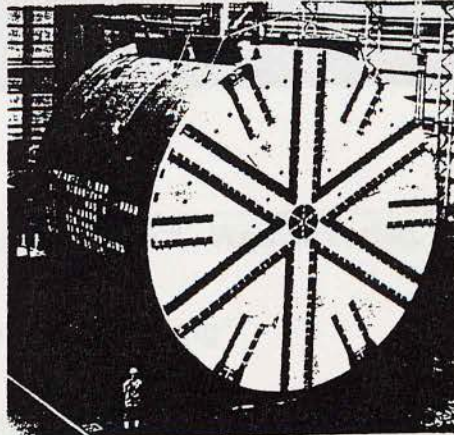


Cutter face for hard rock

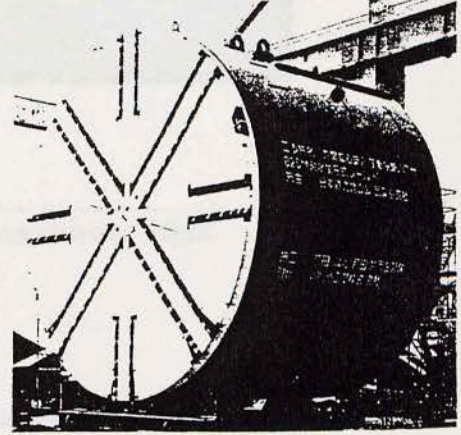
Main Products



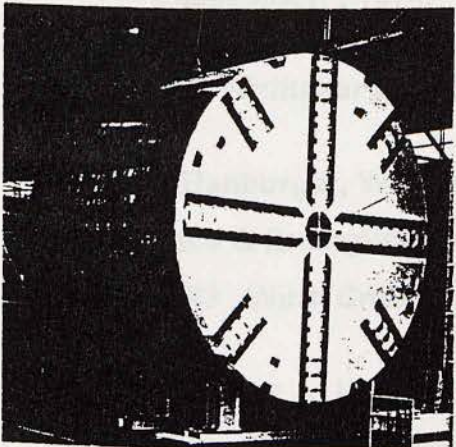
10 Mφ slurry shield



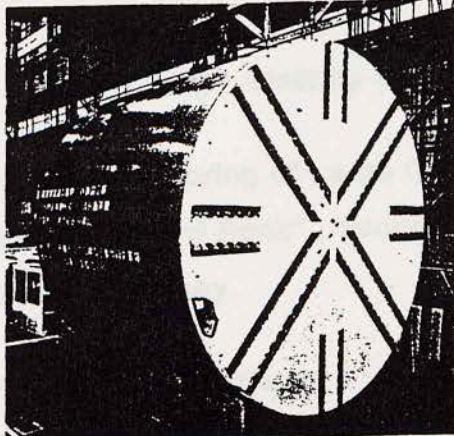
9.7 Mφ slurry shield



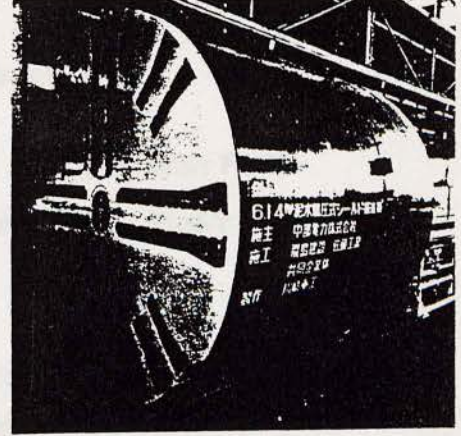
8.25 Mφ slurry shield



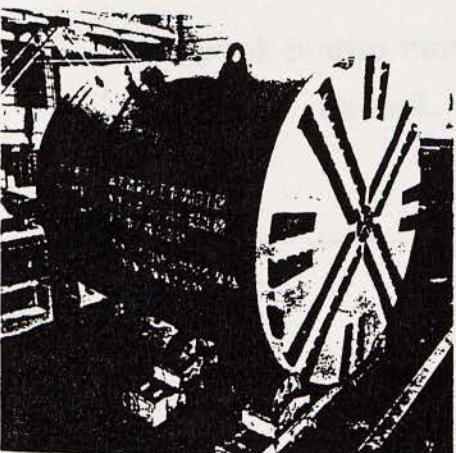
7.45 Mφ slurry shield



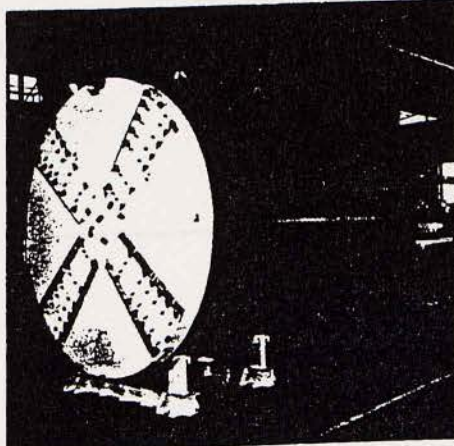
7.25 Mφ slurry shield



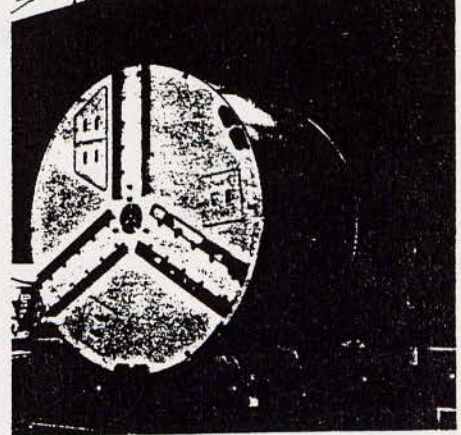
6.14 Mφ slurry shield



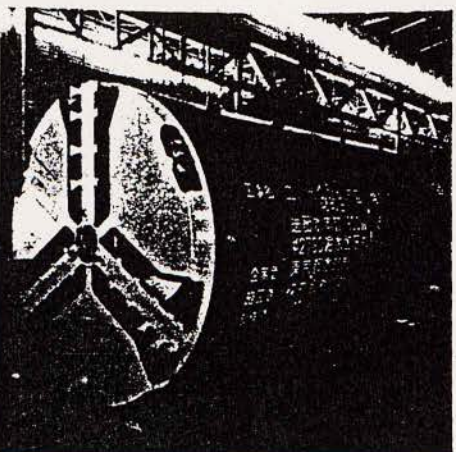
5.23 Mφ slurry shield



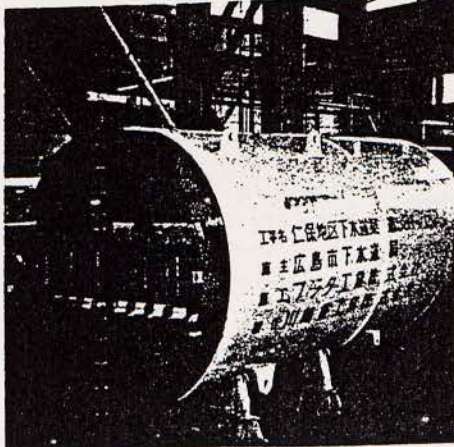
4.19 Mφ slurry shield



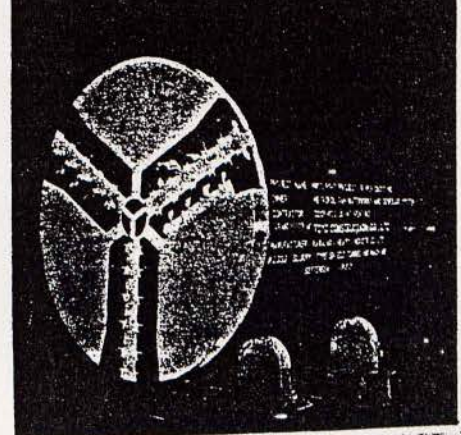
3.68 Mφ slurry shield



2.78 Mφ slurry shield



2.13 Mφ slurry shield



1.918 Mφ slurry shield (for Manila Sewerage)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. F.Apel : "Tunnel mit Schidvortrieb " , Werner Verlag, Duesseldorf , 1968.
2. Wallis Shani: "Tunnelw and Tunneling"
3. W. Rutschmann : "Mechnischer Tunnelvortrieb im Festgestein", VDI Verlag, Duesseldorf , 1974.
4. B.N. Whittaker and R.C. Frith : "Design, Stability & Construction".
5. H.Hanburger, W. Weber: "Tunnel Boring of Large Cross Sections with Full Face & Enlarging Machines , in Hard Rock" , Tunnel Conference , Boston , 1993 , Wirth Cmbtt, Erkelenz, Germany.
6. L.Viertez - Utesa, L.E.Montanez - Cartaxo : "Towards New Worlds in Tunneling", Volume 1 & 2 , A.A. Balkena, Rotterdam , 1992.
7. Τεχνικά έντυπα εταιριών : Alpine., Wirth, Robbins, Atlas Copco , Paurat, Westfalia - Becorit.