

ΠΕΡΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΔΕΚΑΕΤΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

(ΜΕ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΕΥΤΑΞΙΑ, ΙΧΘΥΟΣΚΑΛΑΣ
ΚΕΡΑΤΣΙΝΙΟΥ, ΜΕΤΣΟΒΟΥ)
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Α' ΜΕΡΟΣ

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: ΑΝΑΓΝΩΣΤΗ ΛΕΟΝΑΡΔΟΥ
ΕΙΦΑΡΑ ΑΓΓΕΛΙΚΗΣ

ΕΠΟΠΤΗΣ: Κ. ΒΑΣΙΛΟΠΟΥΛΟΣ ΜΑΡΙΟΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ
ΚΑΙ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΜ. ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2001

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία έχει ως σκοπό την, όσο το δυνατόν, καλύτερη ανάλυση των βημάτων που ακολουθούνται για την κατασκευή των σηράγγων.

Αποτελείται από δύο μέρη:

Στο πρώτο μέρος παρατίθενται στοιχεία για τις σήραγγες και τη μελέτη που γίνεται πριν την κατασκευή τους. Το μέρος αυτό χωρίζεται σε δύο κεφάλαια.

Το πρώτο έχει ως αντικείμενο τη γενική εικόνα της κατασκευής των σηράγγων, όπως τη σημασία τους, τα στάδια της γεωλογικής έρευνας, που είναι και το σπουδαιότερο κομμάτι της μελέτης, τις μεθόδους διάνοιξης, την τελική επένδυση και μερικούς από τους συχνότερους κινδύνους που συναντάμε κατά τη διάνοιξη και πρέπει να αντιμετωπίζονται.

Στο δεύτερο κεφάλαιο εκθέτονται στοιχεία από τις μελέτες τριών σηράγγων:

- A. Τη σήραγγα που κατασκευάστηκε κατά τη διπλή σιδηροδρομική γραμμή ΕΛΕΥΣΙΝΑΣ-ΚΟΡΙΝΘΟΥ στην περιοχή ΕΥΤΑΞΙΑ-ΚΟΜΒΟ Ν. ΠΕΡΑΜΟΥ.
- B. Τη σήραγγα στη περιφερειακή λεωφόρο ΠΕΙΡΑΙΑ (ΑΓ.ΔΙΟΝΥΣΙΟ-ΛΕΩΦ.ΣΧΙΣΤΟΥ) στο τμήμα από ΟΡΜΟ ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΥ μέχρι ΙΧΘΥΟΣΚΑΛΑ.
- Γ. Τη σήραγγα που κατασκευάζεται κατά τη κατασκευή της ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ στο τμήμα ΑΘΟΧΩΡΙ-ΑΝΙΣΟΠΕΔΟΣ ΚΟΜΒΟΣ ΜΕΤΣΟΒΟΥ.

Το δεύτερο μέρος αποτελείται από δύο παραρτήματα. Στο Παράρτημα Α' παρουσιάζονται φωτογραφίες από τη διάρκεια των κατασκευών των τριών παραπάνω σηράγγων, με την ίδια σειρά, με τους αντίστοιχους τίτλους τους στην αρχή κάθε σήραγγας. Στο Παράρτημα Β' παρουσιάζονται τα σχέδια της οριζοντιογραφίας, μηκοτομής και διατομής κάθε σήραγγας αντιστοίχως.

Οφείλουμε να ευχαριστήσουμε τον κ.Βασιλόπουλο Μ.-Α., Καθηγητή Θεμελειώσεων και Εδαφομηχανικής του τμήματος Πολιτικών Δομικών Έργων των Τ.Ε.Ι. Πειραιά και επόπτη μας κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας, για την ορθή καθοδήγησή του βάσει της οποίας κατορθώσαμε να επιλέξουμε τα κατάλληλα στοιχεία για τη σύνταξή της.

Και ακολούθως, για την πολύτιμη βοήθεια που μας προσέφεραν, τους κ.κ.:
Ξιφαρά Ιωάννη, Πολ.Μηχ.Διπλ. Ε.Μ.Π., της Ο.Λ.Π. Α.Ε.,
Ντίνο Αναστάσιο, Πολ.Μηχ.Διπλ. Ε.Μ.Π. της εταιρείας ΑΒΑΞ Α.Ε.,
Τεσσέρη Δημήτριο, Πτυχιούχο ΣΕΛΕΤΕ και Πολ.Μηχ.Διπλ. Πολυτεχνείου Πατρών, της εταιρείας ΑΒΑΞ Α.Ε.,
Βαβάτσικο Αντρέα, Πολ.Μηχ.Διπλ. Ε.Μ.Π., της εταιρείας ΡΟΥΤΣΗΣ Α.Ε.,
Λυκούδη Έφη, Διδάκτ. του τμήμ. Μεταλλειολόγων Μηχανικών, Ε.Μ.Π.,
Στουρνάρα Γεώργιο, Επ.Καθηγητή του τμήμ. Γεωλογίας, Πανεπιστημίου Αθηνών;
Σταύρου Χρήστο, Διπλ.Πολ.Μηχ., της ΑΒΑΞ Α.Ε.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Α΄ ΜΕΡΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	II
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο	1
Α. ΓΕΝΙΚΑ	
Σύντομο Ιστορικό Διάνοιξης Σηράγγων	2
Ορισμός Και Σκοπιμότητα Κατασκευής Σηράγγων	4
Ταξινόμηση Σηράγγων	6
Β. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	
Πρόλογος	8
Κατάταξη Εδαφών Ανάλογα Με Την Αντοχή Τους	10
Σημασία Πετρογραφικών Και Τεκτονικών Συνθηκών	
Της Βραχομάζας Στην Κατασκευή Της Σήραγγας	19
Ταξινόμηση Βραχομάζας	22
Η Σημασία Του Νερού Στην Κατασκευή Της Σήραγγας	46
Γ. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ	
Γενικά	48
Η Νέα Αυστριακή Μέθοδος Σηράγγων (N.A.T.M.)	56
Δ. ΤΕΛΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ	
Γενικά	64
Μακροχρόνια Συμπεριφορά Της Βραχομάζας	64
Φορτία Γαιών Στην Τελική Επένδυση	65
Συμπεριφορά Της Τελικής Επένδυσης Υπό Σεισμικές	
Δράσεις	66
Ε. ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ	
Μέθοδοι Για Την Αντιμετώπιση Των Κινδύνων Κατά	
Την Διάνοιξη Των Σηράγγων	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο	72
Α. ΜΕΛΕΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΕΥΤΑΞΙΑ	
Στοιχεία Του Έργου	73
Συνθήκες Υπεδάφους	74

Γεωτεχνικές Θεωρήσεις – Γεωμηχανική Ταξινόμηση Βραχομάζας	76
Μεθοδολογία Υπολογισμού Υποστήριξης	77
Εκτιμήσεις Μέτρων Υποστήριξης	79
Μεθοδολογία Διάνοιξης Σήραγγας	83
Περιγραφή Μέτρων Υποστήριξης	85
Γεωτεχνικά Όργανα Και Μετρήσεις	87
Υπολογισμός Εσωτερικής Επένδυσης	88
Β. ΜΕΛΕΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΙΧΘΥΟΣΚΑΛΑΣ	
Γεωτεχνικές Παράμετροι Βραχομάζας	90
Επιλογή Μεθόδου Εκσκαφής – Υποστήριξης	94
Μελέτη Υποστήριξης Σηράγγων	102
Φορτίσεις Μόνιμης Επένδυσης Σήραγγας	103
Παρακολούθηση Συμπεριφοράς Εκσκαφής – Όργανα Μετρήσεων	104
Γ. ΜΕΛΕΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΜΕΤΣΟΒΟΥ	
Αντικείμενο Του Έργου	107
Σήραγγες	109
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	123

Β΄ ΜΕΡΟΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄

- Φωτογραφίες Σήραγγας Ευταξία
- Φωτογραφίες Σήραγγας Ιχθυόσκαλας
- Φωτογραφίες Σήραγγας Μετσόβου

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β΄

- Σχέδια Σήραγγας Ευταξία
- Σχέδια Σήραγγας Ιχθυόσκαλας
- Σχέδια Σήραγγας Μετσόβου

Α. ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

Α. ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΣΥΝΤΟΜΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Οι πρώτες σήραγγες κατασκευάστηκαν για να εξυπηρετήσουν αποστραγγιστικούς σκοπούς καθώς και την ύδρευση διαφόρων πόλεων. Στη 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 έφταναν σε μήκος τα 250 μ.

Πριν 4.000 χρόνια στην αρχαία Βαβυλώνα κατασκευάστηκε η πρώτη υφυδάτινη σήραγγα κάτω από το ποταμό Ευφράτη. Είχε μήκος 1 χλμ. και διατομή με διαστάσεις 3,6 μ. και 4,5 μ., που είναι πολύ σημαντικό για την εποχή εκείνη και δείχνει ότι οι Βαβυλώνιοι πρέπει να είχαν αποκτήσει εμπειρία και πρακτική από άλλες σήραγγες που κατασκεύασαν παλιότερα.

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 'Αη Γιώργη του Λούρου. Ακόμα πιο αξιόλογο είναι το "αμφίστομο Ευπαλίνιο όρυγμα" στο Πυθαγόρειο της Σάμου, που κατασκευόστηκε στα 600 π.Χ. Έχει συνολικό μήκος 1.300μ. και είναι σκαμμένο μέσα σε βραχώδες βουνό. Η διάνοιξή του έγινε και από τα δύο άκρα του συγχρόνως. Ο Ευπαλίνος έκανε και στην πατρίδα του, τα Μέγαρα, το Ευπαλίνιο υδραγωγείο (συλλεκτήρια στοά με διακλαδώσεις), που ακόμα και σήμερα καλύπτει σε μικρή έκταση τις ανάγκες της πόλης.

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

Πολλές σήραγγες διανοίχθηκαν παλιότερα και αργότερα για στρατιωτικούς σκοπούς, υπονομεύοντας τα τείχη των εχθρικών πόλεων βοηθούσαν στην κατάληψή τους. Στο Μεσαίωνα επίσης οι σήραγγες που κατασκευάστηκαν εξυπηρέτησαν στρατιωτικούς σκοπούς.

Με την κατασκευή των σιδηρόδρομων ναυσιπλοΐας τον 17ο αιώνα, το ενδιαφέρον στράφηκε ξανά στη διάνοιξη σιδηρόδρομων. Το 1679 κατά την κατασκευή μίας σήραγγας στο κανάλι του Langueda στη Γαλλία για την ανατίναξη του πετρώματος χρησιμοποιήθηκε πυρίτιδα, ενώ προηγουμένως η εκσκαφή γινόταν χειρονακτικά, με τη χρήση σφυρών και σφηνών και απαιτούσε τερόστια προσπάθεια και πάρα πολύ κοπιαστική εργασία. Έτσι από τότε κατασκευάστηκαν με πολύ μεγάλη επιτυχία σήραγγες ναυσιπλοΐας στη Γαλλία και στην Αγγλία.

Μέσα σε ενάμισυ αιώνα κανάλια που διέσχιζαν λοφώδεις περιοχές μεταλλείων στις δύο χώρες, συνδέθηκαν με σήραγγες που το συνολικό μήκος τους φτάνει μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα. Αυτή η ώθηση στην κατασκευή σηράγγων έγινε ακόμα πιο μεγάλη στην κατασκευή σηράγγων με την ανακάλυψη του σιδηρόδρομου.

Η πρώτη σιδηροδρομική σήραγγα κατασκευάστηκε στη Γαλλία το 1826. Η μεγάλη ανάπτυξη του σιδηροδρομικού δικτύου και η αναγνώριση της τεράστιας σημασίας του στη διατήρηση στενής επικοινωνίας παντού και πάντοτε σε μία αναπτυσσόμενη περιοχή, οδήγησε γρήγορα στην ανάγκη κατασκευής σηράγγων κάτω από πολύ μεγάλες οροσειρές.

Η βελτίωση των υδραυλικών και των πνευματικών μηχανών διατήσεως και του άλλου μηχανολογικού εξοπλισμού, η ανακάλυψη της πυρίτιδας και στη συνέχεια των άλλων εκρηκτικών υλών, καθώς και οι νέες τεχνικές διάνοιξης των σηράγγων κατέστησαν δυνατή την κατασκευή της σήραγγας του Mont Genis, που σύνδεσε σιδηροδρομικά τη Γαλλία με την Ιταλία, των διάσημων Αλπικών σηράγγων (του Gotthard, του Simplon και του Lotschberg στην Ελβετία, του Semmering, του Tauern, του Karawanken και του Arlberg στην Αυστρία) και αργότερα των Ιταλικών σηράγγων (του Ronco, του Col Di Tenda, του Monte Adone κ.ά.), 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, στη Ρωσία, στη Γερμανία, στη Γαλλία, στις ΗΠΑ, στη Νορβηγία, στην Ιαπωνία και σε άλλες χώρες.

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

Το τολμηρότερο εγχείρημα στην κατασκευή σηράγγων ήταν η διάνοιξη της σήραγγας της Μάγχης, η οποία σύνδεσε την Αγγλία με τη Γαλλία, που είναι σιδηροδρομική. Παρόμοια σήραγγα άρχισε να κατασκευάζεται παλιότερα στην Ιαπωνία, για τη σύνδεση των δύο μεγαλύτερων νησιών της, του Hokkaido και του Honsu.

ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Ο όρος σήραγγα έχει οριστεί ως η κατασκευή μιας υπόγειας διάβασης συγκεκριμένης διατομής κατά μήκος η οποία είναι ανοιχτή κατά τα δύο άκρα της. Το σχήμα και το μέγεθος μιας σήραγγας εξαρτάται από την τελική χρήση της, την ποιότητα του εδάφους και την μέθοδο κατασκευής της.

Η κατασκευή σηράγγων είναι πολυδάπανο και επικίνδυνο έργο, γι'αυτό και στο παρελθόν απορριπτόταν και γινόταν μόνο όταν δεν υπήρχε άλλος τρόπος να συνδεθούν οι δημόσιοι δρόμοι. Για το λόγο αυτό οι σήραγγες, μέχρι πρόσφατα, περιορίζονταν μέσα στις πόλεις, κάτω από ποτάμια ή απότομες πλαγιές λόφων, ή μικρού μήκους υπόγειες διαβάσεις.

Ωστόσο, σε πολλές περιπτώσεις, η διάνοιξη σήραγγας αποτελεί την οικονομικότερη και ασφαλέστερη λύση. Μια τέτοια περίπτωση είναι και αυτή των κατοικημένων περιοχών, αφ'ενός μεν λόγω του μεγάλου κόστους της γης, 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 μεγάλη τεχνολογική και επιστημονική πρόοδος επέτρεψε την εισαγωγή και χρησιμοποίηση, κατά την διάνοιξη σηράγγων, νέων μεθόδων υλικών και μηχανημάτων τα οποία είχαν σαν αποτέλεσμα την ποιοτική βελτίωση της κατασκευής, την αξιόλογη μείωση του χρόνου και γενικά την καλύτερη τεχνικοοικονομική ανταπόκριση δαπανηρών κατασκευών όπως είναι οι σήραγγες.

Αναλυτικότερα οι σήραγγες κατασκευάζονται:

- Για την εξόρυξη ορυκτού πλούτου από μεγάλα βάθη.
- Για την εξυπηρέτηση των συγκοινωνιακών αναγκών (σιδηροδρομικό και οδικό δίκτυο, υπόγειες διαβάσεις πεζών).
- Για την αποχέτευση των υδάτων, λημμάτων κ.λ.π.
- Για στρατιωτικές ανάγκες.
- Για την εξυπηρέτηση υπόγειων θαλάμων και κοιλοτήτων.
- Για ευρύτερες χρήσεις, όπως μεταφορά ενέργειας, τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, προστασία πληθυσμού από πυρηνικές εκρήξεις, κ.α.

Η μελέτη και κατασκευή σηράγγων που εκτείνονται σε πολλά χιλιόμετρα παρουσιάζει πολλά προβλήματα ιδιότυπα. Γι'αυτό το λόγο η θέση που θα κατασκευαστεί το τεχνικό έργο περιορίζεται σε μικρή σχετικά επιφάνεια γης.

Για οικονομικούς λόγους πρέπει να γίνει λεπτομερειακή έρευνα και μελέτη. Έρευνα η οποία σε ορισμένες περιπτώσεις αποκαλύπτει καταστάσεις που ο μηχανικός δεν μπορεί να προβλέψει.

Ο προϋπολογισμός για τη δαπάνη ειδικά όταν πρόκειται για μεγάλες σήραγγες και ειδικότερα 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 τη γεωλογία, τη γεωφυσική, την εδαφομηχανική της περιοχής και τη μηχανική των πετρωμάτων. Με αυτό τον

τρόπο γνωρίζουν κατά προσέγγιση τις καταστάσεις που επικρατούν στο χώρο της κατασκευής και επομένως μπορούν να τη χαράξουν αποφεύγοντας, όσο είναι δυνατό, τις επικίνδυνες γεωλογικές συνθήκες που μπορούν να ανεβάσουν το κόστος της.

Η δυνατότητα να γίνουν γνωστές οι υπόγειες γεωλογικές συνθήκες πριν τη διάνοιξη, εξαρτάται βασικά από την απλότητά τους και από τις πληροφορίες που έχουμε συγκεντρώσει γι' αυτές.

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Ανάλογα με το σκοπό τους οι σήραγγες διακρίνονται στις παρακάτω δύο ομάδες:

A. Συγκοινωνιακές σήραγγες:

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

B. Σήραγγες μεταφοράς

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

Ανάλογα με τη μέθοδο διάνοιξης των σήραγγων, διακρίνονται σε σήραγγες φυσικής και σήραγγες τεχνητής διατομής. Οι σήραγγες τεχνητής διατομής κατασκευάζονται με τη μέθοδο της εκτομής και επικάλυψης, όταν έχουμε μικρό βάθος υπερκειμένου και για χαλαρές αποθέσεις. Οι σήραγγες αυτές είναι γνωστές και σαν οχετοί.

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.

Τέλος με βάση το μήκος τους έχουμε σήραγγες μικρές για μήκος μικρότερο από 500μ. μεσαίου μήκους για μήκος μεγαλύτερο από 500 μ. και μικρότερο από 2.000 μ. και μεγάλες για μήκος μεγαλύτερο από 2.000 μ.

Σε μια οδική σήραγγα οι ελάχιστες διαστάσεις της εξαρτώνται από το μέγεθος των οχημάτων τα οποία διέρχονται, την απαίτηση σε πεζοδρόμηση, φωτισμό και εξαερισμό, καθώς και από τους βοηθητικούς χώρους που απαιτούνται (όπως ορίζονται στην οδοποιία). Οι συνηθέστερες μορφές των διατομών των σήραγγων είναι οι κυκλικές, οι πεταλοειδείς και οι σήραγγες με κατακόρυφες παρειές (σχ.1).

Οι κυκλικές διατομές συναντώνται σε κατασκευές όπου υπάρχουν πιέσεις στο εσωτερικό της σήραγγας όπως κατά την μεταφορά υγρών ή αερίων υπό πίεση και τείνουν προς την απλούστερη μορφή σήραγγας, καθ'ότι πολλές μηχανές εκσκαφής τύπου TBM έχουν αυτή τη διατομή.

Οι πεταλοειδείς σήραγγες έχουν σχεδόν επίπεδο πυθμένα και είναι συνήθως αρκετά μεγάλες ώστε να διέρχονται μεγάλα φορτηγά μηχανήματα ρυμούλκησης και τρένα.

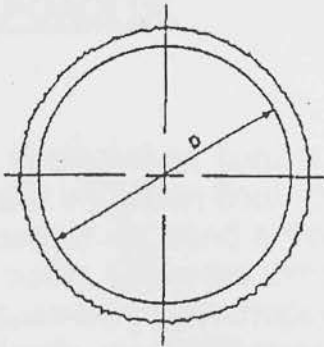
Η ποσότητα σκυροδέματος για την κατασκευή των ρείθρων ενός συστήματος μεταφοράς μειώνεται ενώ η αντίστοιχη ποσότητα για το σκυρόδεμα υποστήριξης

της σήραγγας ενδέχεται να αυξάνεται.

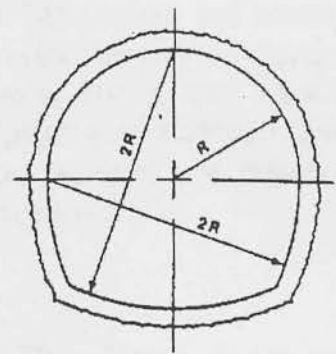
Οι σήραγγες με κατακόρυφες παρειές είναι οι πιο συνηθισμένες για οδικές σήραγγες σε βράχο όπου οι πλευρικές δυνάμεις δεν είναι πολύ μεγάλες.

Οι μέθοδοι ποικίλλουν ανάλογα.

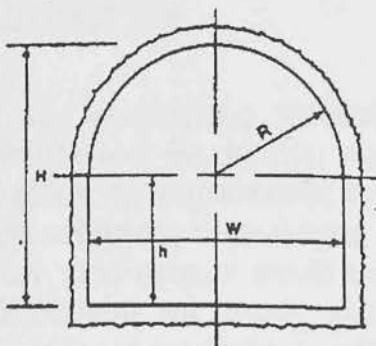
Σηνήθεις διατομές σηράγγων:



Κυκλική



Πεταλοειδής



Με κατακόρυφες παρειές

Β. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η γεωλογική έρευνα που γίνεται για την κατασκευή σηράγγων είναι μια πάρα πολύ υπεύθυνη δουλειά, γιατί από αυτήν την έρευνα δεν εξαρτάται μόνο η ζωή της κατασκευής, αλλά η πορεία των εργασιών και η ασφάλεια των εργαζόμενων μέσα σ.αυτήν. Όπως και στην κατασκευή δρόμων έτσι και στην κατασκευή σηράγγων, οι γεωλογικές προκαταρκτικές έρευνες αποτελούν μια σπουδαία συνιστώσα για τη χάραξη της διεύθυνσης αυτών των κατασκευών και ιδιαίτερα για τη σύγκριση και την αξιολόγηση διαφόρων ήδη ερευνηθέντων λύσεων. Μπορεί να πεί κανείς, πως στις κατασκευές σηράγγων το αποτέλεσμα των γεωλογικών ερευνών έχει αποφασιστική σημασία για την εκλογή μιας οικονομικής λύσης στη χάραξη του σχεδίου, γιατί σύμφωνα με τις γεωλογικές σχέσεις ρυθμίζεται το σύστημα εργασίας, η μορφή και η εκτίμηση του επενδυτικού μανδύα του σωληνα της σήραγγας, η ημερομηνία της παράδοσης του έργου και τα έξοδα κατασκευής.

ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Οι γεωλογικές προκαταρκτικές εργασίες που γίνονται για την κατασκευή σηράγγων, θα πρέπει να αρχίζουν όσο το δυνατό γρηγορότερα. Με το πρώτο σχέδιο της κατασκευής ενός υπόγειου κενού χώρου θα πρέπει να συμπεριληφθεί οπωσδήποτε ο γεωλόγος, επειδή συχνά είναι δυνατόν με βάση τις γενικές γνώσεις των γεωλογικών συνθηκών της περιοχής να συμπεράνουμε για τη θέση και τη διεύθυνση της στοάς και να διαβαθμίσουμε μία ή περισσότερες άλλες δυνατές θέσεις ως ευνοϊκές ή επίσης ως μη ευνοϊκές. Μεγάλες απώλειες σε ανθρώπους, υλικά και χρόνο ήταν συνέπεια της μη ικανοποιητικής ή της έλλειψης τελείως μιας γεωλογικής προκαταρκτικής έρευνας. Ως εκ τούτου η υπευθυνότητα των γεωλόγων εδώ είναι πολύ μεγάλη.

Τα προβλήματα της γεωλογικής έρευνας σε υπόγειες κατασκευές σηράγγων είναι τα ίδια σε όλα τα στάδια του σχεδίου, διακρίνονται όμως στη βαρύτητα των χρησιμοποιούμενων μεθόδων εργασίας. Τα προβλήματα που πρέπει να λυθούν συμπεριλαμβάνονται στα παρακάτω;

1. Έρευνα των γεωλογικών συνθηκών του εδάφους και των ιδιοτήτων του πετρώματος μέσα στο οποίο έχει χαραχτεί η σήραγγα. Πρόκειται κυρίως για τη γεωλογική κατασκευή του εδάφους, των συνθηκών απόθεσης και των τεκτονικών συνθηκών, τον προσδιορισμό των σπουδαιότερων συστημάτων κατάτμησης, το βαθμό αποσάθρωσης κ.λ.π.. Για τη διάγνωση όλων αυτών των

συνθηκών της βραχομάζας διενεργούνται διάφορες ερευνητικές εργασίες. Κατά την κατασκευή αυτών των σηράγγων δεν αρκεί μόνο η γνώση των γεωλογικών συνθηκών μέχρι τη βάση και τις πλευρές της σήραγγας, αλλά θα πρέπει να έχουμε συμπεράσματα και για τα κατώτερα στρώματα της σήραγγας. Προς το σκοπό αυτό διανοίγονται γεωτρήσεις που φτάνουν 2-5 μέτρα κάτω από τη βάση της σήραγγας. Επίσης γίνονται πολλές έρευνες επί τόπου όπως:

- Δοκιμές αποσυμπίεσης στις σήραγγες για τον υπολογισμό της κατάστασης των τάσεων και τη συμπεριφορά της βραχομάζας σε ροή
 - Δοκιμές συμπίεσης για τον υπολογισμό της αντοχής σε μετατόπιση, μοντέλου ελαστικότητας, μοντέλου παραμόρφωσης, εγκάρσια έκταση, κ.λ.π.
 - Δοκιμές υπερήχων για τον υπολογισμό του βαθμού αποσάθρωσης και του βάθους αποσάθρωσης
 - Γεωφυσικές μέθοδοι και κυρίως η σεισμική μέθοδος με την οποία υπολογίζεται το μοντέλο E σε διάφορα μέρη, όπως και η δυνατότητα υπολογισμού οριακών γραμμών με διαφορετικά μοντέλα E.
2. Η υδρογεωλογική έρευνα της ευρύτερης περιοχής της σήραγγας, από την οποία μπορούμε να συμπεράνουμε σε ποιά σημεία της σήραγγας εισέρχεται νερό. Συγχρόνως υπολογίζεται και η ποιότητα του υπόγειου νερού, για να προσδιοριστεί μια ενδεχόμενη δραστηκότητά του στην κατοσκευή της σήραγγας.
 3. Η εκτίμηση του πετρώματος σε σχέση με τη διάλυσή του και την προώθηση των εργασιών διάνοιξης της σήραγγας. Οι ιδιότητες αυτές του πετρώματος έχουν αποφασιστική σημασία για τον υπολογισμό του χρόνου θραύσης των επί μέρους τεμαχίων, για τη χρησιμοποίηση των κατάλληλων συσκευών, μηχανημάτων κ.ά.
 4. Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τον αερισμό βαθιά ανοιγμένων σηράγγων, είναι απαραίτητο να υπολογίσουμε τη θερμοκρασία του πετρώματος, να εξακριβώσουμε πιθανή έξοδο γήινων αερίων, έτσι ώστε να προτείνουμε τα κατάλληλα μέτρα εξαερισμού της σήραγγας.

ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΔΑΦΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τεχνική συμπεριφορά των διαφόρων πετρωμάτων καθορίζεται, σε ένα βαθμό, από την τεχνική συμπεριφορά των ορυκτών που συμμετέχουν στο σχηματισμό τους, τουλάχιστον εκείνων που επικρατούν, τόσο από την πλευρά της ποσότητας, όσο και από την πλευρά κάποιας επικρατούσας ιδιότητας. Ο όρος πάντως, "τεχνική συμπεριφορά πετρώματος", πέρα από τη διαφορά ορισμών ανάμεσα στην κλασική και την Τεχνική Γεωλογία, αναφέρεται κυρίως σε εκείνο που αποκαλείται λιθολογική φάση. Μόνο στο επίπεδο αυτό μπορούν να διατυπωθούν γενικεύσεις πάνω στην υδραυλική και μηχανική συμπεριφορά κάποιου γεωλογικού σχηματισμού.

Η συμπεριφορά των πετρωμάτων εξαρτάται από ένα σύνολο παραμέτρων, που οι κυριώτερες είναι :

- ◆ η ορυκτολογική σύσταση και ο πετρογραφικός χαρακτήρας
- ◆ η γεωμετρία του πετρώματος στο χώρο, ιδιαίτερα σε σχέση με το είδος και τις διαστάσεις του τεχνικού έργου
- ◆ ο βαθμός και το πάχος αποσάθρωσης ή εξαλλοιώσεων που έχει υποστεί
- ◆ η σχέση του με τα άλλα πετρώματα, ιδιαίτερα αν αυτή είναι τεκτονική
- ◆ η διάκριση της συμπεριφοράς ανάμεσα στο ακέραιο πέτρωμα και στη βραχομάζα που περιέχει το σύνολο ακέραιου πετρώματος και κάθε μορφής ασυνεχειών.

Παρόλες τις γενικεύσεις που διατυπώνονται στο θέμα αυτό, η εμπειρία από τη μελέτη και κατασκευή των τεχνικών έργων δείχνει ότι τέτοιας μορφής γενικεύσεις πρέπει να έχουν ενδεικτικό χαρακτήρα και μόνο συγκεκριμένες δοκιμές στο ύπαιθρο ή στο εργαστήριο μπορούν να την περιγράψουν με σχετική, πάντα, ακρίβεια. Εξάλλου ο αριθμός και το εύρος των παραμέτρων που προαναφέρθηκαν είναι ενδεικτικά ενός μεγάλου φάσματος στην τεχνική συμπεριφορά κάποιου συγκεκριμένου γεωλογικού σχηματισμού.

ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΠΥΡΙΓΕΝΗ

ΠΛΟΥΤΩΝΙΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ ΓΡΑΝΙΤΩΝ-ΓΡΑΝΟΔΙΟΡΙΤΩΝ (ΟΞΙΝΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ).

Έχουν ακανόνιστη μορφή (διεισδύσεις) και επομένως ακανόνιστη είναι και η επαφή τους με τα περιβάλλοντα πετρώματα. Η αποσάθρωση είναι συνηθισμένη στα πετρώματα αυτά, κυρίως λόγω των άστριων που μετατρέπονται σε καολίνη ή σε άλλα ορυκτά (π.χ. ασβεστίτης). Παράλληλα ο βιοτήτης αποσαθρώνεται προς άργιλο και οξειδία σιδήρου, η κροστίλβη αποσαθρώνεται δυσκολότερα, ενώ ο

μοσχοβίτης και βέβαια ο χαλαζίας είναι, πρακτικά, ορυκτά αναλλοίωτα. Γίνεται, επομένως, φανερός ο ρόλος του ποσοστού του χαλαζία στη διαμόρφωση μιας συνολικής συμπεριφοράς του πετρώματος.

Ειδικά για τους γρανίτες και τους γρανοδιορίτες η αποσάθρωση είναι βαθμιαία και κανονική από την επιφάνεια προς το βάθος. Η αρχή της αποσάθρωσης εκδηλώνεται με την απώλεια της λάμψης των αστρίων και το τελικό αποτέλεσμα είναι η πλήρης απώλεια της συνοχής και η μετατροπή του πετρώματος σε χαλαζιακή άμμο με αργιλικό υλικό (αρένα-αρενίτες). Η διάριση του βαθμού αποσάθρωσης, στην Τεχνική Γεωλογία, βασίζεται σε μια αποδεκτή κατάταξη, που μπορεί να συνοψιστεί στα εξής στάδια:

Γρανιτικό έδαφος - αρένα. Δεν διακρίνεται ίχνος ιστού του αρχικού πετρώματος. Παρουσιάζει προβλήματα σε μεγάλες θεμελιώσεις, είναι ασταθές σε πρηνή με μεγάλες κλίσεις και δεν προσφέρεται σαν υλικό επιχωμάτων.

Εντελώς αποσαθρωμένος γρανίτης. Ο ιστός διακρίνεται αμυδρά και οι άστριοι έχουν αποσαθρωθεί στο σύνολό τους. Όταν εμβάπτισθεί σε νερό διαλύεται σε σύνολο άμμου-αργίλου και δεν μπορεί να δώσει καρότα σε πυρηνοληψία. Σκάβεται με απλά μηχανικά μέσα. Δεν μπορεί να δεχτεί μεγάλα τεχνικά έργα, χωρίς σοβαρές επεμβάσεις εξυγίανσης και η συμπεριφορά του κατά την παραμονή (π.χ. πρηνή) είναι ανάλογη και μάλιστα οδηγεί σε υπερεκτιμήσεις αφού εύκολα διαβρώνεται από το νερό και τον παγετό.

Πολύ αποσαθρωμένος γρανίτης. Δεν διασκορπίζεται με εμβάπτιση σε νερό και πυρήνες διαμέτρου NX σπάνε με το χέρι. Η γενική συμπεριφορά ανάλογη.

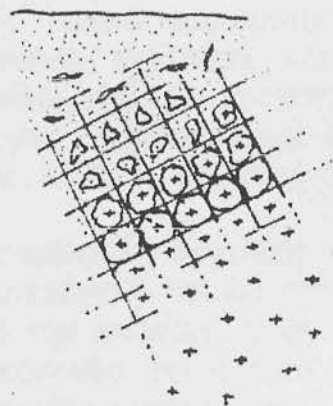
Μέτρια αποσαθρωμένος γρανίτης. Με αρκετή ακόμη αποσάθρωση, αλλά πυρήνες NX δεν σπάνε με το χέρι. Οξειδωμένος, όπως και οι προηγούμενες κατηγορίες, σε πολλές περιπτώσεις απαιτεί εκρηκτικά για εκσκαφές. Δέχεται μικρές κατασκευές από σκυρόδεμα, χωρίς μεγάλα προβλήματα.

Ελαφρά αποσαθρωμένος γρανίτης. Χαρακτηρίζεται από μερική οξειδωση και μερική αποσάθρωση των αστρίων. Οι αντοχές του είναι μεγάλες, κοντά στις αντοχές του υγιούς γρανίτη (700 kg/cm^2).

Υγιή γρανίτης. Άριστη συμπεριφοράς. Δέχεται κάθε είδους τεχνικό έργο και μπορεί να διαμορφώσει κατακόρυφα πρηνή.

Ένα χαρακτηριστικό των γρανιτικών πετρωμάτων, που συνδυάζεται με την αποσάθρωσή τους είναι η κατάτμηση τους σε τρεις προδιαγεγραμμένες επιφάνειες, περίπου ορθογώνιες μεταξύ τους, που αναφέρονται και σαν προγενετικές διακλάσεις. Οι επιφάνειες αυτές είναι καθοδηγητικές για την αποσάθρωση που θα ακολουθήσει και εντείνονται ή και περιπλέκονται από τον τεκτονισμό της βραχομάζας. Οι ίδιες αυτές επιφάνειες, πέρα από τη γενική χαλάρωση της βραχομάζας, επιτείνουν και τα φαινόμενα της αποσάθρωσης, καθώς αυξάνουν τις επιφάνειες προσβολής του πετρώματος. Έτσι δημιουργούνται γρανιτικά τεμάχια, με τελική σφαιρική μορφή, χαρακτηριστική της γρανιτικής αποσάθρωσης, μέσα στο αρενιτικό έδαφος, πριν αρενιτοποιηθούν και οι ίδιοι.

Χρησιμοποιούνται σαν δομικά και διακοσμητικά υλικά. Σε εξωτερικές χρήσεις εμφανίζουν οξειδώσεις και αποσαθρώσεις, χάνοντας την αρχική τους μορφή.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ: Φράγματα (Magnat 1 - Etrange Creuse, Μυκόνου, Toila Κορσικής, γρανίτης Ξάνθης).

ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ ΒΑΣΙΚΩΝ-ΥΠΕΡΒΑΣΙΚΩΝ ΠΛΟΥΤΩΝΙΤΩΝ

Πρόκειται για το σύνολο γάββρων και περιδοτιτών και τις παραλλαγές τους, μαζί με τους οφιόλιθους και τους διαβάσεις. Σε υγιή κατάσταση εμφανίζουν μεγάλες αντοχές και δέχονται οποιοδήποτε τεχνικό έργο. Ωστόσο η κατάσταση αυτή δεν είναι πολύ συνηθισμένη γιατί, λόγω της σκληρότητάς τους, ρωγματώνονται εύκολα, αποσυμπιέζοντας παράλληλα τις τεκτονικές ή γεωστατικές τάσεις. Η ρωγμάτωση τους φτάνει στη δημιουργία ενός σημαντικού δευτερογενούς πορώδους με υδρογεωλογικό πλέον ενδιαφέρον.

Η απουσία του ανθεκτικού χαλαζία, η παρουσία των αστρίων στους γάββρους και του ολιβίνη στους περιδοτίτες, επιτρέπει μεγάλο βαθμού αποσάθρωση. Η μετατροπή του ολιβίνη σε σερπεντίνη είναι φαινόμενο που κυριαρχεί και προκαλεί έντονη αποσάθρωση και μάλιστα με ανώμαλη γεωμετρία της επαφής υγιούς και αποσαθρωμένου πετρώματος. Η εύκολη κατάτμηση, η σαπωνώδης υφή και η ανώμαλη γεωμετρία της διαταραγμένης ζώνης κάνουν τα πετρώματα αυτά προβληματικά σε ψηλά πρηνή και σε μεγάλες θεμελιώσεις. Μόνο σε υγιή κατάσταση μπορούν να δεχτούν φράγμα από σκυρόδεμα, ενώ στην περίπτωση χωμάτινου ή λιθόρριπτου η παρουσία στεγανού διαφράγματος είναι απαραίτητη. Στις σήραγγες παρουσιάζουν διογκώσεις και χρειάζεται, συνήθως, συνεχής υποστήριξη.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ: Φράγματα (Zerbino Ιταλίας, S.Paulo Κορσικής, Αλμωπαιού), σήραγγες (Καρδίτσας Κωπαΐδας, Θίσβης υδαταγωγού Μόρνου).

ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Γενικά πρόκειται για πετρώματα μεγάλων αντοχών, πολύ καλής συμπεριφοράς σε θεμελιώσεις και καλής παραμονής σε ψηλό πρηνή. Τα βασικά πετρώματα της κατηγορίας αυτής (ρυόλιθοι, τραχείτες, ανδεσίτες, δακίτες, βασάλτες και οι παραλλαγές τους) αποσαθρώνονται σε μικρότερο βαθμό από τα αντίστοιχα πλουτώνια. Στις μελέτες και κατασκευές τεχνικών έργων παρουσιάζουν δύο σοβαρά προβλήματα, σε επίπεδο βραχομάζας, που κάνουν δύσκολη την αντιμετώπισή τους.

Το πρώτο πρόβλημα αναφέρεται στο σημαντικό δευτερογενές πορώδες που εμφανίζουν (ασυνέχειες), που έχει πρωτογενή και δευτερογενή προέλευση. Η πρώτη αφορά τις ασυνέχειες που δημιουργούνται από την απότομη ψύξη του μάγματος στην επιφάνεια και η δεύτερη στον επακόλουθο τεκτονισμό. Το δευτερογενές αυτό πορώδες μπορεί να αναπτυχθεί σε μεγάλη έκταση, βάθος και πυκνότητα. ώστε ο σχηματισμός να αποκτήσει ουσιαστικό υδρογεωλογικό ενδιαφέρον.

Το δεύτερο πρόβλημα αναφέρεται στην εντελώς ακανόνιστη γεωμετρία τους στο χώρο, σύμφωνα με τις συνθήκες έκχυσης της λάβας στην επιφάνεια. Ιδιαίτερα επικίνδυνη, κυρίως για φράγματα και σήραγγες, είναι η περίπτωση που οι λάβες

καλύπτουν παλαιοσχηματισμούς μικρής αντοχής και μεγάλης περατότητας, όπως παλιές κοίτες, αλουβιακά καλύμματα, παλιούς κώνους κορημάτων ή γενικά κορήματα κλιτύων κ.λ.π.

Στα παραπάνω θα πρέπει να προστεθεί και το συνηθισμένο φαινόμενο των εναλλαγών με υλικά πολυ κακής συμπεριφοράς όπως τόφφοι, τέφρες κ.λ.π. Αυτό, πέρα από την έντονη διαφορική συμπεριφορά, προσδίδει στα εδαφικά υλικά θιξοτροπικές ιδιότητες (μοντμοριλλονίτης), με όλες τις δυσάρεστες συνέπειες.

Τα χαλαρά ηφιστειακά υλικά χρησιμοποιούνται σαν ποζολάνες για μερική αντικατάσταση του τσιμέντου στο σκυρόδεμα. Αντίθετα, οι όξινες λάβες (έντονη παρουσία SiO_2) είναι ακατάλληλες για αδρανή σκυροδέματος, τουλάχιστον για τους συνηθισμένους τύπους τσιμέντων. Οι τόφφοι συχνά υφίστανται κάποιας μορφής διαγένεση και συμπεριφέρονται ανάλογα με τις ασυνέχειές τους.

Ο μοντμοριλλονίτης, σαν προϊόν εξαλλοίωσης των τόφφων, κύριο συστατικό του μπεντονίτη εμφανίζει τη χειρότερη συμπεριφορά από όλα τα αργιλικά υλικά, λόγω της θιξοτροπίας και της επακόλουθης διόγκωσης και υποβιβασμού των μηχανικών του ιδιοτήτων με παρουσία νερού. Η συμπεριφορά αυτή αφορά όλα τα τεχνικά έργα και τα φυσικά πρανή. Έχει πάντως μεγάλη εφαρμογή, με τη μορφή του μπτεονίτη, σαν γεωτρητικός πολτός, παρά τη μερική υποκατάστασή του από συνθετικά υλικά.

Η κίσηρης, αφρώδης ηφαιστειακή ύαλος, λόγω του μικρού φαινομένου βάρους, χρησιμοποιείται σαν υλικό θερμομόνωσης και ηχομόνωσης. Ο περλίτης, ηφαιστειακή ύαλος και παραλλαγή του ρυόλιθου, έχει ανάλογες εφαρμογές, λόγω της ιδιότητάς του να διογκώνεται σε λευκό αφρό με πύρωση σε 1.000°C . Η θηραϊκή γή της γνωστής εκρηξιγενούς προέλευσης, αποτελείται από κίσηρη, με κρυστάλλους αστρίων, πυρόξενων και άλλων πυριτικών ορυκτών και χρησιμοποιείται σαν υδραυλικό κονίαμα με την άσβεστο.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ: Φράγματα (Αψάλου, Αλμωπαίου, Teton Η.Π.Α.), Μήλος, Σαντορίνη.

ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Γενικά το βασικό τους χαρακτηριστικό είναι η μεταμόρφωση που προκαλεί μια γραμμική διάταξη των ορυκτών δημιουργώντας ένα ζωνώδη ή σχιστοφυή ιστό ή μια διαφοροποιημένη ορυκτολογική σύσταση. Η διάταξη των ορυκτών προκαλεί μια λιγότερο ή περισσότερο έντονη ανισοτροπία, παράλληλα με τη γραμμική διάταξη ή κάθετα σ' αυτή. Η ανισοτροπία αφορά τόσο τη μηχανική, όσο και την υδραυλική συμπεριφορά των πετρωμάτων αυτών. Το φαινόμενο απουσιάζει από ορισμένους τύπους, όπως είναι τα μάρμαρα, οι χαλαζίτες κ.λ.π.



Τα επίπεδα που σχηματίζονται με την παράλληλη διάταξη των ορυκτών αντιπροσωπεύουν επίπεδα αδυναμίας, ιδιαίτερα αν σ' αυτά συγκεντρώνονται ορυκτά μειωμένης αντοχής (μαρμαρυγίες, χλωρίτες, κ' τ.) ή αν η αποσάθρωση ευνοείται κατά μήκος των επιπέδων αυτών.

ΓΝΕΥΣΙΟΙ - ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΕΣ

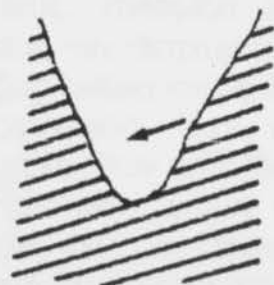
Με ιστό ζωνώδη, αλλά όχι σχιστοφυή έχουν πολύ καλή συμπεριφορά, ανάλογη με εκείνη των γρανιτών. Η ανισοτροπία όμως παραμένει και επιτείνεται στην περίπτωση έντονα ζωνώδους ιστού), που πλησιάζει τη σχιστότητα των σχιστόλιθων. Η αποσάθρωση των γνεύσιων είναι σχετικά ατελής, συγκρινόμενη με εκείνη των γρανιτών. Στην περίπτωση των γνεύσιων, πολλές φορές υγιή τεμάχια παραμένουν μέσα σε αποσαθρωμένες ζώνες, δημιουργώντας ψευδείς εντυπώσεις σχετικά με τη γεωμετρία του bedrock θεμελίωσης.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ: Φράγματα (Κόσσουνθου Ξάνθης, Malpasset Γαλλίας, Fork Dam Καλιφόρνιας).

ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ

Εμφανίζουν έντονη μηχανική και υδραυλική ανισοτροπία λόγω της σχιστότητας. Η αντοχή τους σε διάτμηση καθορίζεται, σε μεγάλο βαθμό, από το είδος του σιδηρομαγνησιούχου ορυκτού που διατάσσεται κατά τα επίπεδα σχιστότητας. Ο ταλκικός σχιστόλιθος με σαπωνώδεις και λιπαρές επιφάνειες είναι ασταθής και προσβάλλεται εύκολα από τους παράγοντες αποσάθρωσης. Οι φυλλίτες λόγω ατελούς μεταμόρφωσης του αρχικού αργιλικού τους ορυκτού και με σερική στις επιφάνειες σχιστότητας, χαλαρώνουν εύκολα και διογκώνονται με δυσμενείς επιπτώσεις σε πρηνή, σήραγγες και, γενικά, υπόγειες εκσκαφές. Οι μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι έχουν την καλύτερη συμπεριφορά και μπορούν να δεχτούν μεγάλα φορτία, όταν η συνοχή και η τριβή κατά μήκος των επιφανειών σχιστότητας έχουν μεγάλες τιμές. Και εδώ όμως η ευστάθεια σε πρηνή συνδέεται με τον προσανατολισμό της σχιστότητας ως προς τη διεύθυνση κλίσης του πρηνούς.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ: Αθηναϊκός σχιστόλιθος, γέφυρα Washington-N.Υόρκης, Πήλιο.



ΜΑΡΜΑΡΑ

Είναι μεγάλων αντοχών πετρώματα, κατάλληλα για όλους τους τύπους των τεχνικών έργων. Ρωγμές και σχετική μόνο αποσάθρωση εντοπίζονται στην επιφάνεια. Οι ιδιότητές τους ποικίλλουν μέσα σε κάποιο φάσμα τιμών, πάντα όμως μέσα στα πλαίσια της πολύ καλής συμπεριφοράς (γνήσια μάρμαρα). Έχουν ευρεία εφαρμογή σε επενδύσεις, δάπεδα και σαν υλικό γλυπτικής. Ακόμη και πολύ μικρές ρωγμές είναι ανεπιθύμητες, καθώς οξειδώνονται και ευνοούν την αποσάθρωση σε βάθος. Προσβάλλονται από τα οξειδία του θείου και την υγρασία της ατμόσφαιρας, μετασχηματίζονται σε γύψο και αποφλοιώνονται (γυψοποίηση μαρμάρων). Εμφανίζουν καρστικοποίηση, ανάλογη με εκείνη των ασβεστόλιθων, που ενδιαφέρει από πλευράς Υδρογεωλογίας δημιουργεί όμως προβλήματα σε φράγματα και σήραγγες, ακόμη και σε θεμελιώσεις όταν το κάρστ βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια. Στα πρηνή μπορεί να εμφανιστούν καταπτώσεις, μικρής

γενικά κλίμακας, αφού οι επιφανειακές ρωγμές, στο σύνολό τους, δεν προχωρούν σε μεγάλο βάθος.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ: Φράγμα Μαραθώνα, περιφερειακή οδός Καβάλας.

ΧΑΛΑΖΙΤΕΣ

Είναι τα πετρώματα με τη μεγαλύτερη αντοχή, που σε ανεμπόδιστη θλίψη ξεπερνά και τα 1.400 kg/cm^2 και που σπάνια πέφτει κάτω από τα 700. Για το λόγο αυτό δημιουργούν εύκολα ρωγμές στην επιφάνεια, από τις τεκτονικές δράσεις. Λόγω της μεγάλης σκληρότητας αυξάνονται οι δυσκολίες, αλλά και το κόστος, διάνοιξης σηράγγων και ανόρυξης γεωτρήσεων. Η αποσάθρωσή τους είναι πρακτικά μηδενική και η συμπεριφορά τους σε πρηνή ελέγχεται αποκλειστικά από τη γεωμετρία των ασυνεχειών.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ: Φράγμα Avene Γαλλίας.

ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

ΓΕΝΙΚΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ

Βασικό τους χαρακτηριστικό είναι η ανάπτυξή τους στο χώρο κατά στρώματα, κάτι που, σε συνδυασμό με τις επιμέρους ιδιότητες τους, καθορίζει την συμπεριφορά τους στα πρηνή και στα τεχνικά έργα. Οι στρώσεις των πετρωμάτων αυτών αντιπροσωπεύουν επιφάνειες αδυναμίας της βραχομάζας, ακόμα και αν στο επίπεδο της στρώσης δεν υπάρχει ορατή λιθολογική ασυνέχεια. Όσο πιο λεπτοπλακώδης είναι ο σχηματισμός, τόσο αυξάνεται και ο ρόλος των επιπέδων στρώσης, με εξαίρεση (την οριακή) την περίπτωση πολύ λεπτοπλακωδών και πολυπτυχωμένων σχηματισμών, με πλήθος άλλων ασυνεχειών, όπου τα επίπεδα στρώσης εξομοιώνονται, στη γενική διασπορά των ασυνεχειών. Η εμφάνιση των στρώσεων, που έρχονται να προστεθούν στις κάθε μορφής και προέλευσης ασυνέχειες ή επιφάνειες αδυναμίας της βραχομάζας, κάνουν περίπλοκη την ανάλογη γεωμετρία και περιπλέκουν το πρόβλημα της υδραυλικής και μηχανικής συμπεριφοράς των πετρωμάτων αυτών. Σε πολλές περιπτώσεις η θεώρηση των ιδιοτήτων του ακέραίου πετρώματος υποχωρεί θεαματικά μπροστά στην ανάγκη θεώρησης των ιδιοτήτων του συνόλου της βραχομάζας (ακέραιο πέτρωμα και ασυνέχειες). Μία άλλη επίπτωση της εμφάνισης των επιπέδων στρώσης είναι η σημαντική υδραυλική και μηχανική ανισοτροπία που εμφανίζουν τα πετρώματα. Έτσι, όπως και στα ανισότροπα μεταμορφωμένα, στα τεχνικά έργα αποκτά ιδιαίτερη σημασία η διεύθυνση των τάσεων του έργου, σε σχέση με τη διεύθυνση των στρωμάτων.

Πολλά ιζηματογενή πετρώματα, κυρίως κλαστικά ιζήματα, λόγω της φύσης δεν παρουσιάζουν θραύση ψαθυρή αλλά πλαστική (αργιλικές μάργες, αργιλικόι σχιστόλιθοι, ιλυόλιθοι, κ.λ.π.). Σ' αυτά οι ρωγμές κλείνουν σε κάποιο βάθος, λόγω "επούλωσης" από την πλαστικότητα των υλικών.

Οι αλλοιώσεις των ιζηματογενών πετρωμάτων έχουν ποικίλες μορφές και οι κυριότερες είναι οι παρακάτω:

Διάλυση. Αντιπροσωπεύει αφαίρεση συνδετικού υλικού και χαλάρωση του πετρώματος (κλαστικά ιζήματα), αλλά και διάλυση της κύριας μάζας (ασβεστόλιθοι, δολομίτες, γύψος).

Ενυδάτωση. Η πρόσληψη του νερού γίνεται είτε με τις ζώνες ρόφησης των αργιλικών συστατικών, είτε με αλλαγή της ορυκτολογικής σύστασης. Συνήθως συνοδεύεται από φαινόμενα διογκώσεων.

Γενική χαλάρωση. Φαινόμενο στο οποίο δεν είναι υποχρεωτικό να εμφανίζονται τα προηγούμενα φαινόμενα και για το οποίο ευθύνονται οι κλιματικές συνθήκες στην επιφάνεια της γής. Τέτοιες είναι οι μεταβολές της θερμοκρασίας και της υγρασίας, ο παγετός, οι ρίζες των φυτών, οι αποσυμπίεσεις των πρηνών, αλλά και οι ανθρώπινες παρεμβάσεις. Τα πετρώματα οδηγούνται προοδευτικά προς την κατάσταση του εδάφους.

ΓΥΨΟΣ

Το κύριο πρόβλημα, που καθορίζει ουσιαστικά και την τεχνική συμπεριφορά της γύψου (ένυδρο θειικό ασβέστιο), είναι η διάλυση που υφίσταται στην επαφή της με νερό. Το γεγονός αυτό προκαλεί καθιζήσεις και κατολισθήσεις, με ή χωρίς πρόσθετες φορτίσεις. Εννοείται ότι το φαινόμενο της διάλυσης προϋποθέτει, κίνηση του νερού, με το οποίο η γύψος έρχεται σε επαφή. Ακόμη και αν εντοπιστεί η γύψος, στο χώρο επιρροής ενός τεχνικού έργου, δεν είναι εύκολη η αντιμετώπιση της, λόγω της ανώμαλης γεωμετρίας που παρουσιάζει, είτε αυτή συναντάται, σε διαπειρική μορφή, είτε με μορφή στρωμάτων. Τα νερά που έχουν περάσει από γύψους είναι, επιβαρυνμένα σε SO_4^{2-} , με ανάλογες επιπτώσεις σε υδρεύσεις, αρδεύσεις, βιομηχανικές χρήσεις και στην κατασκευή των έργων π.χ. σκυρόδεμα.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ: Αρδευτικά δίκτυα κάτω Αχελώου, υδροφορίες Δ.Ελλάδας και Κέρκυρας, φράγματα (Γαδουρά Ρόδου, Μεσόγγη Κέρκυρας, St. Francis Η.Π.Α.).

ΑΝΥΔΡΙΤΗΣ

Είναι το αντίστοιχο άνυδρο θειικό ασβέστιο, που με την προσθήκη νερού μετατρέπεται σε γύψο. Αυτό ακριβώς το κάνει πολύ επικίνδυνο για τα τεχνικά έργα, γιατί αποκτά όλες τις ιδιότητες της γύψου π.χ. διάλυση. Το πιο σοβαρό όμως είναι ότι, η μετατροπή αυτή γίνεται πολύ γρήγορα, μέσα στο χρόνο κατασκευής του έργου και επιπλέον συνοδεύεται από έντονα φαινόμενα διόγκωσης, που προκαλούν, με τη σειρά τους, σημαντικές παραμορφώσεις στους γεωλογικούς σχηματισμούς και στα τεχνικά έργα.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ: Σήραγγες Άλπεων.

ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ – ΔΟΛΟΜΙΤΕΣ

Σε επίπεδο ακέραιου πετρώματος είναι σχηματισμοί καλής ή μεγάλης αντοχής, χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα για τις θεμελιώσεις. Η τελική τους συμπεριφορά σ'

αυτές, όπως και σε πρηνή ή σήραγγες, εξαρτάται από τη γεωμετρία των ασυνεχειών σε σχέση με το σχεδιασμό του έργου. Ο βασικός τους χαρακτήρας, σε μεγάλη κλίμακα, είναι ασφαλώς η καρστικοποίηση και συγκεκριμένα η μορφή, ο βαθμός και η έκτασή τους. Οι επιπτώσεις της είναι σοβαρές σε χώρους θεμελίωσης (καθιζήσεις), φραγμάτων (καθιζήσεις, διαφυγές) και σηράγγων (καταπτώσεις, είσοδοι νερού). Σε επίπεδο πάλι, αμέριου πετρώματος, οι ιδιότητές τους είναι συνάρτηση του ποσοστού σε CaCO_3 , της υφής, της κρυσταλλικότητας και των άλλων ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν το ίζημα.

Οι δολομίτες καρστικοποιούνται λιγότερο και χαρακτηρίζονται από την εμφάνιση της δολομιτικής άμμου, από αδιάλυτο MgCO_3 , που συσσωρεύεται μέσα στα καρστικά έγκοιλα.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ: Φράγματα (Περδίκια, Μόρνου, Μέγδοβα, Monteynard-Sautet Γαλλίας), σήραγγες (Γκιώνας, Μοναστηρίου, κ.λ.π., υδαταγωγού Μόρνου) κατολίσθηση Παναγοπούλας.

ΜΑΡΓΕΣ

Είναι αργιλοασβεστιτικά ιζήματα και η συμπεριφορά τους ελέγχεται, κυρίως από το στοιχείο που επικρατεί στο συνδετικό τους υλικό (αργιλικό, ασβεστιτικό). Αυξημένη παρουσία ασβεστιτικού υλικού οδηγεί σε μορφές ασβεστολιθικής μάργας και μαργαϊκού ασβεστόλιθου, ενώ αντίστοιχη αύξηση του αργιλικού στοιχείου οδηγεί σε συνεκτικές αργίλους ή αργιλικούς σχιστόλιθους (από πλευράς συμπεριφοράς). Η συνηθισμένη μορφή, με ισομερή κατανομή των δύο στοιχείων, χαρακτηρίζεται από μικρές αντοχές, ευκολία αποσάθρωσης, αστάθεια στα πρηνή και συχνές παρεμβολές φακών ή οριζόντων με αδρομερή υλικά. Σαν σύνολο είναι αδιαπέρατος σχηματισμός, δέχεται μόνο εύκαμπτους τύπους φραγμάτων και, στις σήραγγες απαιτεί συνεχή υποστήριξη.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ: Κατολισθήσεις Β. και ΒΔ.Πελοποννήσου, αρδευτικά φράγματα Χίου.

ΚΡΟΚΑΛΟΙΙΑΓΗ - ΛΑΤΥΙΟΙΙΑΓΗ - ΨΑΜΜΙΤΕΣ

Όταν είναι συμπαγή έχουν τη γενική συμπεριφορά της βραχομάζας, με πολύ καλή συμπεριφορά σε θεμελιώσεις και σε πρηνή. Οι ρωγμές, που αφορούν γενικά το συνδετικό υλικό, δίνουν τη λεπτομέρεια στη συμπεριφορά αυτή. Όταν είναι χαλαρό εμφανίζουν μια συμπεριφορά ανάλογη εκείνης των μαργών, όπου το συνδετικό υλικό είναι πια καθοριστικό. Αυτό μπορεί να είναι πυριτικό, ασβεστιτικό ή αργιλικό ή ακόμη διαφορετικό σε οριακές περιπτώσεις π.χ. γυψούχο. Τότε υπόκειται στις ίδιες αλλοιώσεις με τις μάργες. Ευαίσθητο, πάντως, συνδετικό υλικό επηρεάζει και τη συμπεριφορά των συμπαγών μορφών των πετρωμάτων αυτών. Σε μικρά έργα τα πετρώματα αυτά αντιμετωπίζονται μεμονωμένα, σε μεγάλα όμως έργα απαιτείται συνολική αντιμετώπιση, καθώς αυτά (και άλλα) εμφανίζονται σε εναλλαγές.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ: Κατολισθήσεις Β. και ΒΔ.Πελοποννήσου, φράγματα (αρδευτικά Χίου, St. Francis Η.Π.Α., Κρεμαστών).

ΙΛΥΟΛΙΘΟΙ

Η συμπεριφορά τους κυμαίνεται, ανάμεσα σ' εκείνη του ψαμμίτη και σ' εκείνη του αργιλικού σχιστόλιθου, ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους και το ποσοστό παρουσίας αργιλικού υλικού. Είναι αδιαπέρατος σχηματισμός, μικρών αντοχών, με ρωγμές μικρού βάθους. Προβληματικός στην περίπτωση σηράγγων και πρηνών με μεγάλο ύψος ή κλίση. Συνήθως εμφανίζεται σε εναλλαγές με άλλα ιζήματα και απαιτείται θεώρηση της συμπεριφοράς του συνόλου.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ: αρδευτικά φράγματα Χίου, οδός Αμφιλοχίας-Καρπενησίου.

ΑΡΓΙΛΙΚΟΙ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ

Τελικό προϊόν της διαγενετικής διαδικασίας "άργιλος-σχιστή άργιλος-αργιλικός σχιστόλιθος". Έχουν πτωχό μηχανικό χαρακτηριστικά και επιδέχονται μεγάλες παραμορφώσεις, καθώς η συμπεριφορά τους εξαρτάται από το είδος και τις μηχανικές ιδιότητες των αργιλικών τους ορυκτών. Έχουν τα ανάλογα προβλήματα σε θεμελιώσεις, πρηνή και σήραγγες.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ: Φράγμα Γαδουρά, Μετρό Αθηνών, Ανισόπεδοι Κόμβοι Αθηνών.

ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ

Οι ραδιοαρίτες είναι πολύ εύθιπτοι σχηματισμοί και η συμπεριφορά τους ελέγχεται από τα πετρώματα με τα οποία συνυπάρχουν. Οι λιγνίτες έχουν μια συμπεριφορά κακών εδαφών, με εξαίρεση τις συμπαγείς μορφές τους. Ακόμη χειρότερη συμπεριφορά εμφανίζει η τύρφη που χαρακτηρίζεται από πολύ μικρή αντοχή και πολύ μεγάλη συμπίεστικότητα. Δεν δέχεται μεγάλες θεμελιώσεις, χωρίς τη χρήση πασσάλων ή ειδικού τύπου συστημάτων π.χ. πλέουσες θεμελιώσεις.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ: Εγκαταστάσεις Δ.Ε.Η. Μεγαλόπολης, έργα στη λεκάνη Φιλίππων.

ΦΛΥΣΧΗΣ

Αν για την κλασική Γεωλογία ο φλύσχης δεν αποτελεί πέτρωμα, αυτό συμβαίνει πολύ περισσότερο στην Τεχνική Γεωλογία, όπου ενδιαφέρει η συμπεριφορά κάθε λιθολογικής φάσης χωριστά. Είναι χαρακτηριστικό ότι ο όρος "φλύσχης" έχει σχεδόν εξαφανιστεί από τους Γεωτεχνικούς Χάρτες, τουλάχιστον αυτούς που συντάσσονται με απαιτήσεις. Σαν γενικά χαρακτηριστικά, χωρίς να επαρκούν για κάποιο έργο, μπορούν να αναφερθούν η στεγανότητα του συνόλου και τα έντονα προβλήματα σε πρηνή και σήραγγες.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ: Φράγματα (Γαδουρά, Κρεμαστών, Καστρακίου, Μόρνου) σήραγγες υδαταγωγού Μόρνου, οδοποιία Δ. Ελλάδας.

ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

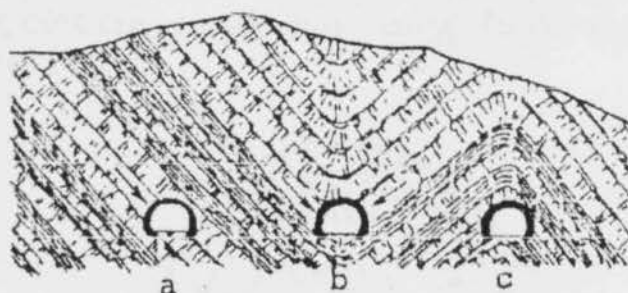
Τα σπουδαιότερα στοιχεία για τη γνώση της γεωλογικής δομής της βραχομάζας είναι οι καλοί γεωλογικοί χάρτες και η λεπτομερής έρευνα του εδάφους. Αν η περιοχή αυτή δεν έχει χαρτογραφηθεί τουλάχιστον σε κλίμακα 1:25.000, πρέπει αμέσως να χαρτογραφηθεί ένα τμήμα κατά την προκαταρκτική έρευνα, κατά μήκος της προβλεπόμενης χάραξης της σήραγγας. Στην περίπτωση αυτή δεν αρκεί η χαρτογράφηση μιας μόνο μικρής περιοχής κατά μήκος του άξονα της σήραγγας, αλλά η χαρτογράφηση μιας ευρύτερης περιοχής, για να μπορέσουμε έτσι να κατανοήσουμε σωστά τη γεωλογική κατασκευή του εδάφους στην περιοχή. Για σήραγγες που προβλέπονται να κατασκευαστούν βαθειά κάτω από τη βραχομάζα, πρέπει να χαρτογραφηθεί ολόκληρη η υδρογεωλογική λεκάνη απορροής της σχεδιασμένης σήραγγας.

Η παρουσία ενιαίου πετρώματος απλουστεύει, επιταχύνει και συμφέρει την προώθηση των εργασιών ολόκληρης της κατασκευής. Αν στην περιοχή της σήραγγας η δομή που παρουσιάζει η βραχομάζα είναι απαλλαγμένη από χαρακτηριστικές επιφάνειες στρώσης, τότε η δομή αυτή χαρακτηρίζεται ως ευνοϊκή, σε αντίθεση με την δομή της βραχομάζας που παρουσιάζει εναλλαγές στρώσης ή και στρωματικές εναλλαγές. Στρώση και σχιστότητα είναι τόσο περισσότερο δυσμενείς για την κατασκευή μιας στοάς, όσο πιο χαρακτηριστικές και όσο πιο πυκνές είναι. Επιπλέον η συμπεριφορά τους εξαρτάται και από τις συνθήκες απόθεσης. Παχειά οριζόντια απόθεση στερεών πετρωμάτων ευνοεί γενικά την κατασκευή μικρών στοών. Τα στρωματικά πετρώματα και οι κρυσταλλικοί σχιστόλιθοι παρουσιάζουν ήδη μια τάση αποχωρισμού. Η τάση αυτή αυξάνεται όταν αυτά παρουσιάζονται οριζόντια. Μικρές αποκλίσεις από την οριζόντια απόθεση μέχρι 5 έως 10° δεν εξετάζονται ξεχωριστά κατά κανόνα σε κατασκευές στοών, αλλά μόνο τότε, όταν μέσα στο κύριο πέτρωμα ανακατεύονται και διάφορες επιφάνειες ολισθήσεων. Αν η γωνία κλίσης των στρωμάτων είναι περίπου 70-75°, τότε μπορεί να θεωρηθεί αυτή η απόθεση ως κάθετη στα διάφορα σημεία της σήραγγας. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να εξετάσουμε και την παράταξη των στρωμάτων.

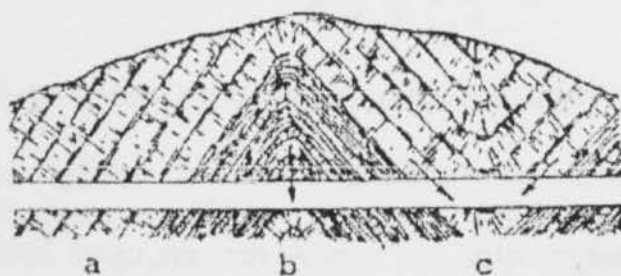
Ως δυσμενής χαρακτηρίζεται η διάνοιξη της σήραγγας παράλληλα προς την παράταξη του πετρώματος, ενώ ως η πλέον ευνοϊκή χάραξη της σήραγγας παρουσιάζεται, όταν ο άξονας της σήραγγας κινείται κάθετα στην παράταξη των στρωμάτων. Στην περίπτωση που παρουσιάζονται ομαλές κλίσεις των στρωμάτων σχηματίζονται συχνά ασταθείς οροφές.

Αν οι κλίσεις των στρωμάτων, σε στοές παράλληλες προς την παράταξη αυτών, αποκλίνουν πολύ από τις 90°, τότε η οροφή σχηματίζεται κατά κανόνα σύμφωνα με την κλίση των στρωμάτων χωρίς να μπορούν να εμποδίσουν τα σπασίματα στην οροφή αλλά μόνο να μετατοπιστούν τοπικά. Σε αργιλώδεις στοές τέτοιες κλίσεις των στρωμάτων μπορούν να οδηγήσουν σε κατολισθήσεις μέσα στις στοές.

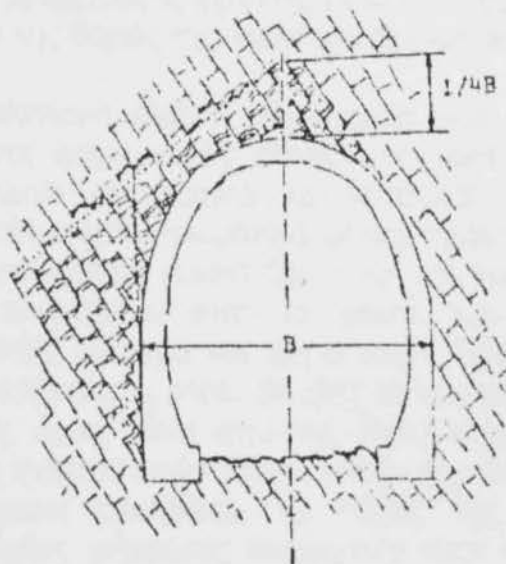
Με την πτύχωση των στρωμάτων προκαλείται μια συμπίεση στον πυρήνα και ένα τέντωμα στις πλευρές του αντίκλινου της πτυχής. Και οι δυο μορφές καταπόνησης βλάπτουν τη βραχομάζα τόσο περισσότερο, όσο ισχυρότερα δρούσε



Σήραγγες σε πτυχωμένα στρώματα παράλληλα στην παράταξη.



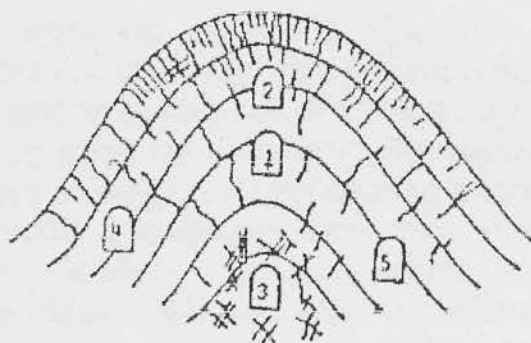
Σήραγγα σε πτυχωμένα στρώματα κάθετα στην παράταξη.



Χαλάρωση του πετρώματος κατά τη διάρκεια της διάνοιξης της σήραγγας κατά τη διεύθυνση των στρωμάτων.

η πλευρική πίεση των στρωμάτων και όσο περισσότερο κάθετα δρούσε ως προς το κέντρο του αντίκλινου. Μία στοιά που ανοίγεται στη θέση 3 του σχήματος, θα πρέπει να συναντά περισσότερο ή λιγότερο διαταραγμένη βραχομάζα και ανάλογα με τις συνθήκες και μυλωνίτη και ως εκ τούτου θα πρέπει να δέχεται ισχυρή πίεση της βραχομάζας. Η θέση 2 συναντά προσροές νερού από το αποσαθρωμένο πέτρωμα και έχει να παλέψει με ένα μεταγενέστερο θραυσμό των εκτεινόμενων

όγκων. Ευνοϊκότερη είναι η θέση 1, η οποία κατά τη διάρκεια της πτύχωσης δε δέχτηκε επιδράσεις ούτε εφελκυσμού ούτε πίεσης. Το ίδιο ισχύει και για τις θέσεις 4 και 5 στο μέσο του σκέλους.



Διάφορες θέσεις των στοών (1-5) στην περιοχή ενός αντίκλινου.

Οι ίδιες σκέψεις ισχύουν και όταν παρουσιάζονται σύγκλινα. Αν ο άξονας της στοάς είναι παράλληλος στον άξονα της πτυχής, τότε η στοά τοποθετείται είτε στην πιεζομετρική περιοχή (πυρήνας σύγκλινου), είτε στην περιοχή έκτασης ή κανονικά στα ανενόχλητα ακόμη από πρόσθετες καταπονήσεις τμήματα της βραχομάζας.

Εκτός από τις πτυχωμένες δομές, μεγάλη σημασία για την κατασκευή στοών και σηράγγων έχει η παρουσία στην περιοχή ρηγμογενών ζωνών και μεταπτώσεων. Η παραμόρφωση της βραχομάζας εξαιτίας ενός θραυσμού της δυσκολεύει όχι μόνο απλώς την ερμηνεία της δομής της, αλλά και την κατασκευή της σήραγγας σε μικρό ή μεγάλο βαθμό.

Η πιο απλή περίπτωση είναι η περίπτωση μιας ρηγματωμένης βραχομάζας, όπου οι μεμονωμένες ρηγμογενείς επιφάνειες ολισθαίνουν η μία μετά την άλλη χωρίς να καταπονούν ουσιαστικά τα γειτονικά πετρώματα. Τέτοιες απλές μεταπτώσεις απαιτούν συμπληρωματικά μέτρα προστασίας για ένα μικρό κομμάτι της στοάς και ως εκ τούτου γενικά δεν είναι και τόσο σημαντικές. Η κινούμενη επιφάνεια συχνά επιχρείται από τα υλικά των κατατμήσεων σε μερικές περιπτώσεις σχηματίζει άνοιγμα και φέρει νερό. Εξαιτίας αυτής της κατάστασης σπάνια έχουν προκαλέσει στις στοές βλάβες τέτοιες μεγάλες χαίνουσες επιφάνειες. Τέτοιες περιπτώσεις όμως είναι σπάνιες. Κατά κανόνα τα φαινόμενα αυτά της κίνησης επιφανειών σχιστοποιούν το παρακείμενο πέτρωμα και θρυμματίζουν λίγο ή πολύ την κινούμενη επιφάνεια. Το πάχος της διαταραγμένης ζώνης στο περιβάλλον του κυρίως ρήγματος κυμαίνεται τότε από μερικά εκατοστά μέχρι εκατοντάδες μέτρα. Ο βαθμός της διατάραξης του πετρώματος εξαιτίας αυτών των κινήσεων είναι βέβαια διαφορετικός, ανάλογα με τη συμπεριφορά του πετρώματος και το μέγεθος και τη μορφή των δυνάμεων που δρουν. Εύθρυπτα πετρώματα, όπως π.χ. δολομίτες, χαλαζιακοί σχιστόλιθοι και χαλαζίες παραμορφώνονται ιδιαίτερα εύκολα και θραύονται αρκετά. Στο εσωτερικό τους γεμίζουν με καθαρή άμμο και χαλίκια της ζώνης διατάραξης.

Σε περιοχές όπου παρουσιάζονται συχνά κατολισθητικές κινήσεις, οι οποίες πορεύονται παράλληλα προς τη διεύθυνση των στρωμάτων και έχουν μικρή 10 έως 15° απόκλιση από τη γωνία κλίσης των στρωμάτων, τότε θα πρέπει οπωσδήποτε να αποφύγουμε να τοποθετήσουμε τον άξονα της στοάς παράλληλα στην παράταξη των στρωμάτων.

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ευστάθεια μιας υπόγειας εκσκαφής εξαρτάται από δύο βασικούς παράγοντες: από την ίδια την κατάσταση της βραχομάζας από πλευράς υλικού, ρηγμάτωσης κ.λ.π. και από τη σχέση των αναπτυσσόμενων στο βράχο τάσεων εξαιτίας της εκσκαφής ως προς την αντοχή της βραχομάζας. Για το λόγο αυτό, οι αβαθείς π.χ. εκσκαφές (οδικές ή σιδηροδρομικές σήραγγες, αβαθή ορυχεία) εξαρτώνται από πλευράς ευστάθειας από την κατάσταση κυρίως της βραχομάζας, ενώ στις βαθιές εκσκαφές όπου η αποσάθρωση των πετρωμάτων δεν παίζει πλέον σημαντικό ρόλο, εξετάζεται κυρίως η αντοχή της βραχομάζας ως προς το πεδίο τάσεων, το οποίο δημιουργείται γύρω από την εκσκαφή.

Για να γίνει δυνατή η εφαρμογή των στοιχείων που έχει στη διάθεσή του ο μηχανικός όσον αφορά στις τάσεις που προκαλούνται στη βραχομάζα γύρω από μία υπόγεια εκσκαφή, είναι προφανώς απαραίτητο να ευρεθεί και να διατυπωθεί ένα ευρέως αποδεκτό κριτήριο αστοχίας της βραχομάζας, το οποίο θα μπορεί να προβλέπει την εν γένει συμπεριφορά του πετρώματος υπό δεδομένο πεδίο τάσεων.

Η δυσκολία στην εύρεση ενός γενικού κριτηρίου αστοχίας για τα διάφορα πετρώματα έγκειται στο γεγονός ότι αυτά συναντώνται σε διάφορες καταστάσεις όσον αφορά στις ασυνέχειες που εμφανίζουν το βαθμό αποσαθρώσεως του κ.λ.π. Στο σχήμα 1 φαίνεται ότι η ίδια η βραχομάζα, ανάλογα με την κλίμακα που επιλέγει ο μηχανικός για να τη μελετήσει, παρουσιάζει διαφορετική συμπεριφορά, από το συμπαγή βράχο χωρίς ασυνέχειες (μικρή κλίμακα) έως τον έντονα ρηγματωμένο και αποσαθρωμένο βράχο (μεγάλη κλίμακα μελέτης).

Ο σχεδιασμός του υπόγειου έργου εξαρτάται από την εικόνα την οποία παρουσιάζει η βραχομάζα σε όλο το εύρος των εργασιών που μπορεί αυτή να μελετηθεί. Π.χ. στην διαδικασία διατήσεως με μηχανήμα ή εκρηκτικά, η σταθερότητα της σήραγγας εξαρτάται κυρίως από την αντοχή του άθικτου βράχου. Η ευστάθεια του πετρώματος στη περιοχή γύρω από το υπόγειο άνοιγμα και η συμπεριφορά των ηλώσεων υποστηρίξεως της βραχομάζας σχετίζεται με την ύπαρξη των ασυνεχειών στο πέτρωμα αλλά και τη ρηγμάτωση που προκαλείται από τη χρήση των εκρηκτικών. Τέλος η συνολική ευστάθεια του ανοίγματος ή ενός συστήματος ανοιγμάτων εξαρτάται από την κατάσταση του πετρώματος στη φυσική κλίμακα. Είναι λοιπόν δυνατόν το πέτρωμα να παρουσιάσει πολύ υψηλή αντοχή σε κλίμακα εργαστηριακού δοκιμίου, ενώ στη φυσική του θέση και σε κλίμακα βραχομάζας, να είναι τόσο ρηγματωμένο, ώστε να έχει πρακτικά ασήμαντη αντοχή. Αν στο γεγονός αυτό προστεθεί και η σημασία του προσανατολισμού των τάσεων ως προς τις ασυνέχειες για την τελική εκτίμηση της ευστάθειας του πετρώματος, γίνεται εμφανές πόσο δύσκολη υπόθεση είναι η εύρεση ενός καθολικού και αξιόπιστου κριτηρίου αστοχίας για τη βραχομάζα.

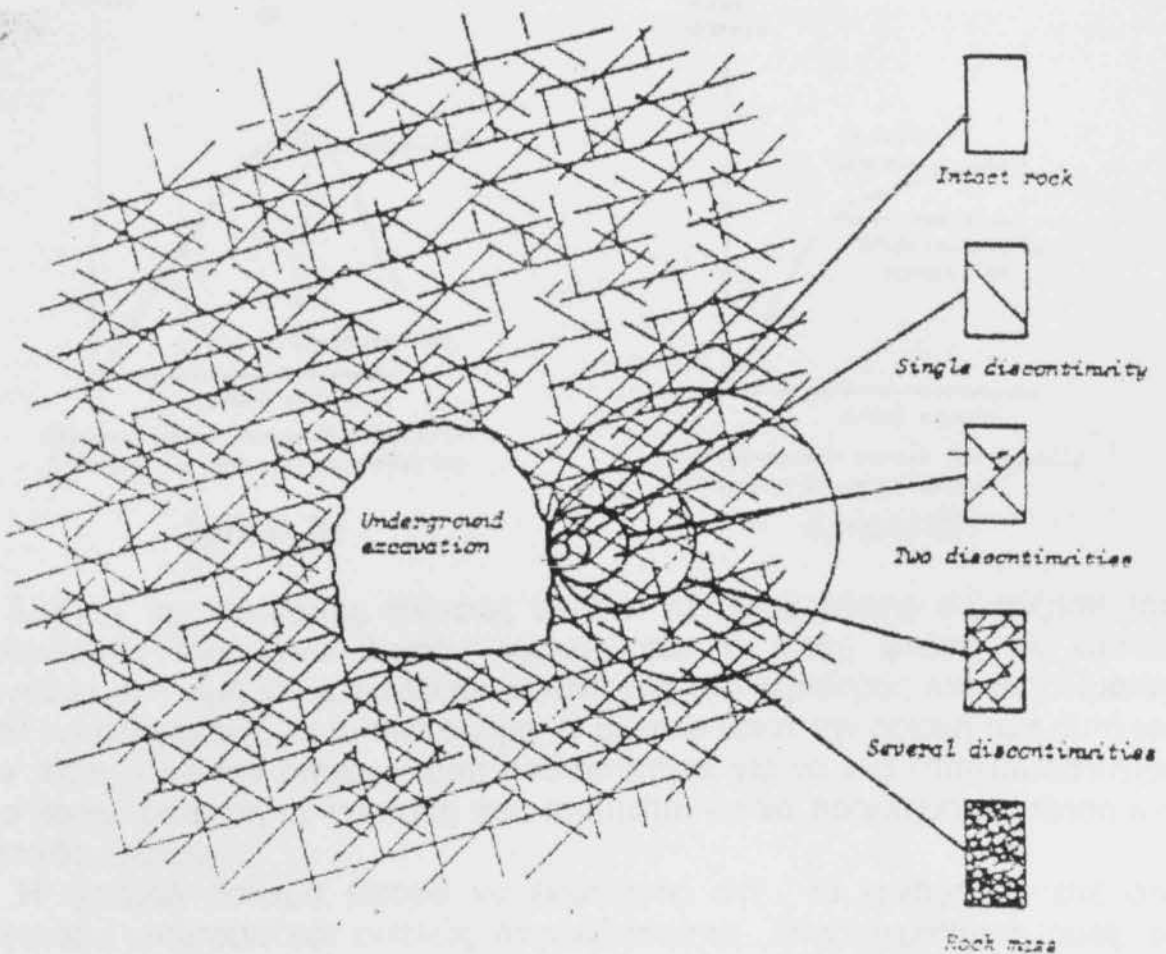
Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι η ποσότητα αλλά και η ποιότητα των διαθέσιμων στοιχείων είναι πολύ μεγαλύτερη στην εργαστηριακή παρά στην φυσική κλίμακα. Πράγματι, μικρά τμήματα άθικτου βράχου είναι εύκολο να συλλεγούν και να υποστούν πλήθος εργαστηριακών δοκιμών με αποτέλεσμα να διατίθενται μεγάλο μέρος πληροφοριών για την συμπεριφορά του συμπαγούς

βράχου. Οι πειραματικές όμως δυσκολίες αυξάνονται σημαντικά σε δοκιμές βράχου ο οποίος περιέχει μια οικογένεια ασυνεχειών, και γίνονται τεράστιες, όταν εμφανίζονται δύο ή περισσότερες οικογένειες. Τέλος, οι δοκιμές στην ίδια τη βραχομάζα πραγματοποιούνται δύσκολα από τη φύση του, και δίνουν πολύ λιγότερα στοιχεία, αφού και πρακτικά η προετοιμασία της δοκιμής είναι δύσκολη αλλά και οικονομικά ασύμφορη λόγω ακριβώς της μεγάλης κλίμακάς της.

Λαμβάνοντας υπόψη όλους τους προηγούμενους παράγοντες και ιδιαιτερότητες φαίνεται καθαρά ότι αξιόπιστο κριτήριο αστοχίας βραχομάζας που είναι ταυτόχρονα και εφαρμόσιμο στον γεωμηχανικό σχεδιασμό, θα πρέπει να πληρεί τις εξής προϋποθέσεις :

- Πρέπει να παρέχει ικανοποιητική περιγραφή της αποκρίσεως ενός δοκίμιου άθικτου βράχου σε όλες τις εντατικές καταστάσεις που μπορούν να συναντηθούν υπογείως. Οι εντατικές αυτές καταστάσεις μπορούν να κυμαίνονται από τον μονοαξονικό εφελκυσμό έως την σύνθετη τριαξονική ένταση.
- Πρέπει να προβλέπει την επίδραση μίας ή και περισσότερων οικογένειας ασυνεχειών στην συμπεριφορά ενός δοκίμιου βράχου. Η συμπεριφορά αυτή μπορεί επίσης να είναι έντονα ανισότροπη, δηλαδή να εξαρτάται από τη σχετική γωνία ασυνεχειών - εφαρμοζόμενων τάσεων.
- Πρέπει να εκτιμά έστω και χωρίς απόλυτη ακρίβεια, τη συμπεριφορά όλης της βραχομάζας, η οποία θα περιέχει και σημαντικό αριθμό από οικογένειες ασυνεχειών, βασιζόμενη στο δοκίμιο του άθικτου βράχου.

Ένα κριτήριο αστοχίας που ικανοποιεί με τον καλύτερο τρόπο είναι και το κριτήριο αστοχίας κατά Hoek & Brown το οποίο παρουσιάζεται αναλυτικά στις επόμενες ενότητες.



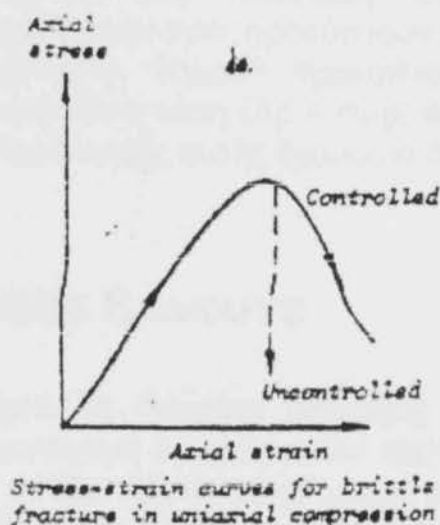
Σχήμα 1

ΨΑΘΥΡΗ ΚΑΙ ΟΛΚΙΜΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΒΡΑΧΟΥ

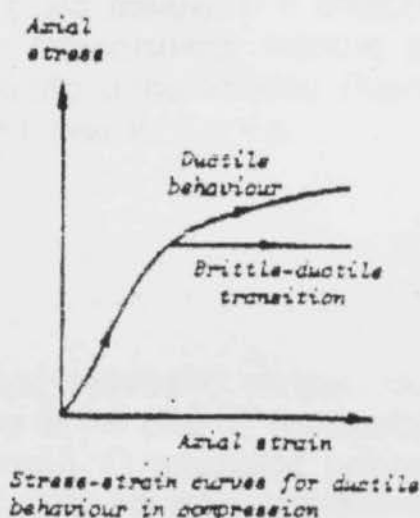
Ένα βραχώδες υλικό παρουσιάζει ψαθυρή συμπεριφορά ή λέμε ότι αστοχεί ψαθυρά όταν η ικανότητα την οποία διαθέτει για την ανάληψη φορτίων μειώνεται δραστικά με την αύξηση της παραμορφώσεώς του. Η ψαθυρή συμπεριφορά φαίνεται επίσης και από την ύπαρξη ελάχιστης ή και καθόλου παραμένουσας παραμόρφωσης στο υλικό μέχρι τη στιγμή της αστοχίας. Υλικά τα οποία συμπεριφέρονται ψαθυρά μπορούν, ανάλογα με το αν η αστοχία είναι ελεγχόμενη ή όχι, να αστοχήσουν ξαφνικά, απροειδοποίητα και συχνότατα με καταστροφικές για το υπόγειο έργο συνέπειες. Ένα τυπικό διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων ψαθυρού βράχου με ελεγχόμενη ή όχι αστοχία παρουσιάζεται στο σχήμα 2α.

Αντιθέτως ένα βραχώδες υλικό χαρακτηρίζεται όλκιμο όταν μπορεί να εμφανίζει παραμένουσες παραμορφώσεις χωρίς να μειώνεται η φέρουσα ικανότητά του. Στο σχήμα 2β φαίνεται ένα τυπικό διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων όλκιμου βράχου.

Πρέπει να τονιστεί ότι για τα επίπεδα πίεσεως και θερμοκρασίας τα οποία συναντώνται σε υπόγειες εκσκαφές, τα περισσότερα πετρώματα εμφανίζουν ψαθυρή συμπεριφορά. Η όλκιμότητα ενός πετρώματος αυξάνει συνήθως σε συνθήκες αυξημένης θερμοκρασίας και πίεσεως αλλά μπορεί να εμφανιστεί και σε κανονικές συνθήκες σε περιπτώσεις αποσαθρωμένων (ή με πολλές οικογένειες ασυνεχειών) βραχών και σε πετρώματα χαμηλής αντοχής, όπως λ.χ. οι εβαπορίτες.



Σχήμα 2α



Σχήμα 2β

Αύξηση της πλευρικής πίεσεως σε ένα πέτρωμα οδηγεί σε αύξηση της όλκιμότητάς του. Είναι λοιπόν λογικό, όταν η πίεση φτάσει σε κάποια συγκεκριμένη τιμή να εμφανίζεται αλλαγή της συμπεριφοράς του πετρώματος από τυπικά ψαθυρή σε τυπικά όλκιμη. Ο Byerlee όρισε την οριακή τιμή αυτή ως την πίεση κατά την οποία η τάση που απαιτείται για να ένα επίπεδο αστοχίας στο βράχο είναι ίση με την τάση που απαιτείται για να προκληθεί ολίσθηση του επιπέδου αυτού.

Η ψαθυρή αστοχία μπορεί να εμφανιστεί είτε το εργαστήριο είτε στο εργοτάξιο απότομα και εντελώς απροειδοποίητα. Στην περίπτωση αυτή, το διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων που εμφανίζεται δεν έχει φθίνοντα κλάδο. Αντιθέτως σε άλλες περιπτώσεις, όπως π.χ. σε βραχοκολώνες υπογείων εκσκαφών, ο βράχος μπορεί να θραυτεί ψαθυρά, αλλά

ρηγματώνεται και παραμορφώνεται έντονα πριν αστοχήσει, προειδοποιώντας έτσι για την αστοχία. Αν και η συμπεριφορά του πετρώματος στην περίπτωση αυτή είναι και πάλι ψαθυρή, το διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων εμφανίζει και φθίνοντα κλάδο, όπως φαίνεται στο σχήμα. Στο εργαστήριο ανάλογα με το είδος της δοκιμής και τα μηχανήματα που θα χρησιμοποιηθούν είναι δυνατόν να ελέγξουμε τον τρόπο της ψαθυρής αστοχίας των δοκιμών.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΤΟΝ ΑΘΙΚΤΟ ΒΡΑΧΟ

Οι βασικότερες εργαστηριακές δοκιμές άθικτου βράχου, απ' όπου αφ'ενός γίνεται αρκετά σαφής η εν γένει συμπεριφορά του άθικτου βράχου και αφ' ετέρου γίνεται δυνατή η διατύπωση κάποιου κριτηρίου αστοχίας για τη βραχομάζα είναι οι εξής:

- 1. Μονοαξονική δοκιμή εφελκυσμού:** στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιώντας κατάλληλο εξοπλισμό επιτυγχάνεται συνθήκη μονοαξονικού εφελκυσμού για το δοκίμιο, δηλαδή τιμές κυρίων τάσεων $\sigma_1 = \sigma_2 = 0$ και $\sigma_3 = -\sigma_t$, όπου σ_t η μονοαξονική αντοχή του δοκιμίου.
- 2. Τριαξονική δοκιμή θλίψεως - εφελκυσμού:** Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιώντας κατάλληλο εξοπλισμό, επιτυγχάνεται συνθήκη μονοαξονικού εφελκυσμού για το δοκίμιο, δηλαδή τιμές κυρίων τάσεων $\sigma_1 = \sigma_2 = 0$ και $\sigma_3 = -\sigma_t$ όπου σ_t η μονοαξονική εφελκυστική αντοχή του δοκιμίου.
- 3. Τριαξονική θλιπτική δοκιμή:** Με κατάλληλα μηχανήματα και συνδεσμολογία προκύπτουν κύριες τάσεις στο δοκίμιο $\sigma_1 = \text{σταθ.} > p$ και $\sigma_3 = \sigma_2 = p$, δηλαδή προκύπτουν συνθήκες υδροστατικής πίεσεως με μια πρόσθετη τάση ($\Delta p = \sigma_1 - p$) κατά τον κύριο άξονα του δοκιμίου. Παραλλαγή της δοκιμής αυτής έχουμε κι όταν $\sigma_2 = \sigma_3 = p$ ενώ, $\sigma_1 = \sigma_t < p$.

ΤΑΣΕΙΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Κατά τη διάρκεια διάνοιξης μιας υπόγειας εκσκαφής υπάρχει συνεχής ανακατανομή των εδαφικών τάσεων σε κάποια ακτίνα από τη "διατάραξη" αυτή την οποία προκαλούμε γύρω από την εκσκαφή. Ο μηχανικός ενδιαφέρεται λιγότερο για τις ίδιες τις διαδικασίες ανακατανομής και πολύ περισσότερο για την αρχική και την τελική μορφή του πεδίου των τάσεων προ της εκσκαφής και μετά από αυτήν. Για τις ανάγκες των τεχνικών έργων, οι εδαφικές τάσεις μπορούν να χωριστούν στις αρχικές τάσεις (virgin stresses) και στις τελικές τάσεις λόγω ανακατανομής (induced stresses).

Οι αρχικές τάσεις μπορούν με τη σειρά τους να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τη προέλευσή τους:

- Στις τάσεις λόγω βαρύτητας, οι οποίες οφείλονται στις υπερκείμενες της εκσκαφής γαίες.
- Στις τεκτονικές τάσεις, οι οποίες οφείλονται στη συνεχή παραμόρφωση, παλαιότερη αλλά και σημερινή, του φλοιού της γης (τεκτονικές διεργασίες).
- Στις παραμένουσες εσωτερικές τάσεις μετά π.χ. θερμικά γεγονότα ή κάποια διόγκωση του πετρώματος.

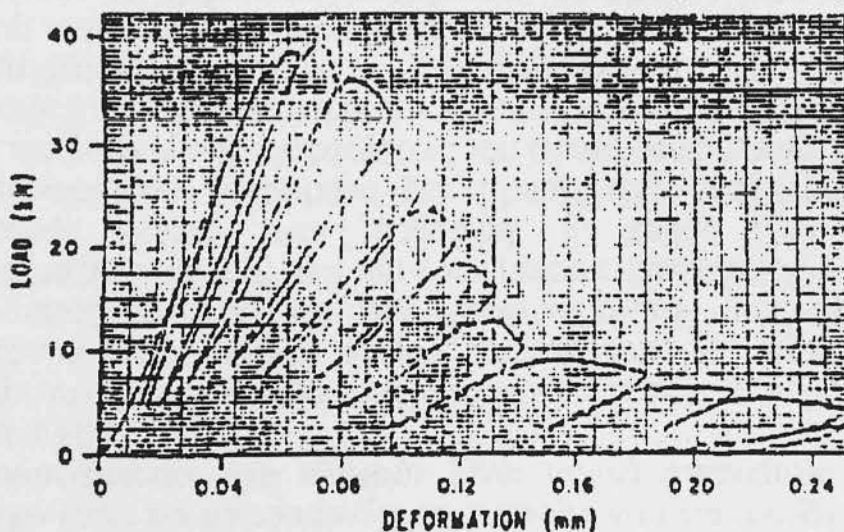
Από συμπεράσματα μετρήσεων αρχικών τάσεων εδάφους σε διάφορες περιοχές της γης παρουσιάζεται η μεταβολή των κατακόρυφων εδαφικών τάσεων σ_v συναρτήσει του βάθους (ύψους) H . Από την άλλη πλευρά, υπάρχει σοβαρή διάσταση απόψεων μεταξύ των επιστημόνων, όσον αφορά στη συσχέτιση των οριζοντίων τάσεων σ_H με το βάθος H . Επίσης παρατηρείται ότι σύμφωνα με το σύνολο των ερευνητών, αν η βραχομάζα εξεταστεί σε βάθος που υπερβαίνει τα 450 - 500 μέτρα, οι οριζόντιες τάσεις σ_H είναι μεγαλύτερες των κατακόρυφων σ_v . Η τελευταία παρατήρηση είναι καθολικώς αποδεκτή, η ακριβής όμως τιμή των οριζοντίων τάσεων διαφέρει σημαντικά. Από τα παραπάνω σχήματα γίνεται φανερό ότι ενώ οι κατακόρυφες τάσεις λόγω υπερκειμένων γαιών σ_v μπορούν να προβλεφθούν με αρκετή ακρίβεια συναρτήσει του βάθους, δεν υπάρχει απλή και αξιόπιστη μέθοδος προβλέψεων των αντίστοιχων οριζοντίων τάσεων. Άρα όπου απαιτείται υπολογισμός και των δύο τάσεων (σ_v, σ_H) είναι υποχρεωτικό να εκτελούνται επι τόπου μετρήσεις τάσεων.

ΑΝΤΟΧΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο μηχανικός θεωρεί ότι η βραχομάζα είναι ένα σύνολο από τεμάχια άθικτου βράχου τα οποία χωρίζονται μεταξύ τους με γεωλογικές ασυνέχειες διαφόρων μορφών (διακλάσεις, ρήγματα, ρωγμές, κ.α.). Άρα στην προσπάθεια υπολογισμού των μηχανικών χαρακτηριστικών της βραχομάζας, θα ληφθούν υπόψη οι ιδιότητες των ασυνεχειών αλλά και του άθικτου βράχου, με ζυγισμένη βεβαίως βαρύτητα για κάθε παράγοντα.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΘΙΚΤΟΥ ΒΡΑΧΟΥ

Ένα τυπικό παράδειγμα άθικτου βράχου παρουσιάζεται στο σχήμα 3.



Representation of brittle fracture mechanism for quartzite in uniaxial compression

Σχήμα 3

Σύμφωνα με το διάγραμμα του σχήματος 3 η παραμόρφωση αρχικά αυξάνεται σχεδόν γραμμικά με την αύξηση του επιβαλλόμενου φορτίου στο δοκίμιο. Κάποια στιγμή η φόρτιση προσεγγίζει ένα επίπεδο τάσεως όπου

εμφανίζεται η αρχική ρηγμάτωση του δοκιμίου. Αυτό συμβαίνει λόγω του πολλαπλασιασμού και της επεκτάσεως μικρορωγμών οι οποίες ούτως ή άλλως προϋπήρχαν στο δοκίμιο. Αν στο τασικό αυτό επίπεδο δεν επιβάλλουμε πρόσθετη τάση στο δοκίμιο, η επέκταση της ρηγματώσεως στο υλικό σταματά.

Περαιτέρω αύξηση της τάσεως στον βράχο οδηγεί στην επιβολή ενός νέου, ανώτερου επιπέδου τάσεως στο δοκίμιο το οποίο ονομάζεται κρίσιμο ενεργειακό επίπεδο και όπου η ρηγμάτωση επεκτείνεται σχετικά απρόβλεπτα και συνεχώς, ακόμα δηλαδή και αν δεν επιβληθεί μεγαλύτερη φόρτιση, η παραμόρφωση συνεχίζει να αυξάνει.

Κατόπιν εμφανίζεται το μέγιστο φορτίο που μπορεί να αναλάβει το δοκίμιο πριν αστοχήσει. Η τάση με την οποία φορτίζεται τότε το δοκίμιο ονομάζεται τάση αστοχίας και προφανώς εκφράζει το μέτρο της αντοχής του άθικτου βράχου. Οι περισσότεροι βράχοι χαρακτηρίζονται από καθαρά ψαθυρή συμπεριφορά άρα με την υπέρβαση της τάσεως αστοχίας καταρρέουν ξαφνικά και έντονα (όταν βεβαίως η δοκιμή γίνεται με συμβατική, εύκαμπτη μηχανή φορτίσεως). Στην περίπτωση αυτή, η αστοχία του βράχου συμπίπτει με την καθολική αποσύνθεση, διάλυση και καταστροφή του βράχου.

Αν πάντως αυξηθεί η ακαμψία της δοκιμαστικής μηχανής φορτίσεως τότε μπορεί στο διάγραμμα τάσεως - παραμορφώσεων του βράχου να εμφανιστεί και φθίνων κλάδος, είναι δηλαδή δυνατόν να εμφανιστεί μείωση της τάσεως που μπορεί να παραλάβει το δοκίμιο με την ταυτόχρονη έντονη αύξηση της παραμορφώσεως. Το δοκίμιο τώρα θα βρίσκεται μεν σε ρηγματωμένη κατάσταση, αλλά θα μπορεί να παραλάβει κάποιο ποσοστό του φορτίου αστοχίας του. Η αστοχία του βράχου τότε ονομάζεται όλκιμη.

Στην πράξη, σε κάποια περίπτωση υπόγειας εκσκαφής μπορεί να μην εμφανίζεται κατάρρευση των τοιχωμάτων της σήραγγας, παρότι ο περιβάλλον βράχος έχει ήδη αστοχήσει, αφού η ανακατανομή των τάσεων κατά την εκσκαφή είναι δυνατόν να οδηγήσει σε υπέρβαση της αντοχής του βράχου. Αποτέλεσμα της καταστάσεως αυτής είναι η εκσκαφή να παρουσιάζεται ευσταθής και να μην καταρρέει, ενώ ο βράχος που αποτελεί τα τοιχώματα της σήραγγας έχει ήδη αστοχήσει και ρηγματωθεί. Πολλές φορές μάλιστα η ρηγμάτωση αυτή στη βραχομόζα μπορεί να είναι και επιθυμητή αφού είναι βέβαιο ότι δεν θα εμφανιστεί κατάρρευση του βράχου (άρα και αστοχία του έργου) ενώ ταυτοχρόνως απορραφάται και συγκεντρωμένη εδαφική ενέργεια.

Τα διαγράμματα τάσεων - παραμορφώσεων του άθικτου βράχου χρησιμεύουν στον προσδιορισμό του λόγου Poisson του βράχου αλλά και στην εκτίμηση του μέτρου παραμορφώσεως του βραχώδους υλικού. Έχει αποδειχτεί ότι τα περισσότερα πετρώματα δεν προσεγγίζουν καθόλου την ελαστική συμπεριφορά, οπότε είναι ορθότερη η χρήση του όρου μέτρο παραμορφωσιμότητας (E_M) αντί του όρου μέτρο ελαστικότητας (E).

Οι ιδιότητες αντοχής και παραμορφωσιμότητας του άθικτου βράχου επηρεάζονται από μεγάλο αριθμό παραγόντων, οι οποίοι εμφανίζονται αναλυτικά στον πίνακα 4. Από τους παράγοντες αυτούς οι σημαντικότεροι είναι αναλυτικά οι εξής:

- i) **Η ανισοτροπία του υλικού:** Είναι γενικά σπανιότατο ο βράχος να περιέχει έστω και μικροασυνέχειες οι οποίες να είναι του ίδιου μεγέθους και εντελώς τυχαίου προσανατολισμού. Είναι λοιπόν πολύ σημαντικό ο προσανατολισμός των ασυνεχειών ως προς τη διεύθυνση της φορτίσεως. Έχουν εντοπιστεί περιπτώσεις όπου η αντοχή περί την ευμενέστερη διεύθυνση είναι πενταπλάσια της αντοχής περί την δυσμενέστερη διεύθυνση.

- ii) Η **περιεκτικότητα σε υγρασία - η πίεση πόρων**: Ένα κορεσμένο δοκίμιο βράχου είναι δυνατόν να έχει τη μισή αντοχή ενός ξηρού δοκιμίου από το ίδιο πέτρωμα. Η πρακτική σημασία των επιδράσεων της υγρασίας και της πίεσεως πόρων σε ένα βραχώδες δοκίμιο είναι ότι υπάρχει κίνδυνος μία υπόγεια κατασκευή να εμφανίζεται ευσταθής και με σημαντική αντοχή εν ξηρώ ενώ είναι ασταθής στο φυσικό της περιβάλλον, το οποίο τυχαίνει να είναι έντονα υγρό. Από την άλλη πλευρά είναι γεγονός ότι ο κορεσμένος βράχος έχει καλύτερη συμπεριφορά από τον ξηρό στη φάση της εκσκαφής.

Εσωτερικά χαρακτηριστικά βράχου	Εξωτερικές παράμετροι
A. Υλικό (βράχος)	Γ. Περιβάλλον
1. Πετρογραφία και στρωματογραφία υλικού (τύπος πετρώματος, εμφάνιση, μέγεθος κόκκων, χρώμα, περιεκτικότητα σε μέταλλα, καθαρότητα)	1. Υδρολογικοί παράγοντες (περιεκτικότητα σε υγρασία, ροή υπογείων υδάτων, πίεση πόρων)
2. Ανισοτροπία	2. Θερμοκρασία
3. Πορώδες	3. Πίεση
4. Γεωμετρία δειγμάτων (σχήμα, μέγεθος κλπ.)	4. Χημικοί παράγοντες, διάβρωση που αυτοί προκαλούν
5. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες υλικού (πυκνότητα, αντοχές, μέτρα ελαστικότητας, παραμορφωσιμότητας κλπ., τρόπος αστοχίας)	
6. Χημικές ιδιότητες	
B. Βραχομάζα	Δ. Κατάσταση τάσεων - παραμορφώσεων
1. Κατασκευή (στρώματωση, φύλλωση ή σχιστότητα, διεύθυνση και κλίση στρωμάτων, σχήμα, μέγεθος)	1. Επί τόπου εντάσεις (μέγεθος τάσεων, διεύθυνση, κατανομή στη βραχομάζα)
2. Ασυνέχειες (τύπος, προσανατολισμός, σχηματισμός στο χώρο, κατάσταση, άνοιγμα, υλικό πληρώσεως)	2. Εξωτερικά φορτία (τύπος φόρτισης, μέτρο, διεύθυνση, κατανομή και σχηματισμός, φύση του φορτίου, συχνότητα)
3. Πορώδες	3. Μη μηχανικής προέλευσης εντατικό πεδίο (θερμικές, ηλεκτρικές, μαγνητικές τάσεις, τάσεις από έκρηξη κ.α.)
4. Διαπερατότητα	
5. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες βραχομάζας (αντοχές, μέτρα ελαστικότητας-παραμορφωσιμότητας, συνοχή, γωνία τριβής)	
6. Ερπυσμός	

Πίνακας 4

- iii) Η **ύπαρξη πλευρικών πιέσεων** : Προφανώς η αύξηση της πλευρικής (εγκάρσιας) πίεσης έχει ως αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση της αντοχής του βράχου. Η επίδραση των πλευρικών πιέσεων είναι πάρα πολύ σημαντική σε περιπτώσεις εκσκαφών σε μεγάλο βάθος, όπου λόγω των

μεγάλων οριζοντίων τάσεων το πέτρωμα βρίσκεται σε τριαξονικό εντατικό πεδίο και άρα είναι λογικό να έχει υψηλότερη αντοχή από την ονομαστική, η οποία έχει ως γνωστόν υπολογιστεί βάσει δοκιμής μονοαξονικής θλίψεως.

- iv) **Ο ερπυσμός και ο ρυθμός φορτίσεως:** Η αντοχή και η παραμορφωσιμότητα του πετρώματος είναι χαρακτηριστικά που εξαρτώνται από το χρόνο. Μικρές διάρκειες φορτίσεως, δηλαδή υψηλός ρυθμός φορτίσεως οδηγούν κατά κανόνα σε αύξηση της αντοχής του βράχου. Αντιθέτως, όταν ο βράχος δεχτεί συνεχή φόρτιση για μεγάλη χρονική περίοδο (όπως συμβαίνει κατά τη διάνοιξη μίας σήραγγας) εκτός των άμεσα επιβαλλόμενων παραμορφώσεων ο βράχος θα αναπτύξει και ερπυστικές παραμορφώσεις, οι οποίες είναι πολύ σημαντικές από πλευράς μεγέθους. Αποτέλεσμα του φαινομένου αυτού είναι η πιθανή αστοχία του βράχου όχι λόγω υπερβάσεως της αντοχής του, αλλά λόγω υπερβολικά μεγάλων παραμορφώσεων, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων οφείλεται σε ερπυστικά φαινόμενα. Έτσι πάνω από ένα δεδομένο κάθε φορά επίπεδο τάσεως, το οποίο ονομάζεται μακροπρόθεσμη αντοχή (long term strength), τα πετρώματα που βρίσκονται υπό σταθερή φόρτιση αστοχούν μετά από κάποιο σχετικά σημαντικό χρονικό διάστημα.
- v) **Το μέγεθος και το σχήμα του δοκιμίου:** Η πρακτική σημασία του παράγοντα αυτού είναι πολύ μεγάλη διότι καθορίζει το σημείο μέχρι το οποίο τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις εργαστηριακές δοκιμές μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστα, εφαρμόσιμα και αντιπροσωπευτικά για το σύνολο της βραχομάζας. Δυστυχώς, τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από τις εργαστηριακές δοκιμές σε δείγματα συμπαγούς βράχου δεν είναι ευθέως αντιπροσωπευτικά της βραχομάζας από την οποία τα δείγματα εξήχθησαν (λόγω των ασυνεχειών σε φυσική κλίμακα οι οποίες δεν υπάρχουν σε κλίμακα εργαστηρίου). Για το λόγο αυτό είναι πολύ σημαντικό να εκτελούνται και επί τόπου δοκιμές ώστε, εκτός από το συμπαγή βράχο, να γίνει γνωστή και η μηχανική συμπεριφορά της βραχομάζας.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Τα χαρακτηριστικά της βραχομάζας τα οποία είναι σημαντικά στο σχεδιασμό υπογείων έργων είναι σε γενικές γραμμές τα εξής:

- ♦ **Μέτρο ελαστικότητας ή παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας,** στοιχείο που χρησιμεύει στο σχεδιασμό προσωρινών ή και μόνιμων επενδύσεων σηράγγων.
- ♦ **Θλιπτική μονοαξονική αντοχή,** χρήσιμη στο σχεδιασμό της προσωρινής υποστηρίξεως υπογείων έργων.
- ♦ **Διατμητική αντοχή βραχομάζας,** χρήσιμη στον υπολογισμό της ευστάθειας των βραχωδών πρηνών που διαμορφώνονται στα στόμια των σηράγγων. Εφελκυστική αντοχή βραχομάζας, χρήσιμη στην εκτίμηση της υποστηρίξεως υπογείων έργων.
- ♦ **Συνοχή και γωνία εσωτερικής τριβής βραχομάζας,** μεγέθη χρήσιμα στο σχεδιασμό των βραχωδών πρηνών.
- ♦ **Εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας πετρώματος,** χρήσιμο στο σχεδιασμό πολλαπλών εκσκαφών.
- ♦ **Φέρουσα ικανότητα βραχομάζας.**

Για την εύρεση των τιμών αυτών των παραμέτρων της βραχομάζας πραγματοποιούνται συνήθως επιτόπου δοκιμές.

Λόγω των αντιπροσωπευτικότερων συνθηκών οι οποίες επικρατούν στις επί τόπου δοκιμές, τα εξαγόμενα αποτελέσματα έχουν μικρότερη διασπορά από αυτά των εργαστηριακών δοκιμών.

Δυστυχώς, μέχρι σήμερα σε ελάχιστα έργα έχουν επιχειρηθεί μετρήσεις για το ίδιο μηχανικό χαρακτηριστικό βραχομάζας με διάφορες δοκιμές, έτσι ώστε να παρέχεται στον μηχανικό δυνατότητα συγκρίσεως των αποτελεσμάτων. Οι τιμές ενός μηχανικού χαρακτηριστικού της βραχομάζας διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των τιμών αυτών. Με βάση την παρατήρηση αυτή είναι άστοχο να επιχειρηθεί κάποια εκτίμηση για την ακρίβεια των επί τόπου δοκιμών.

Έτσι, η επιλογή της επί τόπου δοκιμής η οποία θα δώσει την περισσότερο αξιόπιστη τιμή π.χ. για το μέτρο παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας επαφίεται σχεδόν αποκλειστικά στην κρίση και την ορθή εκτίμηση του μηχανικού. Απαιτούνται λοιπόν δύο ή και περισσότερες δοκιμές ώστε να υπάρχει δυνατότητα ελέγχου των αποτελεσμάτων. Αφού λοιπόν τα αποτελέσματα των εργοταξιακών δοκιμών εξαρτώνται από τις ίδιες τις δοκιμές και φυσικά οδηγούν σε μεγάλη διασπορά αποτελεσμάτων, οι εργαστηριακές δοκιμές των ίδιων μηχανικών χαρακτηριστικών μπορούν να αποδειχτούν πολύ χρήσιμες.

Παρόλη πάντως την έντονη αντιστοιχία των τιμών από τις επιτόπου και τις εργαστηριακές δοκιμές, έχουν καθιερωθεί κάποιες προσεγγιστικές σχέσεις με τις οποίες συσχετίζονται έμμεσα τα αποτελέσματα. Για παράδειγμα όπως φαίνεται και στο σχήμα 5 έχει βρεθεί σχέση μεταξύ της τιμής του RQD της βραχομάζας και του λόγου E_M / E_L όπου:

E_M : το μέτρο παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας.

E_L : το μέτρο παραμορφωσιμότητας του δοκιμίου στο εργαστήριο.

Ο Henze το 1980 εκτίμησε ότι οι τιμές του μέτρου παραμορφωσιμότητας μικρών δοκιμίων άθικτου βράχου στο εργαστήριο (E_L) είναι κατά μέσο όρο 2,5 φορές μεγαλύτερες από τις τιμές του μέτρου που προκύπτουν από επί τόπου δοκιμές (E_M). Συγκεκριμένα, για τα περισσότερα από τα πειράματα ισχύει ότι:

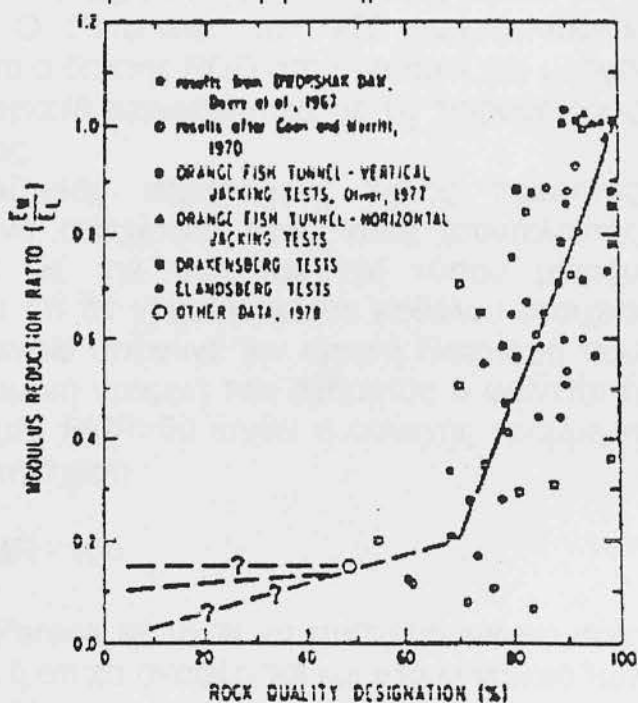
$$E_M = 0.2 - 0.6 E_L$$

Πάντως ο λόγος E_M / E_L εξαρτάται από την ποιότητα της βραχομάζας και το είδος της επί

τόπου δοκιμής. Π.χ. για φτωχή ποιότητα βραχομάζας δεν

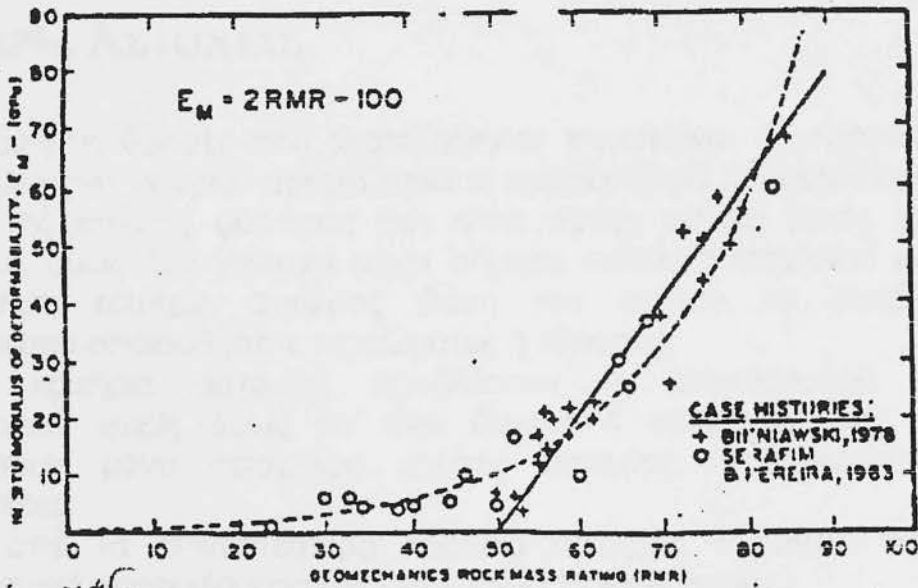
υπάρχουν ενδείξεις συσχετίσεως των τιμών RQD και E_M / E_L .

Ο Deere το 1967 πρότεινε η παραμορφωσιμότητα του βράχου να εκτιμάται βάσει δεικτών ποιότητας βράχου (είτε βάσει του RQD ή βάση του λόγου σεισμικών ταχυτήτων $(V_P / V_L)^2$). Το 1970, υιοθετώντας την πρόταση του Deere



Σχήμα 5

οι Coon & Merritt απέδειξαν ότι το RQD συνδέεται με το λόγο E_M/E_L με συντελεστή συσχέτισης 0.544 (μέτρια συσχέτιση), ενώ ο όρος $(V_p/V_L)^2$ συνδέεται με το E_M/E_L με συντελεστή συσχέτισης 0.368 (κακή συσχέτιση). Πάντως πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι τα δεδομένα των συσχέτισεων προήλθαν κυρίως από ένα και μόνο έργο (το φράγμα του Dworshak) και δευτερευόντως από τρία μικρότερα έργα. Και εδώ ο βράχος που εξετάστηκε ήταν καλής ποιότητας.



Σχήμα 6

Το 1978, ο Kulhawy πρότεινε μια τροποποιημένη μέθοδο συσχέτισης βάση του RQD, η οποία είχε την ευελιξία να προσαρμόζει τις τιμές των μηχανικών χαρακτηριστικών του βράχου ανάλογα με την παρουσία των ασυνεχειών, το υλικό πληρώσεώς τους και γενικά την ακαμψία της βραχομάζας όπως αυτή επηρεάζεται από τις ασυνέχειες. Ο Dersowitz, το 1979 χρησιμοποίησε εμπειρικές συσχέτισεις και απέδειξε ότι ο δείκτης RQD στην κλασική του μορφή μπορεί να συσχετιστεί στατιστικώς αρκετά ικανοποιητικά με τις παραμέτρους παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας.

Ο Bieniawski, το 1978, εξετάζοντας περιπτώσεις καλής ποιότητας βραχομάζας ($RMR > 50$) πέτυχε να συσχετίσει πολύ καλά (συντελεστής συσχέτισης 0.961) την τιμή RMR με την τιμή του επί τόπου μέτρου παραμορφωσιμότητας E_M . Λόγω του ότι δε χρησιμοποίησε καθόλου στοιχεία από εργαστηριακές δοκιμές, ο Bieniawski απέφυγε την εγγενή διασπορά που θα είχε ο λόγος E_M/E_L . Στη διακεκομμένη γραμμή του σχήματος 6 φαίνεται η συσχέτιση $RMR - E_M$ ενώ για τις τιμές $RMR > 50$ ισχύει η συνεχής γραμμή η οποία μαθηματικά παριστάνεται από τη σχέση

$$E_M = 2 RMR - 100$$

Αργότερα, το 1983 οι Serafim & Pereira πέτυχαν να συσχετίσουν τις τιμές RMR - E_M και για $RMR < 50$. Η σχέση, η οποία αναφέρεται και στο κεφάλαιο των γεωμηχανικών ταξινομήσεων είναι η εξής:

$$E_M = 10^{(RMR-10)/40}$$

Ο Barton (1980) σχημάτησε την ακόλουθη σχέση

$$E_M = 25 \log_{10} Q$$

όπου Q = βαθμολογία βραχομάζας με βάση την ταξινόμηση Barton et al. Το 1996 ο Hoek διατύπωσε τον ακόλουθο τύπο για τον υπολογισμό του μέτρου παραμόρφωσης.

$$E_M = (\sigma_c/100)^{0.5} 10^{(RMR-10)/40}$$

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Με βάση τις δοκιμές που αναπτύχθηκαν παραπάνω, ο μηχανικός σήμερα είναι σε θέση να γνωρίζει αρκετά καλά τη συμπεριφορά του συμπαγούς βράχου σε όλες τις πιθανές φορτίσεις που στην πράξη μπορεί αυτός να υποστεί. Δυστυχώς όμως δεν υπάρχει μέχρι σήμερα καθολικά αποδεκτό και πλήρως εφαρμόσιμο κριτήριο αστοχίας βάση του οποίου να προβλέπεται η συμπεριφορά οποιουδήποτε πετρώματος ή εδάφους.

Άλλα κριτήρια αστοχίας προβλέπουν τη συμπεριφορά ορισμένων πετρωμάτων χωρίς όμως να είναι δυνατή η γενίκευσή τους, ενώ άλλα προβλέπουν μόνο ορισμένες μορφές αστοχίας, παραβλέποντας άλλες πιθανότερες.

Ένα από τα επικρατέστερα κριτήρια αστοχίας το οποίο δίνει αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα είναι το κριτήριο Hoek – Brown.

ΚΡΙΤΗΡΙΟ HOEK - BROWN

Το κριτήριο που εμφανίζει τη μεγαλύτερη αξιοπιστία και μπορεί ως ένα σημείο να γενικευτεί για όλα τα βραχώδη πετρώματα προτείνεται από τους Hoek και Brown. Σύμφωνα με αυτό, η αστοχία στο βράχο εμφανίζεται οριακά όταν ισχύει η ακόλουθη σχέση μεταξύ των κυρίων τάσεων:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{(m\sigma_c\sigma_3 + s\sigma_3^2)}$$

σ_1 : είναι η μέγιστη κύρια τάση τη στιγμή της αστοχίας.

σ_3 : είναι η ελάχιστη κύρια τάση τη στιγμή της αστοχίας.

σ_c : είναι η μονοαξονική θλιπτική αντοχή που μετρήθηκε στο δοκίμιο του άθικτου βράχου.

m, s : σταθερές που εξαρτώνται από τις ιδιότητες του βράχου από το βαθμό ρηγματώσεώς του πριν από την εφαρμογή των τάσεων σ_1, σ_3 .

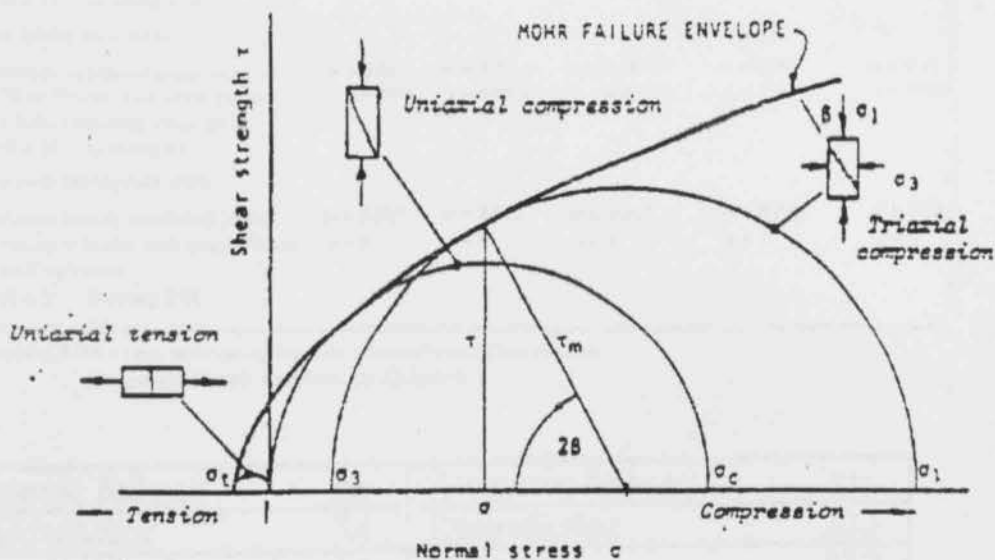
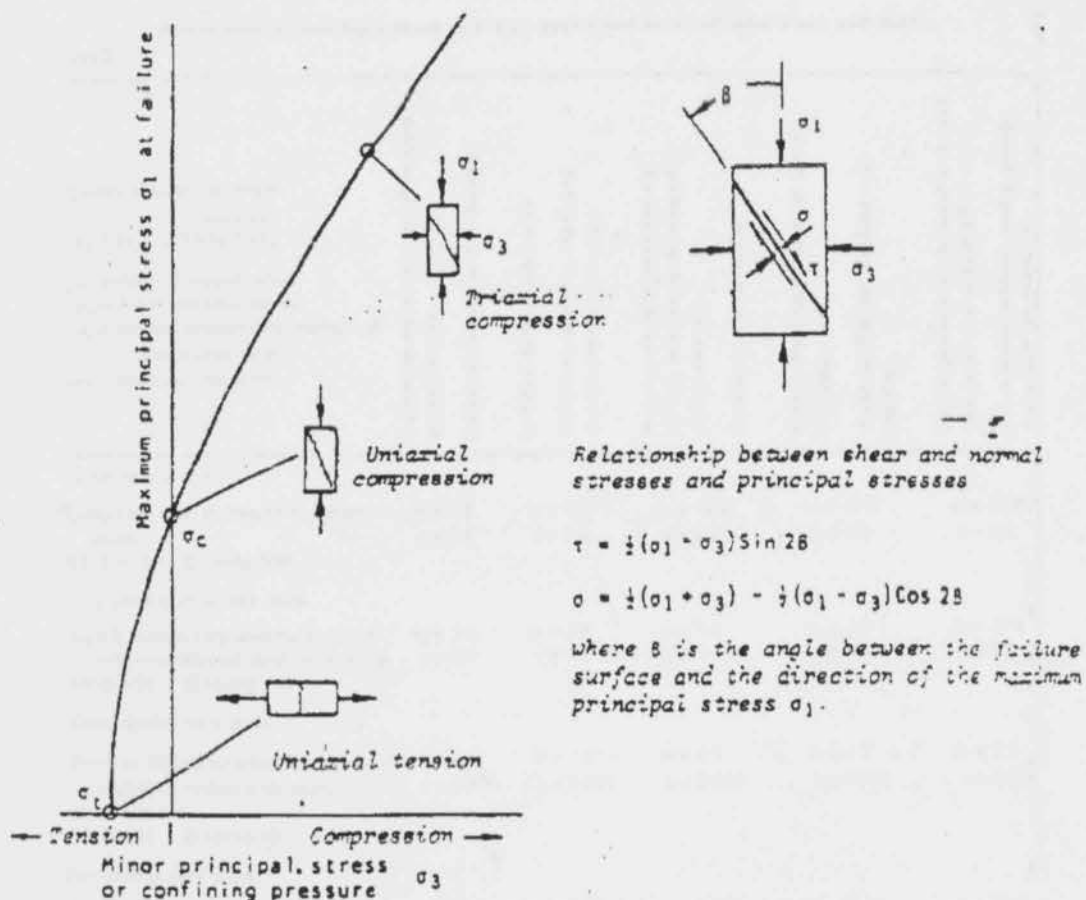
Η γραφική απεικόνιση του κριτηρίου αστοχίας με μορφή περιβάλλουσας τάσεων δίνεται στο σχήμα 7.

Προφανώς αν : $(\sigma_1/\sigma_c) \leq \{[\sigma_3/\sigma_c + \sqrt{(m \cdot \sigma_3/\sigma_c) + s}]\}$,

τότε δεν υπάρχει αστοχία,

ενώ αν : $(\sigma_1/\sigma_c) > \{[\sigma_3/\sigma_c] + \sqrt{(m \cdot \sigma_3/\sigma_c) + s}\}$,

τότε υπάρχει αστοχία στο πέτρωμα.



Graphical representation of stress conditions for failure of intact rock.

Σχήμα 7

Για τον άθικτο βράχο η τιμή του $m=m_i$ καθορίζεται από την εφαρμογή του κριτηρίου αστοχίας σε συνθήκες τριαξονικής έντασης σε δεδομένων διαστάσεων εργαστηριακά δοκίμια και λαμβάνοντας $s = 1$ για το βραχώδες υλικό.

Για τις διάφορες κατηγορίες βραχομάζας, οι Hoek και Brown προτείνουν τις τιμές των m και s που αναφέρονται στον πίνακα 8α ενώ οι αντίστοιχες τιμές για τα πετρώματα που συναντώνται στον ελληνικό χώρο παραθέτονται στον

Approximate relationship between rock mass quality and constants (after Hoek and Brown, 1980)

Empirical failure criterion

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m\sigma_3\sigma_c + \sigma_c^2}$$

σ_1 = major principal stress;
 σ_3 = minor principal stress;
 σ_c = uniaxial compressive strength of intact rock, and
 m, j = empirical constants

	Carbonate rocks with well developed crystal cleavage Dolomite, limestone and marble	Lithified argillaceous rocks Mudstone, siltstone, shale and slate (normal to cleavage)	Argillaceous rocks with strong crystal and poorly developed crystal cleavage Sandstone and quartzite	Fine grained polymicrocrystalline igneous crystalline rocks Andesite, diorite, diabase and rhyolite	Coarse grained polymicrocrystalline igneous and metamorphic crystalline rocks Amphibolite, gabbro, gneiss, granite
Intact rock samples					
Laboratory size specimens free from joints RMR = 100 Q rating 500	$m = 7.0$ $j = 1.0$	$m = 10.0$ $j = 1.0$	$m = 13.0$ $j = 1.0$	$m = 17.0$ $j = 1.0$	$m = 25.0$ $j = 1.0$
Very good quality rock mass					
Tightly interlocking undisturbed rock with unweathered joints at 1 to 3m RMR = 85 Q rating 100	$m = 3.5$ $j = 0.1$	$m = 5.0$ $j = 0.1$	$m = 7.5$ $j = 0.1$	$m = 8.5$ $j = 0.1$	$m = 12.5$ $j = 0.1$
Good quality rock mass ✓					
Fresh to slightly weathered rock, slightly disturbed with joints at 1 to 3m RMR = 65 Q rating 10	$m = 0.7$ $j = 0.004$	$m = 1.0$ $j = 0.004$	$m = 1.5$ $j = 0.004$	$m = 1.7$ $j = 0.004$	$m = 2.5$ $j = 0.004$
Fair quality rock mass					
Several sets of moderately weathered joints spaced at 0.3 to 1m RMR = 44 Q rating 1 ✓	$m = 0.14$ $j = 0.0001$	$m = 0.20$ $j = 0.0001$	$m = 0.30$ $j = 0.0001$	$m = 0.34$ $j = 0.0001$	$m = 0.50$ $j = 0.0001$
Poor quality rock mass					
Numerous weathered joints at 10 to 50mm with some gouge - Clean compacted waste rock RMR = 23 Q rating 0.1	$m = 0.04$ $j = 0.00001$	$m = 0.05$ $j = 0.00001$	$m = 0.08$ $j = 0.00001$	$m = 0.09$ $j = 0.00001$	$m = 0.13$ $j = 0.00001$
Very poor quality rock mass					
Numerous heavily weathered joints spaced < 50mm with gouge Waste rock with fines RMR = 3 Q rating 0.01	$m = 0.007$ $j = 0$	$m = 0.010$ $j = 0$	$m = 0.015$ $j = 0$	$m = 0.017$ $j = 0$	$m = 0.025$ $j = 0$

Notation: RMR = rock mass rating from the Geomechanics Classification,
 Q = quality of rock mass from the Q-System.

Ακέραιος βράχος	m_j	Ακέραιος βράχος	m_j
Ασβεστόλιθος	7.4	Κερατόλιθος	20.3
Δολομίτης	6.8	Νορίτης	23.2
Ιλυόλιθος	7.3	Χαλαζίας - Διορίτης	23.4
Μάρμαρο	10.6	Γάββρος	23.9
Ψαμμίτης	14.3	Γνεύσιος	24.5
Δολερίτης	15.2	Αμφιβολίτης	25.1
Χαλαζίτης	16.8	Γρανίτης	27.9
Γενικώς $s_j = 1$			

Πίνακες 8α και 8β αντιστοιχώς

πίνακα 8β. Οι Priest και Brown, το 1983 προτείνουν για το ίδιο κριτήριο τις ακόλουθες εκφράσεις:

$$m = m_i \cdot e^{(RMR-100)/28}, \quad s = s_i \cdot e^{(RMR-100)/9} \quad (\alpha)$$

$$m = m_i \cdot e^{(RMR-100)/14}, \quad m = m_i \cdot e^{(RMR-100)/6} \quad (\beta)$$

όπου οι τύποι (α) αναφέρονται σε υπόγεια εκσκαφή με ήπια εξόρυξη ("αδιατάρακτη" κατάσταση), ενώ οι τύποι (β) αναφέρονται σε περιπτώσεις όπως βία εξόρυξη υπόγεια εκσκαφής, ανοικτή εκσκαφή, πρανή, έργα στομίων κλπ. ("διαταραγμένη" κατάσταση).

ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΒΡΑΧΟΥ (R.Q.D.) (ROCK QUALITY DESIGNATION)

Η βαθμονόμηση της βραχομάζας με βάση τις αποστάσεις τεμαχισμού πυρήνος γίνεται με τον δείκτη R.Q.D. και υπολογίζεται από δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, όπως η λήψη πυρήνων σε ποσοστό του ολικού μήκους που διατρήθηκε, αφού αφαιρέθηκαν τα τμήματα που έχουν μήκος μικρότερο από 10 cm.

Συσχέτιση κατά Deere:

ΠΟΣΟΣΤΟ (RQD)	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΒΡΑΧΟΥ
εώς 25 %	πολύ κακή
25 - 50 %	κακή
50 - 75 %	μέτρια
75 - 90 %	καλή
90 - 100 %	άριστη

Το RQD είναι ένας γρήγορος και μικρού κόστους τρόπος για να εκτιμηθεί η ποιότητα της βραχομάζας, δεν μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί ως το μοναδικό κριτήριο γιατί παρουσιάζει σημαντικά μειονεκτήματα.

1. Δεν λαμβάνει υπ' όψιν του παράγοντες όπως το υλικό πλήρωσης των ασυνεχειών, ο προσανατολισμός σε σχέση με τον άξονα της σήραγγας, η στεγανότητα των πετρωμάτων και το υπόγειο νερό.
2. Δεν ισχύει με μεγάλη ακρίβεια, όταν υπάρχουν ασυνέχειες με αργιλικό υλικό πλήρωσης.

ΓΕΩΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Η ανάγκη ποσοτικοποίησης όλων των παραγόντων που αφορούν την βραχομάζα, συμπεριλαμβανομένων όσον το δυνατό περισσότερων και αντιπροσωπευτικότερων παραμέτρων του υλικού (βράχου), ώστε να είναι η

βάση για τον σχεδιασμό κάποιου υπογείου έργου πολιτικού μηχανικού, οδήγησε στη δημιουργία μεθόδων ταξινόμησης.

Σκοπός των μεθόδων ταξινόμησης είναι:

1. Ο διαχωρισμός μίας συγκεκριμένης βραχομάζας σε ζώνες με παρόμοια γεωλογικά χαρακτηριστικά.
2. Η θέσπιση κριτηρίων ώστε να γίνουν κατανοητά τα χαρακτηριστικά και η συμπεριφορά της κάθε ομάδας.
3. Η δημιουργία ποσοτικών στοιχείων για κάθε χαρακτηριστικό ώστε να είναι εύκολος ο σχεδιασμός κάθε κατασκευής.
4. Η δημιουργία κριτηρίων κοινής αποδοχής, ώστε να είναι απλή η συνεννόηση μεταξύ των μηχανικών για τα διάφορα έργα γεωτεχνικής.

ΚΑΤΑ BIENIAWSKI (1973)

Η γεωμηχανική ταξινόμηση (RMR) για την εκτίμηση της ποιότητας της βραχομάζας λαμβάνει υπ' όψιν παραμέτρους, οι οποίες είτε μπορούν, να μετρηθούν άμεσα στο ύπαιθρο, είτε λαμβάνονται από γεωτρήσεις.

Αυτές είναι:

- i) Μονοαξονική θλιπτική αντοχή του άθικτου βράχου.**
Αναφέρεται στην ανεμπόδιση θλίψη του βράχου (συμπαγούς), που μπορεί να ληφθεί εύκολα και ανέξοδα μέσω εργαστηριακών δοκιμών.
- ii) Δείκτης RQD (Rock Quality Designation) βραχομάζας.**
Όταν για παράδειγμα το πέτρωμα είναι πλήρως αποσαθρωμένο, τότε $RQD=0$
- iii) Απόσταση μεταξύ ασυνεχειών.**
Συχνότητα και προσανατολισμός των ασυνεχειών (διακλάσεις, ρήγματα, σχιστότητα) του πετρώματος, τα οποία, αν και δεν εκφράζονται μέσω του RQD, έχουν μεγάλη επιρροή στην αντοχή και τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας. Τα απαιτούμενα στοιχεία εδώ λαμβάνονται όχι από γεωτρήσεις, αλλά από τη γεωλογική μελέτη της περιοχής.
- iv) Κατάσταση των ασυνεχειών και υλικό πλήρωσης.**
Κατάσταση των ασυνεχειών από πλευράς εύρους του κενού που δημιουργούν, συνεχείας, τραχύτητας των τεμαχίων τους και υλικού πλήρωσης του κενού τους.
- v) Θέση υπογείου υδροφόρου οριζοντα (Υ.Υ.Ο.).**
Το υπόγειο νερό δρα ως λιπαντικό αλλά και δημιουργεί τάσεις που μειώνουν την ευστάθεια και τη Φέρουσα Ικανότητα της βραχομάζας. Για να ληφθούν στοιχεία ώστε να συνεκτιμηθεί η επιρροή του Υ.Υ.Ο., ο Bieniawski αναφέρεται στην ενδεχόμενη διάνοιξη δοκιμαστικών στοών ή σε πληροφορίες που λαμβάνονται από την υπό κατασκευή σήραγγα.
- vi) Προσανατολισμός των ασυνεχειών.**
(όπως και στο iii)

Πριν την εφαρμογή της μεθόδου ο Bieniawski προτείνει τον κατά μήκος του άξονα της σήραγγας διαχωρισμό της σε ζώνες με περίπου όμοια γεωλογικά χαρακτηριστικά. Κατόπιν βάσει του πίνακα 9 βρίσκονται οι κατάλληλες τεχνικές υποστήριξης, για κάθε ζώνη ξεχωριστά ώστε να έχουμε τελικά λεπτομερείς πληροφορίες για την βέλτιστη υποστήριξη σε όλη τη σήραγγα.

Η διαδικασία ταξινόμησης κάθε ζώνης, φαίνεται στον πίνακα 10 όπου υπάρχουν πέντε κριτήρια, ανάλογα με τα οποία βαθμονομείται η βραχομάζα. Προφανώς η βαθμονόμηση διαφέρει ανάλογα με τη σημασία του κριτηρίου. Έτσι π.χ. η αντοχή του πετρώματος φαίνεται ότι είναι λιγότερο σημαντική από την κατάσταση των διακλάσεων στη βραχομάζα.

Τελικά το άθροισμα των βαθμονομήσεων και των πέντε κριτηρίων μας δίνει έναν πρώτο βαθμό της βραχομάζας κατά Bieniawski.

Κατόπιν, εξετάζεται η επιρροή των ασυνεχειών στην ποιότητα της βραχομάζας βάσει του πίνακα 10. Ο αριθμός που προκύπτει από την επιρροή αυτή θα προστεθεί στον αρχικό βαθμό για να δώσει ένα διορθωμένο βαθμό ζώνης βραχομάζας. Παρατηρούμε όμως ότι η τιμή της παραμέτρου του προσανατολισμού των ασυνεχειών δίνεται σε ποιοτικούς και όχι ποσοτικούς όρους (π.χ. ευνοϊκή ή μέτρια). Για να εκτιμήσουμε αν οι ασυνέχειες έχουν "ευνοϊκή" ή όχι τιμή θα πρέπει να αναφερθούμε στον πίνακα 11 (Wjckham et al.) που ποσοτικοποιεί τους χαρακτηρισμούς αυτούς.

Στο επόμενο βήμα ο Bieniawski δίνει ένα χαρακτηρισμό στη βραχομάζα, σύμφωνα με την προηγούμενη βαθμονόμηση της (διορθωμένος βαθμός RMR). Επίσης, (πίνακας 10) ανάλογα με την κατηγορία της βραχομάζας, δίνονται και κάποιες εκτιμήσεις για την συνοχή c , την γωνία εσωτερικής τριβής ϕ και το μέσο χρόνο διάτρησης και παραμονής της διατομής άνευ υποστηρίξεως.

Στο σχήμα 12 φαίνεται αναλυτικά η σχέση κατά Bieniawski μεταξύ μεγίστου χρόνου παραμονής της διατομής άνευ υποστήριξης, μέγιστης απόστασης μεταξύ υποστηριγμάτων (ή διάμετρος διατομής, εάν αυτή είναι, μικρότερη, όπως έχει προαναφερθεί), βαθμονόμησης κατά Bieniawski και χαρακτηρισμού της βραχομάζας.

Όδηγός για επίλογό της Προσωρινής Υποστηρίξεως σε Σήραγγα Διαμέτρου 5-12m σε Μικρό Βάθος (Bieniawski)

Κλάση βραχομάζας	Ένοπλκτικκά συστήματα ύποστηρίξεως σε κατασκευή με συμβατικά μέσα		
	Κυρίως ήλώσεις* (κοχλιώσεις)	Κυρίως εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (gunite)	Κυρίως χαλύβδινα πλισία
I	Γενικά δέν απαιτείται ύποστήριξη		
II	Έλώσεις με άραιωση 1,5-2m και κατά περί- πτωση πλέγμα στην ό- ροφή	50mm στην όροφή	άντισοικονομικά
III	Έλώσεις με άραιωση 1,0-1,5m και πλέγμα και 30mm gunite στην όροφή όπου χρειάζεται	100mm στην όροφή και 50mm στις πλευρές και κατά περίπτωση πλέγμα και ήλώσεις όπου χρει- άζεται	Έλαφρά με άραιε 1,5-2m
IV	Έλώσεις με άραιωση 0,5-1,0m και πλέγμα και 30-50mm gunite στην όροφή και τις πλευρές	150mm στην όροφή και 100mm στις πλευρές και πλέγμα και ήλώσεις, 3m μήκους με άραιωση 1,5m	Μέσα, με άραιωση 0,7-1,5m και 50mm gunite στην όροφή
V	Δέν συνιστάται	200mm στην όροφή και 150mm στις πλευρές και πλέγμα, ήλώσεις και έλαφρά πλισία	Βαριά με άραιωση 0,7m και άπομόνωση Gunite 75mm τό συν- τομότερο δυνατό

* Κοχλιώσεις με ραβδίες 20mm διαμέτρου, 100mm τό, από τμή έξτρας της σήραγγας.

Πίνακας 9

Γεωμετρική Ταξινόμηση Βραχομάζας με Άσυνχεις (κατά BIEŃIAWSKI, 1974)

Α. Πυραμειτροί ταξινομήσεως και βαθμονόμησή τους

1	Άντοξη συμπεριφοράς κεραιμυγούς	Δείκτης άντοχής φορτήσεως μήγης (Mrp)	8	4-8	2-4	1-2	Προτιμώται ή δοκιμη άνεμοδοιστης όλιωης		
		Άντοχή στην άνεμοδοιστη όλιωης (λ - α)	200	100-200	50-100	25-50	10-25	3-10	1-3
	Βαθμός		15	12	7	4	2	1	0
2	Ποιότητα πυρήνα ROD(%)		90-100	75-90	50-75	25-50	25		
	Βαθμός		20	17	13	8	3		
3	Άπόσταση μεταξύ άσυνχειών (m)	3	1-3	0.3-1	0.05-0.3	< 0.05			
	Βαθμός		30	25	20	10	5		
4	Κατάσταση διακλάσεων		Πολύ τραχειές έπιφανείες. Άσυνχειές. Χωρίς διαχωρισμό. Σκληρά τοιχώματα	Έλαφρά τραχειές έπιφανείες διαχωρισμός < 1mm. Σκληρά τοιχώματα	Έλαφρά τραχειές έπιφανείες διαχωρισμός < 1mm. Μαλακά τοιχώματα	Έπιφάνεια όλισθηράς (slippery) ή ύλικο πλήρωσας < 5mm ή διακλάσεις άνοικτές 1-5mm. Συνεχείς διακλάσεις	Μηλακό ύλικο πλήρωσας πύχους > 5mm ή διακλάσεις άνοικτές > 5mm. Συνεχείς διακλάσεις		
	Βαθμός		5	20	12	6	0		
5	Είσοδη για 10m μήκους σιραγγας		Κυριά	25 l/min	25-125 l/min	> 125 l/min			
	Τιμη κλάσματος πίεσας νερού διακλάσεων δια της μεγίστης κυρία σης		0	0,0-0,2	0,2-0,5	0,5			
	Γενικές συνθήκες		Έντελώς στεγνά	Υγρό μονο	Νερό κάτω άπο μέτρια πίεση	Σοβίλα προδύστα νερού			
	Βαθμός		10	7	4	0			

Β. Προσαρμογή με βίση τόν προσανατολισμό τών διακλάσεων

Διεύθυνση και κλίση διακλάσεων	Πολύ εύνοική	Εύνοική	Μέτρια	Δυσμενης	Πολύ δυσμενης
Βαθμός					
Σήραγγες	0	-2	-5	-10	-12
Θεμελιώσεις	0	-2	-7	-15	-25
Πρανή	0	-5	-25	-50	-60

Γ. Ταξινόμηση βραχομάζας και βαθμολογία της*

Κατηγορία	I	II	III	IV	V
Χαρακτηρισμός	Πολύ καλή	Καλή	Μέτρια	Πτωχη	Πολύ πτωχη
Βαθμολογία	100-90	90-70	70-50	50-25	< 25

Δ. Τεχνική σημασία ταξινομήσεως

Κατηγορία	I	II	III	IV	V
Μέσος χρόνος διατήρησεως διατομής**	10 χρόνια για άνοιγμα 5m	6 μήνες για 4m άνοιγμα	1 εβδομάδα για 3m άνοιγμα	5 φρες για 1.5m άνοιγμα	10min για 0.5m άνοιγμα
Συνοχή βραχομάζας (kpa)	300	200-300	150-200	100-150	100
Γωνία τριβής βραχομάζας	45°	45-50°	35-40°	30-35°	30°

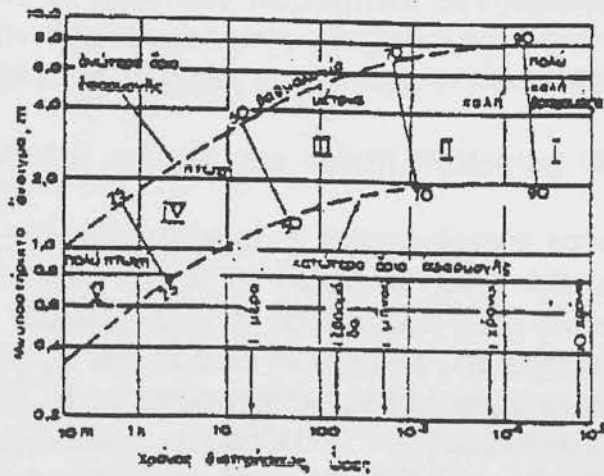
* Πρόσθεση τών μερών βαθμολογιών

** Βίση σήμα 3.

Σημασία του Προσανατολισμού Άσυνχειών σε Σήραγγα (Wickham et al)

Διεύθυνση κάθετη στον άξονα της σήραγγας				Διεύθυνση παράλληλη με τον άξονα της σήραγγας	
Προχώρηση σύμφωνα με την κλίση		Προχώρηση αντίθετα με την κλίση			
Κλίση 45°-90°	Κλίση 20°-45°	Κλίση 45°-90°	Κλίση 20°-45°	Κλίση 45°-90°	Κλίση 20°-45°
Πολύ εύνοικη	Εύνοικη	Μέτρια	Δυσμενής	Πολύ δυσμενής	Μέτρια
Κλίση 0°-20°		Δυσμενής ανεξάρτητα από την διεύθυνση			

Πίνακας 11



«Γεωμηχανική» ταξινόμηση για σήραγγες (τροποποίηση από Lauffer, 1958 του Bieniawski, 1973)

Πίνακας 12

ΚΑΤΑ BARTON (NGI) (1974)

Στην ταξινόμηση των Barton et al. η βραχομάζα βαθμονομείται με το δείκτη ποιότητας Q . Ο δείκτης αυτός είναι συνάρτηση έξι παραμέτρων και προσδιορίζεται από τη σχέση

$$Q = (RQD/J_n) \times (J_r/J_a) \times (J_w/SRF)$$

στην οποία

J_n : συντελεστής που εξαρτάται από τον αριθμό των οικογενειών των ασυνεχειών (σχιστότητα, αρμοί στρώσης, διακλάσεις) και κυμαίνεται από 0,5-20.

J_r : συντελεστής τραχύτητας των ασυνεχειών. Κυμαίνεται από 1,0-4,0.

J_a : συντελεστής εξαλλοίωσης των ασυνεχειών. Κυμαίνεται από 0,75-20,0.

J_w : συντελεστής αναγωγής του νερού των ασυνεχειών. Κυμαίνεται από 0,05-1,0.

SRF: συντελεστής αναγωγής της εντατικής κατάστασης. Κυμαίνεται από 0,5-15,0.

Στον Πίνακα 13 παρατίθενται οι τιμές των παραμέτρων αυτών σε σχέση με την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το πέτρωμα.

Η ταξινόμηση των Barton et al. προϋποθέτει μέτρηση επί τόπου της συναρμογής του βράχου και της εντατικής κατάστασης. Αφού προσδιοριστούν τα μεγέθη αυτά, τότε οι τιμές των παραπάνω συντελεστών λαμβάνονται από πίνακες (π.χ. για την περίπτωση μιας βραχομάζας η οποία χαρακτηρίζεται με δύο δέσμες ασυνεχειών με τραχείες επιφάνειες, οι συντελεστές J_n , J_r έχουν τιμές $J_n = 4$, $J_r = 1.5$).

Στον Πίν. 14 δίνονται οι τιμές του δείκτη ποιότητας Q . Χαρακτηρίζεται με τιμές: $0.01 > Q > 400$.

Στην ταξινόμηση των Barton et al. οι προτεινόμενοι τρόποι υποστήριξης δεν αντιστοιχούνται αποκλειστικά με το δείκτη Q αλλά και με τις τιμές των επί μέρους ποσοτήτων RQD/J_n , J_r/J_a . Η εξειδίκευση αυτή είναι απαραίτητη, επειδή π.χ. δύο βραχομάζες με ίδιο Q είναι δυνατό σε μία περίπτωση που το RQD/J_n είναι μεγαλύτερο από 10 να υποστηριχθεί με ήλωση, ενώ για μια τιμή μικρότερη από το 10 με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της εκσκαφής καθώς και η χρήση της (δείκτης ESR, Πίν. 15) λαμβάνονται υπόψη με την ισοδύναμη διάσταση De που ορίζεται με τη σχέση

$$De = \text{άνοιγμα/ESR}$$

Οι εξειδικεύσεις αυτές οδηγούν τελικά σε 38 κατηγορίες υποστήριξης οι οποίες περιέχονται σε πίνακες.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το Νομογράφημα του Σχ. 16. Το Νομογράφημα δείχνει παραστατικά την ανάγκη ή όχι να υποστηριχθεί μια εκσκαφή και συναρτά την κατηγορία υποστήριξης με το δείκτη ποιότητας Q και την ισοδύναμη διάσταση De . Η κατώτερη διαγώνια γραμμή στο σχήμα αυτό αντιστοιχεί στο όριο μεταξύ αυτοϋποστηριζόμενων εκσκαφών και εκσκαφών που χρειάζονται μόνιμη υποστήριξη. Η εξίσωσή της είναι $De = 2Q^{0.4}$.

Οι Barton et al. προτείνουν και μια εμπειρική σχέση που συνδέει τη φόρτιση που θα δεχθεί η οροφή της υποστήριξης με την ποιότητα της βραχομάζας Q .

$$P_{\text{οροφής}} = (2/J_r) Q^{-1/3}$$

Το διάγραμμα του Σχ. 17 αντιστοιχεί στην εξίσωση αυτή. Το σκιασμένο τμήμα του αφορά το εύρος παυ αντιστοιχεί στην πράξη.

Μια βελτιωμένη έκφραση της προηγούμενης σχέσης λαμβάνει υπόψη και τον αριθμό των οικογενειών (J_n).

$$P_{\text{οροφής}} = 2J_n^{1/2}Q^{-1/3}/3J_r$$

Σύμφωνα με τους Barton et al. τα βάθρα θα δεχθούν μικρότερες ωθήσεις από ότι η οροφή. Διατυπώνουν έτσι ένα "δείκτη ποιότητας των βάθρων" σαν συνάρτηση του δείκτη ποιότητας της βραχομάζας Q . Συνιστούν έτσι όπως για περιπτώσεις όπου $Q > 10$ ο δείκτης ποιότητας των βάθρων λαμβάνεται ίσος με $5Q$, για $0,1 < Q < 10$ ίσος με $2,5Q$ και για $Q < 0,1$ ίσος με $1Q$.

Τιμές Παραμέτρων στην Ταξινόμηση Barton, Lien και Lunde

Α. Αριθμός οικογενειών τών άσυνχειών		Jn
συμπυκνές ή λίγες άσυνχειες		0,5-1
μιά οικογένεια		2,0
δύο οικογένειες	για διασταυρώσεις: 3Jn	4,0
τρεις οικογένειες	για εισόδους: 2Jn	9,0
τέσσερες ή περισσότερες οικογένειες,		
πολύ διακλασμένο		15,0
κοινοτοποιημένο πέτρωμα (σάν έδαφος)		20,0
Σί περίπτωση, έπί κέλον και τυχαίων οικογενειών ρωγμών παρεμβολή κατά περίπτωση (π.χ. τρεις οικογένειες + τυχαίες: Jn=12)		
Β. Γραχύτητα τών άσυνχειών		Jr
άσυνχεις διακλάσεις		4,0
τραχείες, κυματώδεις, άκανόνιστες		3,0
όμαλές, κυματώδεις		2,0
τραχείες, έπίπεδες/όλισθηρές, κυματώδεις		1,5
όμαλές, έπίπεδες		1,0
όλισθηρές, έπίπεδες		0,5
άσυνχεις με ύλικό κληρώσεως ώστε να μήν εφάπτονται		1,0
τά τοιχώματα		
προστίθεται 1,0 άν ή μέση άρραίωση κυρίων διακλάσεων κερνά τα 3m		
Γ. Ύλικό κληρώσεως και άποσάθρωση τοιχωμάτων πετρώματος		Ja
α) Χωρίς ούσιαστικό ύλικό κληρώσεως	φ(ένδειξη)	
«έκουλωμένες» (ύγεις)		0,75
«ελασισμένο» τοιχώματα: δέν ύκάρχει άποσάθρωση	(25°-35°)	1,0
άμμόδεις ύμένους/έλαφρά άποσάθρωμένα τοιχώματα	(25°-35°)	2,0
βλο-άργιλικός ύμένος (στιφρός)	(20°-25°)	3,0
ύμένος άπό άργιλικό (μαλακό) ή άρυκτά		
μικρής φ(τύκτης, χλωρίτης, ύψους) άσυνχεις	(8°-16°)	4,0
ύμένες 1-2mm πάχους		
β) Με ύλικό κληρώσεως		
άπό άμμο ή κοινοτοποιημένο πέτρωμα	(25°-30°)	4,0
άπό σιφρή άργιλο < 5 mm πάχους (συνχεις)	(16°-24°)	6,0
άπό μαλακή άργιλο < 5 mm πάχους (συνχεις)	(12°-16°)	8,0
άπό διογκουμένη άργιλο < 5 mm πάχους (συνχεις)	(6°-12°)	8,0-12,0*
ζώνες άπό άποσυνθετισμένο ή θρυμματισμένο		6,0-8,0 ή
πέτρωμα και άργιλο		8,0-12,0
(ένάλογα με τον τύπο του άργιλικού ύλικού βλ. άνωτέρω)		
ζώνες άπό έλυωδή ή άμμόδη άργιλο, μικρή ποσότητα		5,0
μη μαλακής άργιλου.		
άπό σιφρή άργιλο > 5 mm πάχους		10,0
άπό μαλακή άργιλο > 5 mm πάχους		13,0
άπό διογκουμένη άργιλο > 5 mm πάχους		13-20*
Δ. Κατάσταση άπό πλευράς ύδάτων		Jw
στενό πέτρωμα ή λίγο νερό (τοπικά 5 l/min)		1,0
μέση είσοδή νερού/μέση πίεση (1-2,5 kg/cm ²)		0,6f
μεγάλη παροχή ή πίεση (ρωγμές χωρίς ύλικό κληρώσεως)		0,5
μεγάλη παροχή ή πίεση (ρωγμές με ύλικό κληρώσεως και		0,55
άποπλύνεται σημαντικά)		
ύψηλή παροχή ή είσοδη με προοδευτική μείωση (10kg/cm ²)		0,2-0,1
ύψηλή συνεχής παροχή		0,1-0,05
Αύξηση Jw άν ύκάρχει άποστράγγιση		

* Η τιμή του Ja εξαρτάται άπό τό ποσστό του διογκουμένου άρυκτού, (π.χ. μαγνημιλιούτου), την ποσότητα νερού κ.λ.π.

Συνέχεια Πίνακα 13

β. Στενωτικές άνοιγμάς τύσεων		SRF	
α. Αφθονες ζώνες που τέμνουν ή επηρεάζουν την έκτασή τους και μπουκιά να χαλαρώσουν τη βραχυμιάζα, με την εκτυστική της σήραγγας.*			
Αφθονες άσθενείς ζώνες με άργιλικό ύλικό ή άπαισθημένο πέτρωμα, πολύ χαλαρό περιβάλλον πέτρωμα (για όποιοδήποτε βάθος)		10	
Μεμονωμένες άσθενείς ζώνες ως άνωτέρω (βύθος σήραγγας < 50m)		5,0	
Μεμονωμένες άσθενείς ζώνες ως άνωτέρω (βύθος σήραγγας > 50m)		2,5	
Αφθονες διατηρημένες ζώνες σε σκληρό πέτρωμα, χωρίς άργιλικό ύλικό, χαλαρό περιβάλλον ύλικό (για όποιοδήποτε βάθος)		7,5	
Μεμονωμένες ζώνες ως άνωτέρω (βύθος σήραγγας < 50m)		5,0	
Μεμονωμένες ζώνες ως άνωτέρω (βύθος > 50m)		2,5	
Χαλαρές άνοικτες ύσυνέχειες, έντονα διακλωσμένη μάζα (για όποιοδήποτε βάθος)**		5,0	
β. Σκληρό πέτρωμα, κατάσταση τύσεων**			
Χαμηλές τύσεις, κοντά στην έκφάνεια***	$\sigma_c/\sigma_t > 200$	$\sigma_t/\sigma_c > 13$	2,5
Μέσες τύσεις	200-10	13 -0,66	1,0
Υψηλές τύσεις, πολύ «σφικτή» δομή	10- 5	0,66-0,33	0,5-2,0
Μυλική «έκτινάζη» σκληρού πετρώματος	5- 2,5	0,33-0,16	5-10
Έκτονη «έκτινάζη» σκληρού πετρώματος	<2,5	<0,16	10-20
γ. Συμπιεστό πέτρωμα: πλαστική ροή δόκτιμου πετρώματος κάτω από ύψηλές τύσεις.			
Μέτρια πίεση από τη συμπίεσότητα			5-10
Μαγνή πίεση από τη συμπίεσότητα			10-20
δ. Διευκολύμενο πέτρωμα «χημική» διόγκωση σε συνάρτηση με την πίεση του νερού			
Μέτρια πίεση			5-10
Μαγνή πίεση			10-15

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.

Γενίωσηση Ποιότητας Βραχυμιάζας σε σχέση με το Q

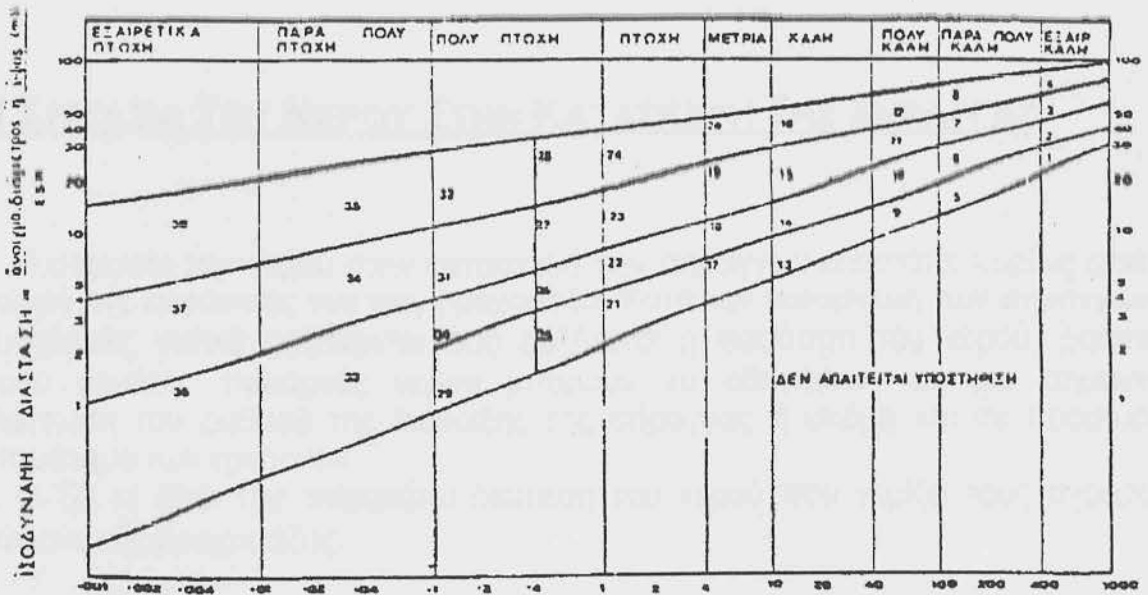
Q	Χαρακτηρισμός ποιότητας για σήραγγες
<0,01	έξαιρετικά πτωχή
0,01 - 0,1	άρα πολύ πτωχή
0,1 - 1,0	πολύ πτωχή
1,0 - 4,0	πτωχή
4,0 - 10,0	μέτρια
10,0 - 40,0	καλή
40,0 - 100,0	πολύ καλή
100,0 - 400,0	άρα πολύ καλή
>400	έξαιρετικά καλή

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3.

Τιμές του ESR Άνάλογα με τις Ποικιλίες Υπόγειων Έκσκαφών (Barton et al).

ΤΥΠΟΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	ESR
A Προσωρινά άνοιγματα μεταλλείου, κ.λ.π.	3-5*
B Κατεκόρυφα φρέατα κυκλικής διατομής ύδρογώνιας/τετραγωνικής διατομής	2,5** 2,0**
C Μόνιμα μεταλλευτικά άνοιγματα, σήραγγες νερού για ύδρευση/ελεκτρικά έργα (έκτός από ύψηλές πίεσεις), διερευνητικές σήραγγες (pilot) κ.λ.π.	1,6
D Μικρές δδικές-σιδηροδρομικές σήραγγες, στοές προσελάσεων, άποθηκευτικοί θάλμοι, κ.λ.π.	1,3
E Μεγάλες δδικές-σιδηροδρομικές σήραγγες, θάλμοι ενεργειακών σταθμών, καταφύγια πολιτικής άμυνας, διασταυρώσεις, κύλες (άρχιτά τμήματα σήραγγων) κ.λ.π.	1,0
F Σταθμοί σιδηροδρόμων, έργαστάσια, ύπόγειοι πυρηνικοί σταθμοί.	0,8*

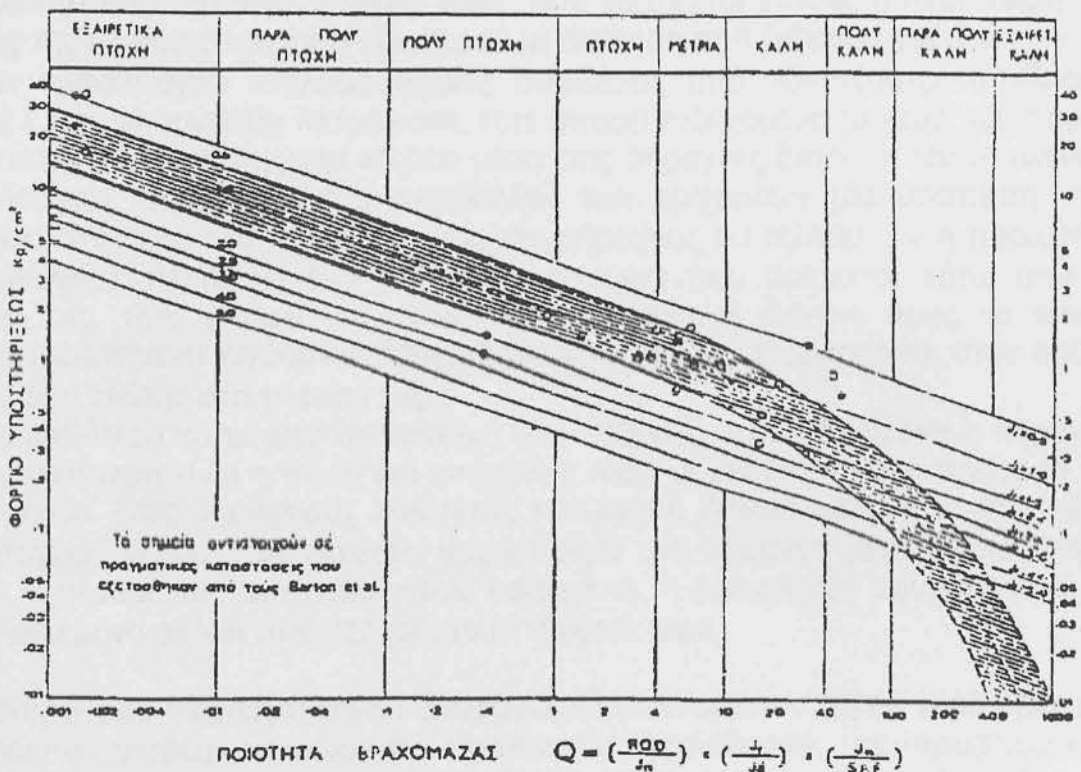
* Περιορισμένος βαθμός λόγω μικρού ως μηδενικού (**) συσχετισμού με άρμεμιακές περιπτώσεις



ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ $Q = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) \cdot \left(\frac{1}{J_b} \right) \cdot \left(\frac{J_w}{S \cdot F} \right)$

Κατηγορία υποστηρίξεως όροφος ανάλογα με την ποιότητα της βραχομάζας και τον τύπο και άνοιγμα της υπόγειας έκσκαφής. (Baron, 1974).

Σχήμα 16



ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ $Q = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) \cdot \left(\frac{1}{J_b} \right) \cdot \left(\frac{J_w}{S \cdot F} \right)$

Διάγραμμα εκτιμήσεως φορτίου υποστηρίξεως όροφος από τα χημικηριστικά ποσοτήτες της βραχομάζας (Baron, 1974).

* Στις εξαιρετικές περιπτώσεις διάσπαρσης, διεγκλώσεως, λίγης απόδοσης νερού, μικρότερη τιμή ίσως είναι άπαραίτητη.

Σχήμα 17

Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Η σημασία του νερού στην κατασκευή των σηράγγων εξαρτάται κυρίως από τη μορφή της εμφάνισής του στη βραχομάζα. Κατά την κατασκευή των σηράγγων οι δυσχέρειες γενικά αυξάνονται όσο αυξάνεται η ποσότητα του νερού. Ξαφνικές πολύ μεγάλες προσροές νερού μπορούν να οδηγήσουν σε μια σημαντική ελάττωση του ρυθμού της διάνοιξης της σήραγγας ή ακόμη και σε προσωρινό σταμάτημα των εργασιών.

Ο Sti ni δίνει την παρακάτω διαίρεση του νερού που γεμίζει τους ανοιχτούς χώρους της βραχομάζας.

1. Νερό των πόρων.
2. Νερό των κατατμήσεων.
3. Νερό των ρωγμών (καρστικό νερό).

1. Νερό των πόρων: Αυτό βρίσκεται τόσο στα χαλαρά πετρώματα, όσο και στα στερεά πετρώματα που παρουσιάζουν ανάλογους πόρους και ανοιχτούς χώρους. Όταν είναι δυνατόν, τοποθετούμε τις σήραγγες πάνω από την επιφάνεια της στάθμης του υπόγειου νερού. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να εξετάζονται οι διακυμάνσεις της στάθμης του υπόγειου νερού. Αν εξαναγκάζεται κανείς να προχωρήσει κάτω από το υπόγειο νερό, τότε εξετάζεται επίσης η περίπτωση της πτώσης της στάθμης του υπόγειου νερού με άντληση από διάφορα φρέατα.

Όταν εμφανίζονται εναλλασσόμενες αποθέσεις από αδιαπέρατες αργίλλους, μάργες κ.λ.π. με πορώδη πετρώματα, τότε μπορεί ενδεχόμενα το νερό των πόρων από κατατμήσεις και ρήγματα να ρέει μέσα στις σήραγγες. Εκτός αυτού το άνοιγμα της σήραγγας δημιουργεί στο περιβάλλον των τριχοειδών μία υποπίεση, που επιτρέπει στο νερό του περιβάλλοντος της σήραγγας να εξέλθει. Αν η προώθηση της σήραγγας πλησιάζει ένα υδροφόρο στρώμα που βρίσκεται κάτω από το δάπεδό της, τότε μπορεί να προκληθεί μια ξαφνική ώθηση προς τα πάνω. Ανάλογα φαινόμενα ισχύουν επίσης, όταν αυτές οι ζώνες βρίσκονται στην οροφή της στοάς ή επίσης στα πλευρά της.

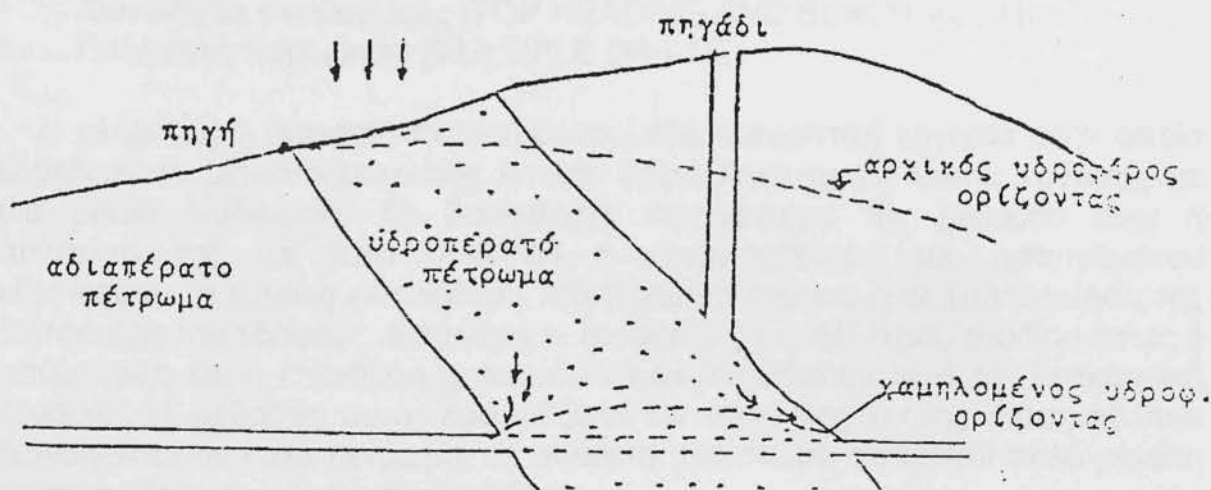
Όσο βαθύτερα κάτω από την στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται η σήραγγα, τόσο μεγαλύτερη είναι η πίεση και επομένως τόσο μεγαλύτερη και η προσροή του νερού. Όταν ένας υδροφόρος ορίζοντας κατέρχεται βαθειά κάτω από τη στάθμη του υπόγειου νερού, τότε εκρέουν αρχικά μέσα στη σήραγγα μεγάλες ποσότητες νερού. Η στάθμη του υπόγειου νερού κατέρχεται, η βραχομάζα αφυδατώνεται και τελικά ρέει μόνο ακόμη το κατερχόμενο μετεωρικό νερό.

2. Νερό των κατατμήσεων: Επιφανειακά εκτεταμένο υπόγειο νερό βρίσκεται σε κλειστά στερεά πετρώματα, προπαντός ηφαιστειακά, σε κρυσταλλικούς σχιστόλιθους και σε μη καρστικοποιημένους ασβεστόλιθους. Το νερό κυκλοφορεί μέσα σε ένα πλήθος από λεπτές κατατμήσεις και ρωγμές. Στις σήραγγες βρίσκονται τελείως ξηρές περιοχές αλλά και πολυάριθμες ζώνες και κατατμήσεις με σταγονοειδές νερό ή μικρές ψιχάλες. Ισχυρότερες προσροές παρουσιάζονται μόνο ευκαιριακά.

3. Νερό των ρωγμών (καρστικό νερό): Το νερό αυτό αποτελεί τυπική εμφάνιση καρστικοποιημένων ευδιάλυτων πετρωμάτων. Το νερό κυκλοφορεί εδώ σε ρωγμές και σωλήνες με μεγάλο άνοιγμα. Ενδιάμεσα μπορούν να υπάρχουν τελείως στεγανά πετρώματα. Εδώ μπορούν να παρουσιάζονται ανάλογα με τις συνθήκες σημαντικές πιέσεις, που μπορούν να οδηγήσουν σε ξαφνικά τινάγματα των υλικών των κατατμήσεων και προσροές μεγάλων ποσοτήτων νερού.

Ένα από τα δυσκολότερα προβλήματα που παρουσιάζονται κατά τη διάνοιξη μιας σήραγγας είναι το πρόβλημα της διευθέτησης της ροής του νερού που προσρέει στη σήραγγα μετά το τέλος των εργασιών της διάνοιξής της δηλαδή κατά το τελειωτικό στάδιο εκμετάλλευσης και χρησιμοποίησης της σήραγγας. Ενώ παλιότερα υπήρχε η άποψη, ότι το νερό θα πρέπει να απομακρύνεται με αποστραγγιστικούς αγωγούς, επεκράτησε η αντίληψη, ότι μετά το τέλος της σήραγγας θα πρέπει να επιφέρουμε ξανά την παλιά κατάσταση στη βραχομάζα και το νερό με διάφορα κατάλληλα μέτρα εισπιέσεις κ.λ.π., να το επαναφέρουμε ξανά μέσα στη βραχομάζα. Ως αιτιολογικό αυτής της γνώμης θεωρείται, ότι το τρεχούμενο νερό καταστρέφει με το χρόνο την επένδυση της σήραγγας. Εκτός αυτού οι αποστραγγιστικοί αγωγοί θα μπορούν να καταστραφούν με το χρόνο και το νερό μπορεί να απορρέει ανεξέλεγκτο και επομένως θα μπορούσε να προκαλέσει πρόσθετες βλάβες.

Μια γενική απόφαση για τη σωστή ενέργεια δεν είναι δυνατή. Αυτή εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες της βραχομάζας και προ παντός από τη χρησιμοποίηση της σήραγγας. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι με μια επαναφορά του νερού στη βραχομάζα το νερό μπορεί να ανέλθει ψηλότερα και τότε θα πιέζει τα τοιχώματα της σήραγγας με υψηλές πιέσεις.



Τροποποίηση των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής της σήραγγας. Μεγάλες εισροές νερών στη σήραγγα λόγω υδροφόρου οριζοντα, υποβιβασμός της στάθμης του με συνέπεια τη στέρηση της πηγής και του πηγαδιού.

Γ. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

ΓΕΝΙΚΑ

Όσο μεγαλώνει το πλήθος των παραγόντων που επηρεάζουν την κατασκευή των υπογείων έργων πολλαπλασιάζονται τα στάδια της κατασκευής. Η κατασκευή μιας τυπικής σήραγγας απαιτεί την διεξαγωγή των ακόλουθων εργασιών:

- Εκσκαφή
- Υποστήριξη
- Μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής
- Μόνιμη επένδυση
- Υδατοπροστασία και αποχέτευση
- Αερισμό, φωτισμό και άλλες μηχανολογικές εργασίες

Ο κύκλος αυτών των εργασιών μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους οι οποίες είναι:

- Η ολομέτωπη εκσκαφή (FULL FACE)
- Διάνοιξη με αναβαθμούς (TOP HEADING AND BENCH)(σχ.1).
- Πολλαπλή προώθηση (MULTIPLE DRIFTS)

Η ολομέτωπη εκσκαφή περιλαμβάνει κάθε εκσκαπτική εργασία στην οποία ολόκληρο το μέτωπο εκσκαφής κινείται παράλληλα με τις λοιπές εργασίες σε μια ενιαία διαδικασία. Το βασικότερο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η απλότητά της και κατα συνέπεια η ελαχιστοποίηση του απαιτούμενου εξοπλισμού, η εύκολη εκπαίδευση του προσωπικού και η ελαχιστοποίηση της διατάραξης του εδαφους. Επιπλέον οι λειτουργίες του δεύτερου σταδίου όπως η υποστήριξη και η επένδυση, μπορούν να ακολουθήσουν μετά την εκσκαπτική εργασία. Η μέθοδος αυτή, εφαρμόζεται σε σήραγγες μικρής διατομής που διανοίγονται σε καλό πέτρωμα, σε αντίθετη περίπτωση απαιτείται πολύ μεγάλη δαπάνη εξοπλισμού και υποστήριξης.

Η μέθοδος διάνοιξης με αναβαθμούς βρίσκει εφαρμογή σε μεγάλες σήραγγες και δύσκολες συνθήκες πετρώματος ή εδάφους. Σε δύσκολες συνθήκες εδάφους χρησιμοποιείται εκεί όπου η ολομέτωπη εκσκαφή δεν μπορεί να συγκρατήσει την περιοχή του μετώπου, ενώ με την σταδιακή εκσκαφή μικρότερων μετώπων επιτυγχάνεται η υποστήριξη αυτών. Το κύριο μειονέκτημα είναι η πολυπλοκότητα της μεθόδου αυτής σε κάθε φάση της κατασκευαστικής διαδικασίας.

Η κατασκευή σήραγγων σε πετρώματα γίνεται:

- α) με την χρησιμοποίηση εκρηκτικών και
- β) με μηχανήματα.

Ο πλήρης κύκλος διάνοιξης σήραγγας με χρήση εκρηκτικών περιλαμβάνει τις εξής λειτουργίες:

- Διάτρηση μετώπου (Drilling)
- Αποχώρηση διατρητικών μηχανών
- Γόμωση με εκρηκτικά και αποχώρηση ανθρώπινου δυναμικού
- Πυροδότηση
- Ξεσκάρωμα βράχων
- Μεταφορά προϊόντων εκσκαφής
- Εγκατάσταση άμεσης υποστήριξης

Η κατασκευή σηράγγων με την χρήση εκρηκτικών η οποία είναι μια βίαιη εξόρυξη υπόγειας εκσκαφής διαταράσσει τον βράχο στην γύρω περιοχή η οποία θεωρείται ότι είναι διαταραγμένη.

Η χρήση μηχανημάτων εκσκαφής σηράγγων έχει πολλά πλεονεκτήματα και παρουσιάζεται στις περισσότερες περιπτώσεις. Η επιλογή των μηχανημάτων εξαρτάται απο το οικονομικό κόστος, απο τη διάρκεια ζωής του μηχανήματος, το κόστος αντικατάστασης των μελών του, την εφαρμογή του μηχανήματος όσον αφορά την χρησιμότητα και τον σχεδιασμό του μηχανήματος έτσι ώστε να επιτρέπει την διεξαγωγή διαφόρων λειτουργιών όπως την εγκατάσταση διαφόρων υποστηριγμάτων, της αλλαγής των κοπτικών εξαρτημάτων κ.λ.π.

Τα μηχανήματα διάνοιξης χωρίς εκρηκτικά μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες:

1. TBM (Tunnel Boring Machines-Μηχανήματα ολομέτωπης εκσκαφής) (σχ.2)
2. Μηχανήματα εκσκαφής απο κάτω προς τα πάνω (Undercutting machines)
3. Μηχανήματα τύπου Boom (βραχίονας) (σχ.3)

Με την χρήση TBM επιτυγχάνεται η ολομέτωπη εκσκαφή (FULL) ενώ για την εκσκαφή σε στάδια ενδείκνυνται οι άλλες μέθοδοι. Κάθε κατασκευάζεται για μία συγκεκριμένη σήραγγα, ως εκ τούτου στις συνθήκες για τις οποίες σχεδιάστηκε μπορεί να επιτευχθεί τέτοια πρόοδος στο έργο που δεν μπορεί να γίνει με καμία άλλη μέθοδο. Επίσης λόγω της ηλεκτρικής λειτουργίας του δεν παράγει καπνό, ενώ ο δημιουργούμενος θόρυβος είναι μικρός.

Η μεταφορά των προϊόντων είναι συνεχής, μειώνονται οι υπερεκσκαφές και ο γύρω βράχος παραμένει ανενόχλητος. Όμως, το TBM, λόγω της μοναδικότητάς του είναι ασύμφορο για σήραγγες μήκους κάτω από 2km, επί πλέον απαιτείται το τεχνικό προσωπικό να είναι ειδικά εκπαιδευμένο για την συγκεκριμένη μηχανή. Έτσι στερείται ευκαμψίας σε σημείο που ενδέχεται να αχρηστευθεί σε περίπτωση αλλαγής των συνθηκών αντοχής του πετρώματος.

Ένα απο τα βασικότερα στοιχεία μιας σήραγγας είναι η άμεση υποστήριξη της. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία κατασκευαστικών τεχνικών υποστήριξης. Η ανάγκη για άμεση υποστήριξη εξαρτάται απο τα γεωλογικά χαρακτηριστικά και κυρίως από τον τύπο του πετρώματος, την διεύθυνση και την κλίση των πετρωμάτων, το νερό του εδάφους, τις ιδιότητες του όγκου του πετρώματος, τον βαθμό αποσάθρωσης και τις ασυνέχειες. Η ανάγκη αυτή εξαρτάται ακόμη απο κατασκευαστικούς παράγοντες, όπως το μέγεθος και το σχήμα της σήραγγας και η μέθοδος εκσκαφής.

Η προσωρινή υποστήριξη μπορεί να προσφέρει προστασία απο την πτώση των χαλαρωμένων τεμαχίων των πετρωμάτων (καθώς καμιά αντίσταση δεν προβάλλεται απέναντι στις μετατοπίσεις των πετρωμάτων τα οποία διαταράσσονται απο την εκσκαφή), σταθεροποίηση της κοιλότητας (αφού

σταματάει τις μετατοπίσεις των πετρωμάτων πέρα από ένα ορισμένο όριο) και τέλος αποτελεί μια ανακούφιση της μόνιμης επένδυσης της σήραγγας. Οι γενικότερες μέθοδοι υποστήριξης είναι:

1. Με χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος
 - GUNITE
 - SHOTCRETE
2. Με κοχλιώσεις
 - Μηχανικά διευρυνόμενοι κοχλίες
 - Κοχλία τύπου εισερχόμενης σφήνας (SLOT AND WEDGES)
 - Κοχλία τύπου διαστελλόμενης κεφαλής (EXPANSION SHELL)
3. Με αγκυρώσεις (σχ.4). Αγκύρια με χρήση συγκολλητικών ουσιών όπως το τσιμεντένεμα και η ρητίνη.
 - Αγκύρια τύπου SWELLEX
 - Αγκύριο οπλισμένου σκυροδέματος
4. Με στοιχεία από δομικό χάλυβα
5. Με στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Σε πολλές σήραγγες απαιτείται μόνιμη επένδυση στην οποία είναι δυνατόν να ενσωματώνεται και η προσωρινή υποστήριξη. Κατά την διάνοιξη, μιας σήραγγας με T.B.M., η τοποθέτηση της μόνιμης υποστήριξης γίνεται στην ουρά του μηχανήματος και είναι απαραίτητο τα στοιχεία επένδυσης, να έχουν στιγμιαία φέρουσα ικανότητα αρκετά μεγάλη, να είναι υδατοστεγή και να επιτρέπουν την γρήγορη και απλή τοποθέτησή τους.

Οι κύριες απαιτήσεις για τα τμήματα επένδυσης είναι:

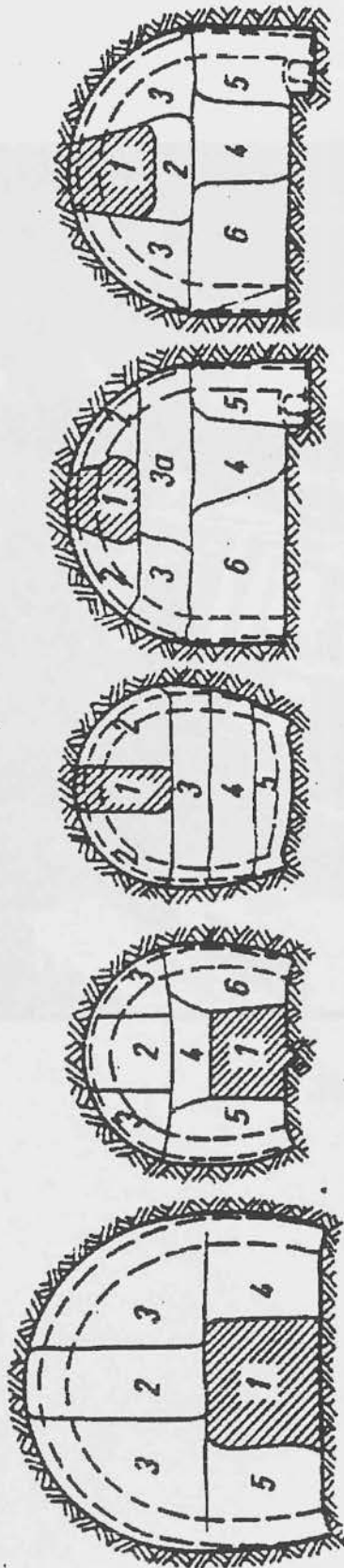
1. Άμεση φέρουσα ικανότητα απέναντι στις εξωτερικές πιέσεις νερού και εδάφους, χωρίς παράλληλα να παρουσιάζονται προβλήματα υδατοπερατότητας.
2. Αντίσταση στις κρουστικές πιέσεις που οφείλονται στον σκληρό χειρισμό, στη μεταφορά και ανέγερση.
3. Αντίσταση στις τάσεις που αναπτύσσονται κατά την διαδικασία μετακίνησης του μετώπου εκσκαφής.
4. Ανθεκτικότητα απέναντι στην υγρασία και τις επιδράσεις του εδαφικού νερού πάνω στο τμήμα αυτό καθ'αυτό και στις ενώσεις των τμημάτων και επίτευξη υδατοστεγανότητας.
5. Οικονομία στην κατασκευή και υποστήριξη.

Οι επενδύσεις σηράγγων μπορεί να είναι διπλές ή απλές. Διπλά στρώματα επενδύσεων χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται μεγάλη αντίσταση στις εξωτερικές πιέσεις και στην εισροή του νερού, ή για αισθητικούς λόγους.

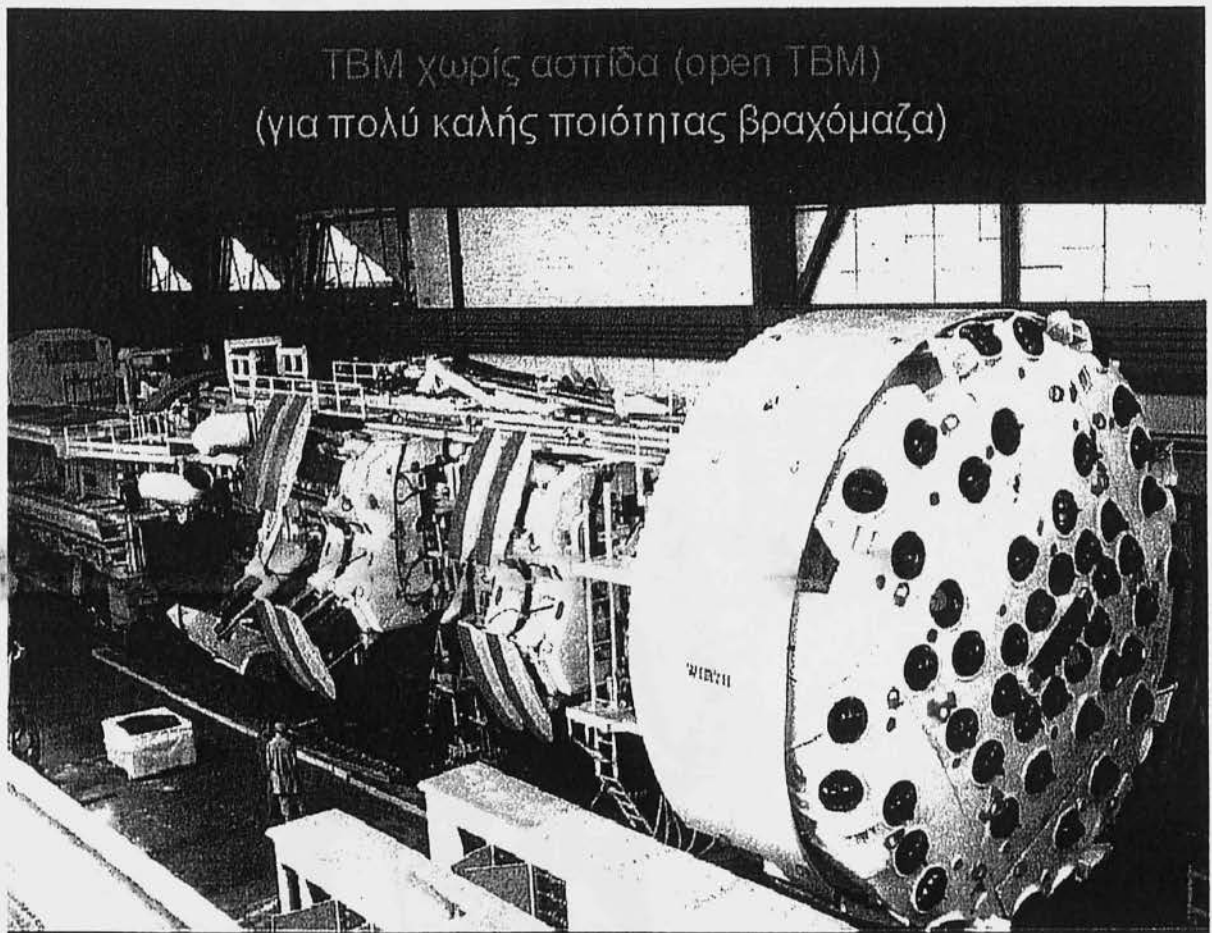
Η σημερινή πρακτική χρησιμοποιεί τρεις τύπους μόνιμης επένδυσης:

- A. Επένδυση με τμήματα από χυτοσίδηρο, δομικό χάλυβα ή σκυρόδεμα (SEGMENTS) (σχ.5).
- B. Έγχυτο οπλισμένο σκυρόδεμα.
- Γ. Τοιχοποιία.

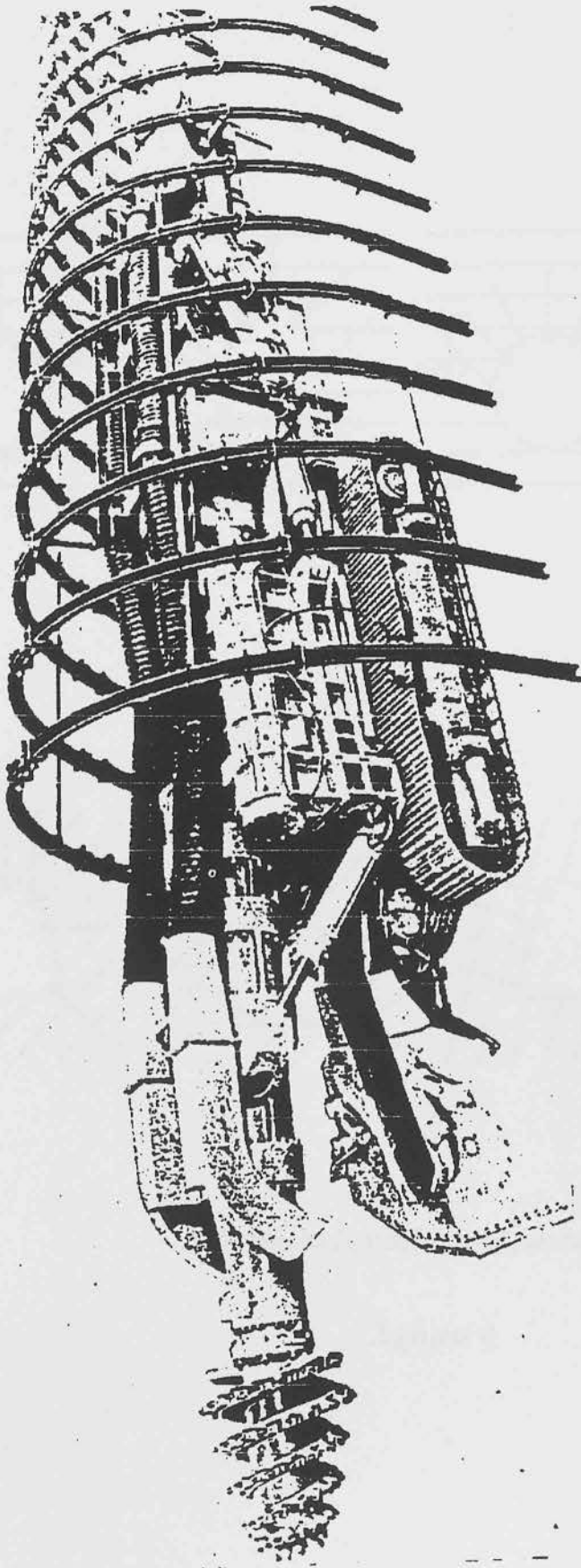
Η εξέλιξη στον τομέα των σηράγγων είναι διαρκής και ταχεία. Λόγω της ευρείας διάδοσης των ηλεκτρονικών υπολογιστών οι μέθοδοι επίλυσης με πεπερασμένα στοιχεία έχουν πλέον ευχερή εφαρμογή με αποτέλεσμα την σημαντική βελτίωση στην ανάλυση και τον σχεδιασμό των σηράγγων, που οδηγεί στο επιθυμητό και ασφαλές αποτέλεσμα συνεπικουρούμενη πάντοτε από την εμπειρία.



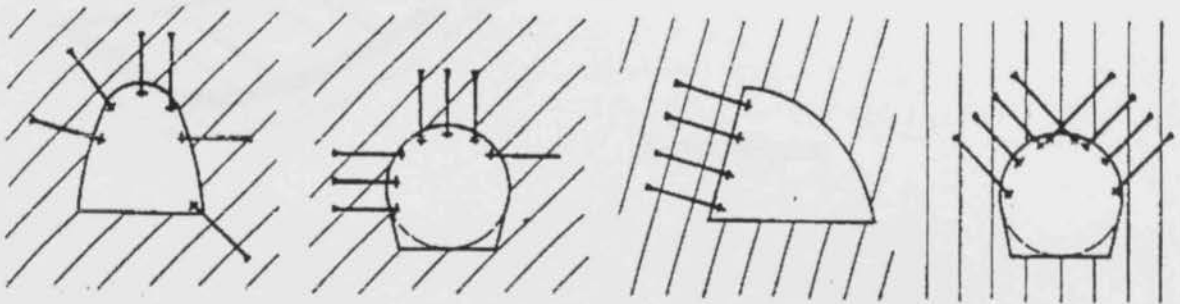
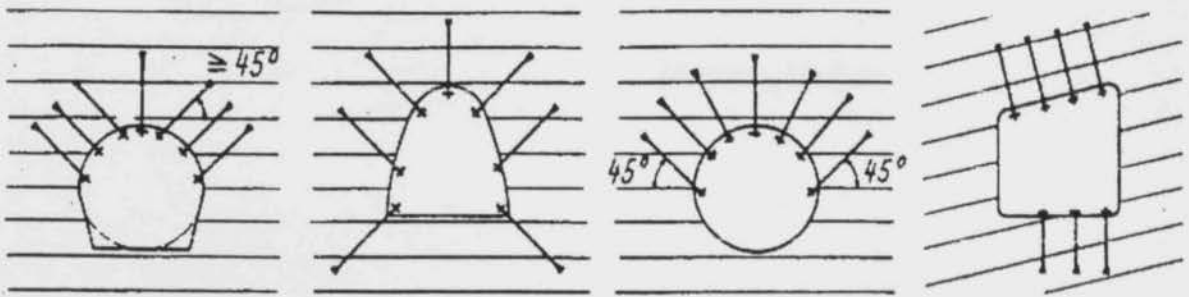
Σχήμα 1: Ενδεικτικές μέθοδοι διάνοιξης με αναβαθμούς



Σχήμα 2



Σχήμα 3: Μηχάνημα τύπου Boom (βραχίονας)

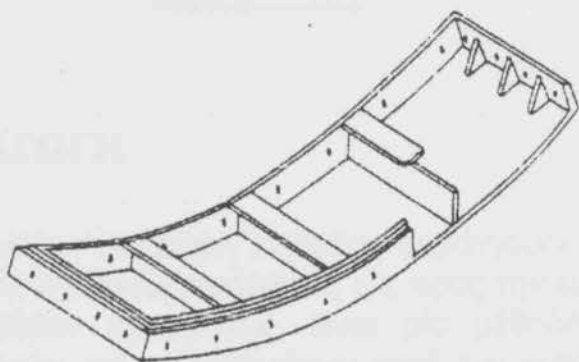


Ενδεικτικές θέσεις αγκυρώσεων

Σχήμα 4

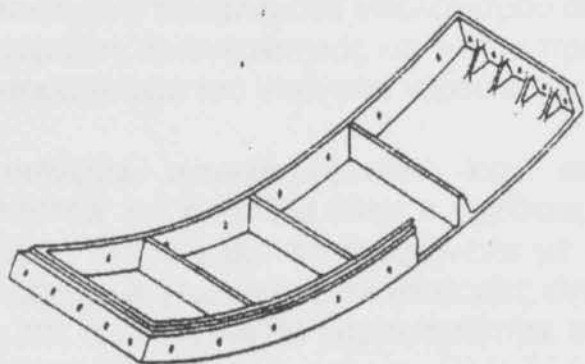
Η ΝΕΑ ΔΥΣΤΡΟΦΗ ΜΕΘΟΔΟΣ
(Σ.Α.Τ.Μ.)

Τμήματα επένδυσης

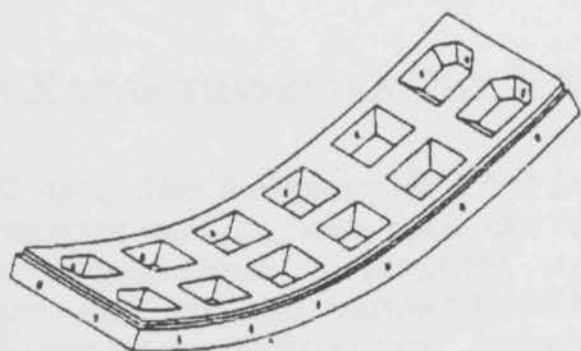


ΜΟΡΦΟΧΑΛΥΒΑΣ

Μορφοχάλυβας



Χυτοσίδηρος



Προκατασκευασμένο σκυρόδεμα

Σχήμα 5

Η ΝΕΑ ΑΥΣΤΡΙΑΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ (N.A.T.M.)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η «Νέα Αυστριακή Μέθοδος Σηράγγων» (New Austrian Tunneling Method – NATM), σχετικώς πρόσφατη ως προς την εμφάνισή της και με πολύ πρόσφατο ενδιαφέρον εφαρμογής, είναι μία μέθοδος σχεδιασμού και αντιμετώπισης συνθηκών και προβλημάτων κατά την κατασκευή σηράγγων και γενικότερων υπόγειων εκσκαφών. Γενικώς, εξετάζοντας το θέμα αυτό, οι γνωστές και εφαρμοζόμενες σήμερα μέθοδοι σχεδιασμού εντάσσονται σε τρεις ομάδες, σε τρεις φιλοσοφίες.

Φιλοσοφία εμπειρική. Πρόκειται για συμπλήρωμα της κλασσικής γεολογικής (ποιοτική ανάλυση και παρουσίαση) και τεχνικογεολογικής (ποιοτική και ποσοτική ανάλυση και παρουσίαση) μελέτης, που συνίσταται από επιπλέον ποσοτικές αναλύσεις και ταξινομήσεις, από αξιολόγηση προϋπαρχουσών ανάλογων εμπειριών και από ανάστροφες αναλύσεις (back analysis) σε συγκεκριμένα προβλήματα υπολογισμού ασκουμένων φορτίων, χαλάρωσης της βραχομάζας, αναγκαιότητας και τύπου προσωρινής υποστήλωσης, εκτιμήσεως της παραμέτρου του υπόγειου νερού κ.λ.π.

Φιλοσοφία παρατηρήσεων και μετρήσεων. Στη φιλοσοφία αυτή εντάσσεται και η NATM, όπου ο σχεδιασμός του έργου, που έχει, σε γενικές γραμμές, διατυπωθεί, επιβεβαιώνεται με τη συνεχή προχώρηση στο μέτωπο εκσκαφής. Οι γεωλογικές πληροφορίες αναλύονται και αξιολογούνται συνεχώς, άλλωστε η ίδια η NATM χαρακτηρίστηκε από τους εισηγητές της σαν εμπειρική διαστασιολόγηση.

Φιλοσοφία αναλύσεων. Εδώ το πρόβλημα αναλύεται εξαντλητικώς, με βάση τις υπάρχουσες γεολογικές πληροφορίες, ώστε να προεπιλεγούν οι ορθές παράμετροι σχεδιασμού.

ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ NATM

Ο όρος «Νέα Αυστριακή Μέθοδος Σηράγγων» (NATM) προέρχεται από τη μετάφραση του Γερμανικού όρου «die neue österreichische Tunnelbauweise», που χρησιμοποίησε ο εισηγητής της μεθόδου Rabcewicz. Σε πολλές περιπτώσεις, σαν Νέα Αυστριακή Μέθοδος, αποκαλείται, εσφαλμένως, η απλή χρησιμοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε σήραγγες και υπόγειες εκσκαφές. Όπως σωστά έχει επισημανθεί, θα ήταν περισσότερο εύστοχο αν η NATM είχε χαρακτηριστείεξ αρχής ως νέα αντίληψη, παρά ως νέα μέθοδος, πράγμα που θα είχε αποτρέψει τη δημιουργία παραμορφωτικών απόψεων και παρερμηνειών. Βεβαίως, η συγκεκριμένη πρακτική αντιστήριξης χρησιμοποιείται και στο πλαίσιο της NATM, αλλά δεν μπορεί μόνη της να την αντιπροσωπεύσει, καθώς η NATM χρησιμοποιεί συνδυασμό ίδιων ή ανάλογων

πρακτικών, αλλά, κυρίως, χαρακτηρίζεται από μία συγκεκριμένη θεώρηση και αντιμετώπιση της ίδιας της βραχομάζας.

Οι συμβατικές μέθοδοι κατασκευής σηράγγων βασίζονται, γενικώς, στην τοποθέτηση μιας προσωρινής υποστήριξης κατά την κατασκευή. Η υποστήριξη αυτή περιλαμβάνει, κατά περίπτωση και με ενδεχόμενους συνδυασμούς, επένδυση (από σανίδες, πλάκες μπετον ή μεταλλικές), υποστηλώματα ξύλινα ή ματαλλικά (χαλύβδινες αψίδες ή διατομές), πάνω στα οποία τοποθετείται η επένδυση, ηλώσεις ή αγκυρώσεις και σκυροδέτηση του χώρου μεταξύ τοιχωμάτων και επενδύσεως.

Οι λύσεις αυτές, σύνθετες, δαπανηρές και αλληλοεπικαλυπτόμενες, σε κάποιο βαθμό, παρουσίαζαν, μέχρι την εφαρμογή των τοξωτών πλαισίων, το επιπλέον μειονέκτημα, να καλύπτουν μέχρι και το 30% της διατομής της σήραγγας, δυσχεραίνοντας τις περαιτέρω εργασίες. Τα βασικότερα, όμως, μειονεκτήματα είναι αφ'ενός ο μεγάλος χρόνος που απαιτεί η τοποθέτησή τους και αφ'ετέρου η ασυνεχής επαφή μεταξύ τοιχωμάτων και υποστήριξης.

Όλα αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα να παρέχουν τον απαιτούμενο χρόνο για την εκδήλωση σημαντικών παραμορφώσεων της βραχομάζας, από συνδυασμό βάρους υπερκείμενων και καθεστώτος ασυνεχειών ή από εκδήλωση τεκτονικών υπολειμματικών ή άλλων τάσεων, πριν από την τοποθέτηση της μόνιμης επένδυσης.

Ακόμη, η φάση της τελικής κατασκευής γινόταν, αναγκαστικώς, πολύ λεπτή λόγω της αποσυμπίεσης της προσωρινής υποστήριξης που προκαλούσε μια «απελευθέρωση» της βραχομάζας και επιπλέον παραμορφώσεις, αλλά και λόγω της τοποθέτησης ολισθηρών ξυλοτύπων ή σιδηροτύπων της σκυροδέτησης του τόξου της οροφής και των ενέσεων στην επαφή σκυροδέματος-βραχομάζας. Η φάση της τελικής κατασκευής ήταν εντελώς ανεξάρτητη από την βασική φάση της διάνοιξης, πολύ περισσότερο στις περιπτώσεις όπου μεσολαβούσε διάστημα εβδομάδων ή μηνών πριν από την κατασκευή μιας αποτελεσματικής και συνεχούς επένδυσης. Στη διάρκεια του χρόνου αυτού μπορούσε να εκδηλωθεί η, καταστροφική πολλές φορές, αποσυμπίεση της βραχομάζας και να εξελιχθεί σε αλυσιδωτή επιταχυνόμενη αντίδραση σε μια ζώνη πολύ σημαντική στο περιβάλλον μέσον. Οριακές επιπτώσεις και αστοχίες, από τις παραμορφώσεις αυτές, συνιστούσαν αποκολλήσεις, καταπτώσεις, καθιζήσεις στην επιφάνεια, ευνοϊκό πεδίο εκδήλωσης υπολειμματικών τάσεων και γενική χαλάρωση της βραχομάζας.

Βασικό στοιχείο της NATM παραμένει πάντοτε η «ενεργοποίηση» της βραχομάζας, δηλαδή η διαμόρφωση συνθηκών τέτοιων που η δυνατότητα αυτοϋποστήριξης της να εκφραστεί στο μέγιστο δυνατό βαθμό.

Η αποσυμπίεση της βραχομάζας, που χαρακτηρίζεται από την τάση κλεισίματος της δημιουργηθείσας υπόγειας εκσκαφής, είναι η φυσική της αντίδραση στη διατάραξη της ισορροπίας της, διατάραξη που επέφερε η ίδια η υπόγεια εκσκαφή. Η αποσυμπίεση αυτή μπρεί να είναι αποτέλεσμα διαφορετικών μηχανισμών ή της συνδυασμένης δράσης τους. Τέτοιοι μηχανισμοί είναι η εμφάνιση διατμητικών τάσεων κατα μήκος των επιφανειών αδυναμίας της βραχομάζας ή του εδαφικού υλικού από το βάρος των υπερκείμενων, η εκδήλωση των τεκτονικών υπολειμματικών τάσεων, οι πιέσεις των αερίων κ.λ.π.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανάλυση και αξιολόγηση της διαμόρφωσης και των μεταβολών του εντατικού πεδίου στο πλαίσιο εφαρμογής συμβατικών μεθόδων ή της NATM. Η συγκριτική αυτή ανάλυση είναι ενισχυτική των πλεονεκτημάτων της NATM απέναντι στις κλασσικές μεθόδους και

συγχρόνως αντιδιαστέλλει τη NATM από συμβατικές μεθόδους που απλώς χρησιμοποιούν τα ίδια μέσα αντιστήριξης, χωρίς όμως να συνιστούν εφαρμογή της NATM. Στο Σχήμα 6 εμφανίζεται ο τρόπος δράσης της NATM, σε αντιδιαστολή με τις κλασσικές, συμβατικές μεθόδους. Στο αριστερό τμήμα του σχεδίου απεικονίζονται τα φαινόμενα αποσυμπίεσης της βραχομάζας, η μηχανική θποβάθμιση του υλικού και ο τρόπος υποστήριξης με τη παρέμβαση ενός τόξου άκαμπτου, που στηρίζει μια μάζα υλικών «μηχανικώς αδρανών». Αντιθέτως, στη δεξιά πλευρά του σχεδίου, απεικονίζονται, στο πλαίσιο της NATM, η ολική κατανομή της αποσυμπίεσης, το «κέρδος» αντίστασης στο δακτύλιο της εκσκαφής και ο τρόπος υποστήριξης, που δεν είναι πλέον ένα «φορτιζόμενο τόξο», αλλά «ένα εννιαίο μέσο μηχανικώς σταθερό», από την ίδια αντίσταση και από τις οριακές συνθήκες.

Το καθεστώς των τάσεων στη βραχομάζα, και για τις δύο περιπτώσεις, αναπαρίσταται με τη βοήθεια του διαγράμματος Mohr. Η εσωτερική καμπύλη 0 αντιπροσωπεύει τα χαρακτηριστικά του γεολογικού υλικού στην αρχική κατάσταση. Η καμπύλη αυτή εξελίσσεται πάντοτε προς δυσμενέστερες συνθήκες με την πρόοδο της εκσκαφής, όπου περνά στη καμπύλη 1(1' για μηχανική εκσκαφή, 1'' για χρήση εκρηκτικών). Δεν έχουν ληφθεί υπ' όψη η διαδικασία και ο σχεδιασμός διάνοιξης της σήραγγας, που κι αυτά παίζουν ρόλο. Με την αποσυμπίεση, η καμπύλη μετατοπίζεται στη θέση 2 ή 3, θέσεις που υπερβαίνουν την τελική αντίσταση του υλικού. Το φαινόμενο αυτό συνοδεύεται από αστίχες, λίγο ή πολύ σημαντικές. Η διαφορά, ποιοτικώς και ποσοτικώς, των αστοχιών μεταξύ των κλασσικών μεθόδων και της NATM, που προκύπτουν από τα διαγράμματα Mohr, έχουν αναλυθεί σε πολλές εργασίες και μάλιστα από τα πρώτα βήματα εφαρμογής της NATM.

Τα χαρακτηριστικά της NATM, σε γενικές γραμμές, είναι τα εξής:

- Ενεργοποίηση αυτοϋποστήριξης της βραχομάζας, με βασική παράμετρο την τμηματική εκσκαφή του μετώπου, με στάδια και διάταξη εκσκαφής κατά περίπτωση.
- Άμεση πρόληψη της χαλάρωσης της βραχομάζας, που θα μπορούσε να οδηγήσει σε περαιτέρω υπερβολική χαλάρωση και σε ανεξέλεγκτα αλυσιδωτά φαινόμενα μετακινήσεων και αποκολλήσεων, με την άμεση τοποθέτηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο απαιτούμενο πάχος.
- Άμεση εγκατάσταση συστημάτων (οργάνων) μετρήσεων, τόσο των παραμορφώσεων, όσο και των διαμορφούμενων φορτίων.
- Τοποθέτηση εύκαμπτων υποστηριγμάτων ή εναλλακτικών λύσεων στις απαιτούμενες αποστάσεις.
- Δυνατότητα αλλαγών, τοπικού ανασχεδιασμού, ρυθμίσεων και παρεμβάσεων, στο πλαίσιο μιας ευκόλως αναπροσαρμόσιμης (αλλά όχι χαλαρής) συνεργασίας μεταξύ του κύριου του έργου, του μελετητή και του κατασκευαστή.

Τα χαρακτηριστικά της NATM εφαρμόζονται, αμέσως ή εμμέσως, σε κάθε τμήμα προχωρήσεως της υπόγειας εκσκαφής. Μετά το κάθε βήμα προχωρήσεως μελετάται η αποκαλυπτόμενη βραχομάζα (οπτική ποιοτική παρατήρηση, ποσοτική γεωτεχνική ταξινόμηση). Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής είναι καθοδηγητικά για την εφαρμογή των συστημάτων υποστήριξεως της NATM, αλλά και για το σχεδιασμό του επόμενου βήματος προχωρήσεως.

Ο βαθμός αυτοϋποστήριξεως της βραχομάζας ελέγχεται από προσεκτική θεώρηση των ασκουμένων δυνάμεων και, ιδιαιτέρως, της ανακατατάξεως των δυνάμεων αυτών, μετά την πραγματοποίηση του κάθε βήματος προχωρήσεως.

Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ NATM

Η πλήρης εφαρμογή της NATM επιβάλλει τη διάτρηση ανάμεσα στην προσωρινή και τη μόνιμη επένδυση. Η πρώτη, εκτός από το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, χρησιμοποιεί και συμπληρωματικά στοιχεία (αγκύρια, πλαίσια, υλώσεις, κ.λ.π.). Η μόνιμη επένδυση εξασφαλίζει την ομοιόμορφη εσωτερική επιφάνεια, αλλά και τη μόνιμη ευστάθεια, γι' αυτό, άλλωστε, δεν τοποθετείται πριν από την αποκατάσταση της ισορροπίας στην εκσκαφή. Τόσο η προσωρινή, όσο και η μόνιμη επένδυση της σήραγγας περιορίζουν στο ελάχιστο τις παραμορφώσεις της βραχομάζας, αποτρέποντας κατά το δυνατό τις αστοχίες και τις ανεξέλεγκτες παραμορφώσεις. Συγχρόνως καθοδηγούν τη βραχομάζα στο σχηματισμό του φέροντος δακτυλίου. Γενικώς, η μόνιμη επένδυση δεν τοποθετείται νωρίτερα από την εξωτερική και πριν η περιβάλλουσα βραχομάζα βρεθεί σε κατάσταση ισορροπίας.

Η συμπεριφορά της βραχομάζας, καθώς και της αντιστηρίξεως, στη διάρκεια της ανακατατάξεως των δυνάμεων, που ακολουθεί τη διάνοιξη, ελέγχονται από ένα σύστημα μετρήσεων. Το σύστημα αυτό αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της μεθόδου και είναι απαραίτητο και για λόγους ασφαλείας, αλλά και για λόγους επαλληλεύσεως των στοιχείων του σχεδιασμού και των κατασκευαστικών παραδοχών.

Για τη NATM, το κύριο συστατικό φέροντος φορτίου της σήραγγας είναι η περιβάλλουσα βραχομάζα. Ο ρόλος της αντιστηρίξεως και της μόνιμης επενδύσεως είναι ο περιορισμός, στο ελάχιστο δυνατό, των παραμορφώσεων της βραχομάζας και η συμβολή τους στη διαμόρφωση του φέροντος δακτυλίου. Η αυτοϋποστήριξη της βραχομάζας, που είναι ο στόχος της NATM, προϋποθέτει τη διατήρηση της μέγιστης αντοχής της. Η διατήρηση αυτή υποβοηθάται από την αντιστήριξη, που εμποδίζει τις παραμορφώσεις που παρουσιάζουν προοδευτικώς αποσυνθετικό χαρακτήρα. Στο πλαίσιο αυτό, ιδιαίτερη σημασία αποκτά η επίδραση του χρόνου στη συμπεριφορά της βραχομάζας, που είναι μια άλλη θεώρηση του γνωστού χρόνου ανυποστήλτωσης διατομής. Στο σημείο αυτό, αποφασιστική είναι η συμβολή των γνωστών συστημάτων γεωτεχνικής ταξινόμησεως της βραχομάζας.

Η φιλοσοφία της NATM θεωρεί τη βραχομάζα σε διπλό ρόλο. Αφ' ενός, σαν φορτίζον στοιχείο και, αφ' ετέρου, σαν μέσο αντιστάσεως της σήραγγας στις ίδιες παραμορφώσεις. Ο τελικός στόχος είναι η δημιουργία μιας σύνθετης δομής βραχομάζας-αντιστηρίξεως.

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη σωστή εφαρμογή της NATM είναι η σωστή ένταξη του έργου και των τμημάτων του στο γεωλογικό πλαίσιο. Τα επί μέρους στοιχεία της σωστής αυτής εντάξεως αντιπροσωπεύουν τρία επί μέρους και αλληλοσυμπληρούμενα ερευνητικά πεδία, τη Γεωμορφολογία, τη Γεωλογία, και τη Γεωτεχνική Ταξινόμηση της Βραχομάζας.

Η Γεωμορφολογία αποτελεί τη βάση της γεωλογικής θεωρήσεως και, συγχρόνως, οι διάσφορες γεωμορφές και η σχέση τους με το υπόγειο έργο δημιουργούν συνθήκες ευνοϊκές ή όχι στο, κάθε φορά, μέτωπο εκσκαφής. Η κάλυψη της σήραγγας και η μεταβολή της από θέση σε θέση, η γειτνίαση με τμήματα υδρογραφικού δικτύου, με επιφάνειες ισοπεδώσεως, με καρστικές επιφανειακές γεωμορφές, ή με άλλα γεωμορφολογικά στοιχεία διαμορφώνουν ειδικές συνθήκες και μεταβολές, τόσο στη γενικότερη γεωλογική δομή, όσο και στις επί μέρους λιθολογικές φάσεις, οι οποίες, σε τελευταία ανάλυση, απασχολούν τη NATM.

Η Γεωλογία έρχεται, στη συνέχεια, να καθορίσει τα χαρακτηριστικά των λιθολογικών φάσεων, που θα αποτελέσουν το πλαίσιο εφαρμογής της NATM. Τα χαρακτηριστικά αυτά προκύπτουν από το είδος και τη σύσταση (άρα και τις βασικές ιδιότητες) των πετρωμάτων που θα συναντήσει και θα αντιμετωπίσει το έργο. Τα ίδια αυτά χαρακτηριστικά διαφοροποιούνται από τη διαμόρφωση της γεωλογικής δομής, τη σχέση των πετρωμάτων μεταξύ τους και την ένταξη της κάθε λιθολογικής φάσης στο τεκτονικό μοντέλο της περιοχής (με ιδιαίτερη σημασία την γεινίαση με ζώνες τεκτονικών επεισοδίων-ρήγματα, πτυχές, επιφάνειες επωθήσεων ή επιπτεύσεων). Τέλος η θεώρηση του καθεστώτος των υπόγειων νερών στον ευρύτερο χώρο του έργου μπορεί να έχει μεγάλη σημασία, καθώς η παρουσία τους μεταβάλλει τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών.

Η Γεωτεχνική Ταξινόμηση της Βραχομάζας συγκεκριμενοποιεί ποσοτικοποιεί τα γεωλογικά δεδομένα. Ανεξαρτήτως της χρησιμοποιούμενης μεθόδου (που πρέπει, πάντως, να προέρχεται από ανάλογους γεωλογικούς σχηματισμούς), η σωστή αποτίμηση των γεωτεχνικών χαρακτήρων της βραχομάζας προϋποθέτει την προηγούμενη γεωμορφολογική και γεωλογική αξιολόγηση των τοπικών συνθηκών. Στην ίδια προηγούμενη αξιολόγηση πρέπει να βασίζεται και η αποτίμηση των γεωλογικών και γεωτεχνικών χαρακτήρων της βραχομάζας, που θα προέλθουν από τις απαραίτητες έρευνες και μετρήσεις υπαίθρου και εργαστηρίου και που θα χρησιμοποιηθούν σαν κριτήρια για τη γεωτεχνική της ταξινόμηση.

ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ NATM

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα δημιουργεί ένα κέλυφος στο άνοιγμα της σήραγγας του οποίου ο στόχος είναι η αποτροπή της χαλαρώσεως (αρχικώς) και της διαβρώσεως και αποσαθρώσεως (στη συνέχεια) της βραχομάζας. Τα φαινόμενα αυτά, αν αφαιθούν να εκδηλωθούν ανεμποδίστως, προχωρούν στο εσωτερικό της βραχομάζας, αποδιοργανώνοντάς την σε βάθος. Η αποτροπή των φαινομένων αυτών βοηθά τη βραχομάζα να αυτουποστηριχτεί. Έχει αποδειχτεί, εξ' άλλου, ότι η αστοχία υπόγειας εκσκαφής, συνεχώς υποστηριζόμενης, δεν προκύπτει από κάμψεις, αλλά από διατμητικές τάσεις, στις οποίες εμφανίζει σημαντική αντοχή το κέλυφος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Στην περίπτωση των μαλακών εδαφών, το αμέσως εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αφορά κλειστή διατομή, που διαμορφώνει δακτύλιοσε θλιπτικό πεδίο. Το γεγονός αυτό και η θεώρηση αυτή αποδίδουν την απαιτούμενη ολόπλευρη τάση που αντιμετωπίζει τις εδαφικές παραμορφώσεις και, ακόμα, και τις, ενδεχόμενες, επαγόμενες καθιζήσεις στην επιφάνεια του εδάφους. Η συνέχεια γίνεται με μικρά βήματα προχωρήσεως της εκσκαφής.

Στην περίπτωση των βραχωδών σχηματισμών, η τοποθέτηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος (και) στο εσωτερικό διακλάσεων, ρωγμών, μεγάλων διαρρήξεων και κάθε μορφής ασυνεχειών της βραχομάζας, λειτουργεί σαν συνθετικό υλικό ή σαν κρυσταλικό υλικό πληρώσεως και μειώνει τις αποκολλήσεις μετατοπίσεις, που, εκτός από τη γενικότερη χαλάρωση, προκαλούν και υπερεκσκαφές. Οι τελευταίες οδηγούν εκ νέου στη χαλάρωση, αλλά και στο μεγάλο κόστος και τις τεχνικές δυσκολίες τοποθετήσεως της αντιστηρίξεως και της μόνιμης επενδύσεως.

Ο συσχετισμός και η σύνδεση της συμπεριφοράς της βραχομάζας και της αντιστηρίξεώς της είναι πολύπλοκος. Τα γνωστά διαγράμματα "τάσεων-ανηγμένων παραμορφώσεων (μετακινήσεων)" δείχνουν ότι τα φορτία που μεταφέρονται στην αντιστήριξη μειώνονται με την αύξηση των παραμορφώσεων (μετακινήσεων), όπως είναι λογικό και αναμενόμενο, αφού ένα μέρος των τάσεων καταναλώνεται στις παραμορφώσεις. Αυτό δεν ισχύει στο διηλεκές, δεδομένου ότι, μετά από κάποιο σημείο, τα μεταφερόμενα στην αντιστήριξη φορτία αυξάνονται λόγω εκτεταμένων χαλαρώσεων ή και θραύσεων που έχουν επισυμβεί.

Η τμηματική εκσκαφή της σήραγγας (Σχήμα 7) παίζει σπουδαίο ρόλο στη διαμόρφωση συνθηκών αυτουποστηρίξεως της υπόγειας εκσκαφής, με την ανακατανομή των τάσεων κατά τη διάρκεια της εκσκαφής της άνω ημιδιατομής και της βαθμίδας. Σε περίπτωση ασθενούς βραχομάζας, το σχέδιο της τμηματικής εκσκαφής μπορεί να διαφοροποιηθεί αναλόγως των τοπικών συνθηκών και, με βάση τη διαφοροποίηση αυτή, να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα πλαίσια ή και εξειδικευμένες μέθοδοι, όπως οι σωλήνες προπορείας.

Οι ηλώσεις αυξάνουν κατά πολύ τη διατμητική αντοχή του συστήματος βραχομάζας-αντιστηρίξεως, όχι μόνο με την επί πλέον προσφερόμενη διατμητική αντίσταση, αλλά και με την εισαγωγή ορθών τάσεων στα θεωρητικά επίπεδα διατμητικών θραύσεων (ενεργητική και παθητική συμμετοχή στη διαμόρφωση μεγαλύτερης διατμητικής αντοχής).

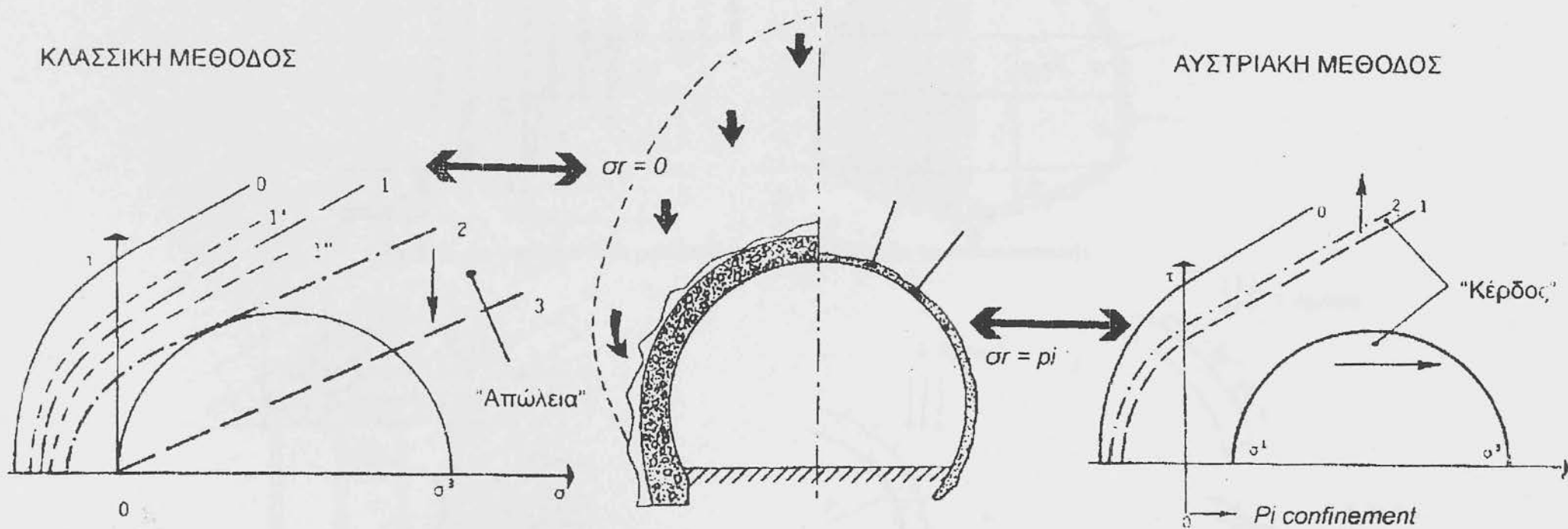
Σε προβληματικά μέτωπα εκσκαφών χρησιμοποιούνται, κάτω από συγκεκριμένες προϋποθέσεις γεωμετρίας της σήραγγας και ιδιοτήτων της βραχομάζας, οι λεγόμενες ηλώσεις άμεσης ενέργειας.

Τα μεταλλικά πλαίσια χρησιμεύουν, κυρίως, σαν προσωρινά στοιχεία που επιτρέπουν τη συνέχιση των εργασιών στο μέτωπο της εκσκαφής και, συγχρόνως, υποστηρίζουν την εκσκαφή μέχρι την τοποθέτηση και ωρίμανση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Παράλληλως, συμμετέχουν στην υποδοχή των τάσεων, σε όλα τα στάδια της ανακατανομής τους.

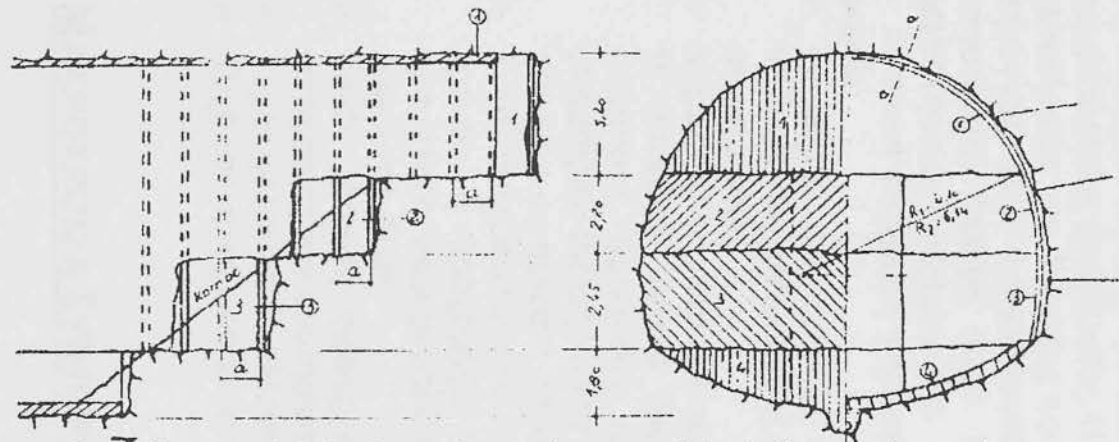
Το κεκλιμένο μέτωπο εκσκαφής είναι μια πρόσθετη διαδικασία, που μπορεί να εφαρμοστεί για την ευστάθεια του μετώπου, με την προϋπόθεση ότι τα μέτρα αντιστηρίξεως θα μπορούν να τοποθετηθούν όσο το δυνατό πλησιέστερα στο μέτωπο της εκσκαφής.

Οι πάσσαλοι προπορείας είναι μια πρόσφατη τεχνική που σκοπό έχει την προενίσχυση του μετώπου εκσκαφής σε ασθενείς ή ιδιαίτερως ασθενείς βραχομάζες. Πρόκειται, στην ουσία, για μια μορφή οριζόντιων ή παραοριζόντιων τσιμεντενέσεων μέσω οπών και διάτρητων σωληνώσεων, στο περίγραμμο του θόλου, μέσα από τις οποίες εισπνέζεται κατάλληλο, ενισχυτικό της βραχομάζας, ένεμα. Η διαμόρφωση των πασσάλων προπορείας και η διεύθυνση του ενέματος στο εσωτερικό της βραχομάζας δημιουργούν μια τοξοειδή γέφυρα γύρω από το θόλο και πάνω από το μέτωπο, η οποία, αφ'ενός δέχεται καλύτερα τα φορτία και, αφ'ετέρου, διοχετεύει μέρος του έξω από τη διατομή της σήραγγας. Συγχρόνως, η διτμητική αντοχή και η αντοχή σε παραμόρφωση του συνόλου της βραχομάζας αυξάνονται σημαντικώς, με αποτέλεσμα και καλύτερες συνθήκες ευστάθειας της εκσκαφής, αλλά και καλύτερες συνθήκες διατήσεως του μετώπου.

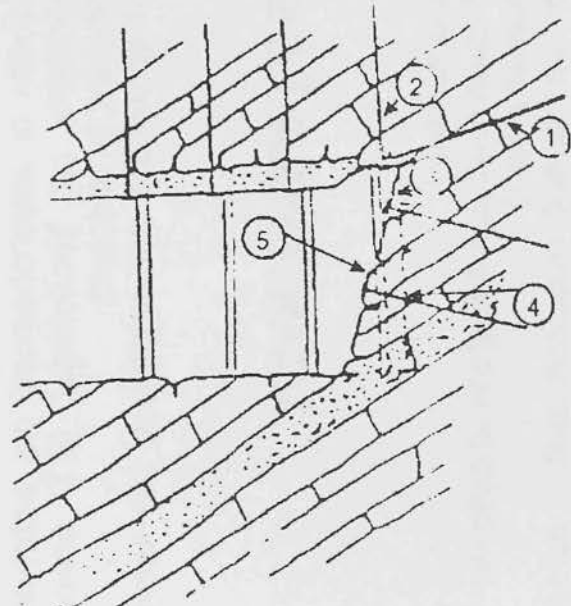
Στα Σχήματα 8 και 9 φαίνονται, αντιστοίχως, τα στοιχεία αντιστήριξης στο μέτωπο της σήραγγας και αντίσταση που φέρουν οι διάφορες επενδύσεις.



Σχ.6 Σύγκριση φιλοσοφίας υποστήριξεως σηράγγων μεταξύ κλασσικής και Αυστριακής μεθόδου. Επεξήγηση στο κείμενο. (3).

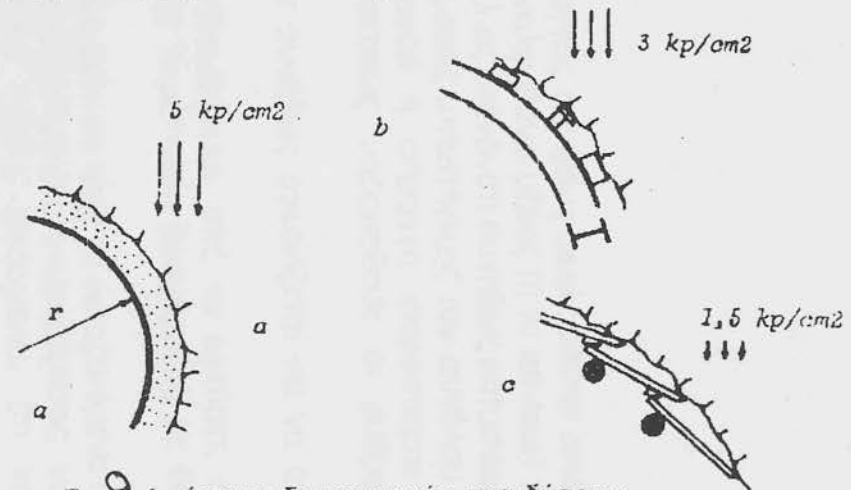


Σχ. 7 Τμηματική διάνοιξη μετώπου σήραγγας (διάταξη όχι αποκλειστική).



Σχ. 8 Στοιχεία δυναμικά αντιστηρίξεως στο μέτωπο σήραγγας

- 1. Πάσσαλοι προπορείας, 2. Ηλώσεις ορεινής
- 3. Κεκλιμένο μέτωπο, 4. Ηλώσεις μετώπου, 5. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μετώπου



Σχ. 9 Αντίσταση διαφορετικών επενδύσεων
 a. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, b. Μεταλλικά πλαίσια
 c. Ξύλινα υποστηλώματα

Δ. ΤΕΛΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

ΓΕΝΙΚΑ

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

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

- Το φορτίο που αρχικώς αναλαμβάνεται από τα αγκύρια, στην περίπτωση προσωρινών αγκυρίων ή στην περίπτωση βραχώμαζας με έντονα ερπυστική συμπεριφορά.
- Μέρος του φορτίου που αναλαμβάνεται από το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ώστε το απομένον φορτίο του εκτοξευόμενου σκυροδέματος να ικανοποιεί τις απαιτήσεις ασφαλείας μονίμου έργου (δεδομένου ότι κατά την άμεση υποστήριξη της σήραγγας το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μπορεί να λειτουργεί με μειωμένο συντελεστή ασφαλείας προσωρινού έργου).
- Τυχόν αυξημένα φορτία της βραχώμαζας λόγω ερπυσμού. Με την πάροδο του χρόνου, η βραχώμαζα που περιβάλλει ένα υπόγειο έργο υπόκειται σε ερπυστικές παραμορφώσεις με αποτέλεσμα την αύξηση των φορτίων στην τελική επένδυση.
- Τυχόν υδατικές πιέσεις λόγω πλημμελούς αποστράγγισης ή απρόβλεπτης απόφραξης του συστήματος αποστράγγισης.
- Τυχόν φορτία από μελλοντικές κατασκευές που φορτίζουν τη σήραγγα.
- Τυχόν σεισμική επιφόρτιση της σήραγγας.

ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΑ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Με την πάροδο του χρόνου, η βραχώμαζα που περιβάλλει ένα υπόγειο έργο υπόκειται σε ερπυστικές παραμορφώσεις με συνέπεια:

1. Την αύξηση των παραμορφώσεων της βραχώμαζας (π.χ. σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας) εφόσον οι παραμορφώσεις δεν παρεμποδίζονται από έργα υποστήριξης.

2. Την αύξηση της φόρτισης των έργων υποστήριξης στις περιπτώσεις όπου οι παραμορφώσεις της βραχόμαζας παρεμποδίζονται (π.χ. στην περίπτωση σηράγγων μετά την κατασκευή της τελικής επένδυσης).

Ο βαθμός ερπυσμού της βραχόμαζας ποικίλει μεταξύ πρακτικώς μηδέν (για βραχόμαζες με μεγάλες τιμές του δείκτη RMR) και αρκετά υψηλών τιμών (για βραχόμαζες με πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά και εδαφικούς σχηματισμούς).

Τυπικά, ο βαθμός ερπυσμού μπορεί να περιγραφεί μέσω του ερπυστικού συντελεστή (k) ο οποίος εκφράζει τον ρυθμό της ερπυστικής παραμόρφωσης της βραχόμαζας υπό μοναξονική θλίψη. Μια σχετικώς υψηλή τιμή του ερπυστικού συντελεστή (που αφορά κυρίως στιφρές-σκληρές αργίλους) είναι $k = 0.10$, δηλαδή η αύξηση της παραμόρφωσης ανά λογαριθμικό κύκλο του χρόνου είναι ίση με το 10% της ελαστικής (αρχικής) παραμόρφωσης. Έτσι, για παράδειγμα, εάν η αρχική (ελαστική) παραμόρφωση είναι 2%, η παραμόρφωση θα γίνει 2.2% σε ένα έτος, 2.4% εντός δέκα ετών και 2.6% εντός εκατό ετών. Στην περίπτωση παρεμπόδισης ανάπτυξης της ανωτέρω παραμόρφωσης, είναι προφανές ότι θα αυξηθεί η φόρτιση στην επένδυση της σήραγγας.

ΦΟΡΤΙΑ ΓΑΙΩΝ ΣΤΗΝ ΤΕΛΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Για την εκτίμηση των φορτίων που ασκούνται στην τελική επένδυση σηράγγων εφαρμόζονται οι εξής κατηγορίες μεθόδων:

1. ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι μέθοδοι αυτές δίνουν το φορτίο (κατακόρυφο και οριζόντιο) που ασκείται στην επένδυση σηράγγων μέσω εμπειρικών τύπων που περιλαμβάνουν ως κύριες παραμέτρους την ποιότητα της βραχόμαζας και τις διαστάσεις της σήραγγας. Κάθε μία από τις εμπειρικές μεθόδους βασίζεται σε κάποιες παραδοχές, κυρίως σε σχέση με το βάθος της σήραγγας, την ενδοσιμότητα της επένδυσης και την ενεργοποίηση της περιβάλλουσας βραχόμαζας στην ανάληψη φορτίων. Κατά συνέπεια, τα φορτία που δίνουν οι μέθοδοι αυτές διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους.

2. ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι μέθοδοι αυτές βασίζονται στην εκτίμηση των διαστάσεων μιας εδαφικής μάζας πάνω από τη στέψη της σήραγγας η οποία φορτίζει την επένδυση.

3. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι μέθοδοι αυτές προσομοιώνουν την αλληλεπίδραση μεταξύ της επένδυσης της σήραγγας και της περιβάλλουσας βραχόμαζας, δηλαδή λαμβάνουν υπόψη την εξάρτηση των φορτίων της επένδυσης της σήραγγας από το βαθμό ενεργοποίησης της αντοχής της περιβάλλουσας βραχόμαζας στην ανάληψη των φορτίων των υπερκειμένων γαιών (μέσω της ανάπτυξης του λεγόμενου

"εδαφικού τόξου"). Οι αριθμητικές μέθοδοι διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Τις απλοποιημένες, στις οποίες η βραχόμαζα που περιβάλλει την επένδυση της σήραγγας λαμβάνεται υπόψη μέσω μονοδιάστατων ελατηρίων τύπου Winkler τα οποία συνδέονται με την επένδυση της σήραγγας και ενεργοποιούνται κατά την παραμόρφωση της επένδυσης.
- Τις σύνθετες, στις οποίες η βραχόμαζα που περιβάλλει την επένδυση της σήραγγας λαμβάνεται υπόψη μέσω διδιάστατων πεπερασμένων στοιχείων με ελαστοπλαστική συμπεριφορά.

Σημειώνεται ότι οι ανωτέρω μέθοδοι αφορούν την εκτίμηση των φορτίων που ασκούνται στην τελική επένδυση των σηράγγων. Τα φορτία που ασκούνται στην προσωρινή υποστήριξη εξαρτώνται κυρίως από τον τρόπο διάνοιξης και υποστήριξης της σήραγγας και συνήθως εκτιμώνται με αριθμητικές μεθόδους (κυρίως με πεπερασμένα στοιχεία) οι οποίες λαμβάνουν υπόψη την αλληλεπίδραση της βραχόμαζας με τα στοιχεία της προσωρινής υποστήριξης της σήραγγας.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΥΠΟ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ

Τα υπόγεια έργα γενικώς θεωρούνται ασφαλέστερα απ' ό,τι οι επιφανειακές κατασκευές έναντι σεισμικών δράσεων με εξαίρεση σήραγγες που διασχίζουν ενεργά ρήγματα και τις περιπτώσεις όπου το περιβάλλον έδαφος χάνει σημαντικό μέρος της αντοχής του κατά τη σεισμική διέγερση (π.χ. λόγω ρευστοποίησης).

Γενικώς, οι σεισμικές δράσεις στα υπόγεια έργα εκδηλώνονται ως εξής:

- Δράσεις σε θέσεις ενεργών τεκτονικών ρηγμάτων. Η σεισμική κίνηση εντοπίζεται ως διατμητική παραμόρφωση σε μία μικρού εύρους εδαφική ζώνη (πάχους από μερικά εκατοστά έως μερικά μέτρα). Γενικώς, τα υπόγεια έργα δεν είναι δυνατόν να περιορίσουν την ανάπτυξη των ανωτέρω διατμητικών παραμορφώσεων. Ετσι, ο συνήθης τρόπος αντιμετώπισής τους είναι είτε με παράκαμψη των ενεργών ρηγμάτων μέσω αλλαγής της χάραξης (πράγμα που δεν είναι πάντοτε εύκολο σε σήραγγες μεγάλου μήκους) είτε με κατασκευή κατάλληλων αρμών που να επιτρέπουν τις αναμενόμενες σεισμικές μετακινήσεις χωρίς σημαντικές βλάβες στην επένδυση της σήραγγας.
- Επιβαλλόμενες παραμορφώσεις στην επένδυση λόγω της διάδοσης σεισμικών κυμάτων στο περιβάλλον έδαφος. Διατμητικά σεισμικά κύματα με δόνηση εκτός του επιπέδου της διατομής της σήραγγας δημιουργούν αξονική και καμπτική ένταση στην επένδυση της σήραγγας θεωρούμενης ως δοκού κατά τον διαμήκη άξονά της. Αντίθετα, διατμητικά κύματα με δόνηση στο επίπεδο της διατομής της σήραγγας προκαλούν παραμόρφωση της διατομής και καμπτική επιπόνηση της επένδυσης στο επίπεδο της διατομής της σήραγγας.

Το μέγεθος της επιπόνησης της επένδυσης σηράγγων λόγω της διάδοσης σεισμικών κυμάτων εξαρτάται από τη σχέση της διαμέτρου της σήραγγας προς το μήκος του σεισμικού κύματος. Στις συνήθεις περιπτώσεις, το τυπικό άνοιγμα της

σήραγγας (10-15 μέτρα) είναι πολύ μικρότερο από τα χαρακτηριστικά μήκη κύματος των σεισμικών κινήσεων (100-500 μέτρα) και συνεπώς οι διαφορικές μετακινήσεις των εκατέρωθεν παρειών της σήραγγας είναι μικρές οπότε και η αναπτυσσόμενη πρόσθετη ένταση της επένδυσης είναι επίσης μικρή. Εξαιρέση στον ανωτέρω κανόνα αποτελούν:

1. Σήραγγες σε πολύ μαλακά εδάφη όπου τα χαρακτηριστικά μήκη των σεισμικών κυμάτων είναι αρκετά μικρότερα (30-100 μέτρα) και συνεπώς συγκρίσιμα με το άνοιγμα της σήραγγας.
2. Σήραγγες που διασχίζουν διεπιφάνειες μεταξύ εδαφικών σχηματισμών με σημαντική διαφορά μέτρων ελαστικότητας. Στις περιοχές αυτές παρατηρείται μεγέθυνση και εντοπισμός των σεισμικών παραμορφώσεων (μέσω ανακλάσεων των σεισμικών κυμάτων) με αποτέλεσμα την αυξημένη επιπόνηση της επένδυσης της σήραγγας.
3. Σήραγγες που διασχίζουν σεισμικώς ενεργά¹ ρήγματα υπό αρκετά οξεία γωνία, οπότε το μήκος της σήραγγας στο οποίο υφίσταται αλληλεπίδραση με το ρήγμα είναι μεγάλο και επιπλέον δεν είναι πολύ αποδοτική η κατασκευή εγκάρσιων αρμών στην επένδυση της σήραγγας. Στις περιπτώσεις αυτές, εάν δεν είναι δυνατόν να αποφευχθεί η διασταύρωση της σήραγγας με το ρήγμα (μέσω αλλαγής της χάραξης) μπορεί να προβλεφθεί κάποια διεύρυνση της διατομής της σήραγγας ώστε εάν συμβούν μόνιμες παραμορφώσεις λόγω ενεργοποίησης του ρήγματος και βλάβη της επένδυσης, η λειτουργία της σήραγγας να μπορεί να αποκατασταθεί μετά την επισκευή της επένδυσης.

Ε. ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΣΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ

ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΤΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Για την αντιμετώπιση των διαφόρων κινδύνων, επιβάλλεται η στενή συνεργασία του πολιτικού μηχανικού και του γεωλόγου. Ο γεωλόγος πριν την κατασκευή, θα ερευνήσει την κατάλληλη κατεύθυνση που θα της δώσει να κάνει γεωλογική και πετρογραφική περιγραφή για τα πετρώματα και τη συμπεριφορά τους, και θα χαρτογραφεί τη στοά την ώρα της διάνοιξης.

Ο έγκαιρος εντοπισμός των διαφόρων κινδύνων από πριν, εκμηδενίζει τις επιπτώσεις τους, γιατί προνοείται ο κατάλληλος μηχανικός εξοπλισμός και η οργάνωση για την αντιμετώπισή τους (ισχυρές αντλίες, βαριά υποστηρίγματα κ.λ.π.). Η έγκαιρη διάγνωση και η σωστή αντιμετώπιση των καταστάσεων έχει τεράστια σημασία για την επίλυση διάφορων προβλημάτων.

Στην περίπτωση που υπάρχει φόβος εισροής νερού από λεπτές ρωγμές ικανοποιητική προστασία μπορεί να προσφέρει το τσιμεντένιο κάλυμα (Guinte), είναι ανώφελο όμως για τις μεγάλες ρωγμές, όταν το νερό έχει υψηλή υδραυλική πίεση. Η καλύτερη αντιμετώπιση των ρωγμών γίνεται με γέμισμά τους πριν την διάνοιξη με κατάλληλα υλικά. Για να γίνει αυτό πραγματοποιούνται κατακόρυφες ή οριζόντιες γεωτρήσεις στο μέτωπο που εκτελείται η εργασία.

ΕΚΤΙΝΑΞΕΙΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

Ο όρος αυτός, χρησιμοποιείται για να περιγράψει φαινόμενα εκτίναξης μικρών θραυσμάτων πετρώματος από τα τοιχώματα ή το μέτωπο, μέχρι ξαφνικές καταρρεύσεις οροφής θαλάμων, με έκταση χιλιάδες τετραγωνικά μέτρα. Τα φαινόμενα αυτά γίνονται συχνότερα, όσο αυξάνεται το βάθος εκσκαφής λόγω αύξησης των πιέσεων.

Κοινό χαρακτηριστικό των πετρωμάτων που παθαίνουν ανατινάξεις (Rock Bursts), είναι η αυξημένη αντοχή στη συμπίεση και η εύθραυστη φύση του υλικού όπως ο γρανίτης, ο χαλαζίτης, γνεύσιον και λεπτόκκοκα υαλώδη εκρηξιγενή πετρώματα, που αν δεν έχουν αποσαθρωθή, είναι πολύ άθραυστα.

Κριτήριο αποτελεί η αντοχή σε θλίψη που είναι 15-60.000 PSI και μέτρο ελαστικότητας 6-14 χ 10⁶ PSI. Τα πετρώματα που έχουν μικρή αντοχή, δεν παθαίνουν ανατινάξεις, γιατί οι τάσεις που δεν έχουν ισορροπήσει, προκαλούν μία ημιπλαστική προσαρμογή στα υλικά και έτσι δεν υπάρχει συγκέντρωση μεγάλων τάσεων.

Στα στερεά και εύπλαστα πετρώματα, μπορεί να διατηρηθούν για αρκετό χρόνο, κατάλοιπα πιέσεων. Ανατινάξεις πολλές παρατηρούνται σε πετρώματα μεγάλης γεωλογικής ηλικίας, που δεν έχουν υποστεί μεγάλες τεκτονικές επιδράσεις στις τελευταίες εκατοντάδες χρόνια και η πρωταρχική αιτία είναι οι

Τεκτονικές δυνάμεις που δεν έχουν ισορροπήσει.

Οι μελέτες έχουν αποδείξει ότι συνήθως γίνονται ανατινάξεις σε πετρώματα που έχουν πολύπλοκους γεωλογικούς σχηματισμούς και χαρακτηρίζονται από φανερή ανισορροπία του υλικού και ρηγμάτωση. Οι παρατηρήσεις επίσης έδειξαν ότι οι δυνάμεις που προκαλούν τον θρυμματισμό των πετρωμάτων έχουν μια ορισμένη διεύθυνση, και επιδρούν πάνω στις δυνάμεις που έχουν στενή σχέση με το βάρος των υπερκείμενων πετρωμάτων.

ΑΕΡΙΑ ΣΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑ

Η γνώση της φύσης και ποσότητας των αερίων που ενδεχομένως να εμφανιστούν κατά τη διάνοιξη της σήραγγας, έχει σπουδαία σημασία στην ασφάλεια και στο είδος του εξοπλισμού. Συνήθως κατά την εκσκαφή εκλύονται CO₂, CO, CH₄, H₂S, H₂, N₂, αέρια δηλητηριώδη ή εύφλεκτα που προέρχονται από τη μάζα του πετρώματος που διενεργείται η όρυξη, ή από γειτονικούς γεωλογικούς σχηματισμούς. Αέρια αναμένονται κυρίως σε περιοχές με ηφαιστιακή δράση, κοντά σε γεωθερμικά πεδία, και σε στρώματα που συνορεύουν με ανθρακοφόρα κοιτάσματα. Αέρια μπορούν να μεταφέρονται και πολύ μακριά μέσω ενός καρστικού δικτύου. Επίσης κοντά σε ραδιενεργά μεταλλεύματα, υπάρχει κίνδυνος να συναντηθούν ραδιενεργά αέρια.

Οι συσσωρεύσεις αερίων στα πετρώματα, συνήθως υπό πίεση, είναι δυνατόν να εισέλθει στη σήραγγα από ρωγμές ή κενά που δημιουργούνται στη φάση της εξόρυξης. Όταν διαπιστωθεί τέτοια διαρροή αερίου μέσα στη σήραγγα, πρέπει να κλειστεί η ρωγμή με τσιμέντο ή άλλα μέσα. Άλλες φορές πάλι, η διαρροή αερίων δεν είναι συνεχής αλλά ξαφνική και έχει μεγάλη παροχή, ενώ αντίθετα σε άλλες περιπτώσεις, διαπιστώθηκε διαρροή αερίων για 2 ή και 3 εβδομάδες.

Το πορώδες των πετρωμάτων και ο βαθμός ρηγμάτωσης, επηρεάζει την κυκλοφορία των αερίων και οι χημικές αναλύσεις των υπογείων νερών μπορεί να μας δώσουν πληροφορίες για πιθανή ύπαρξη αερίων. (π.χ. αυξημένη περιεκτικότητα σε θείο μπορεί να σημαίνει παρουσία SO₂ ή H₂S).

Αλλά και ακόμα αν δεν υπάρχουν διαρροές αερίων, η ατμόσφαιρα της σήραγγας στην περίοδο εκσκαφής θα είναι μολυσμένη από την αναπνοή των εργαζομένων και τα αέρια των εκρήξεων, και ο φυσικός ή τεχνητός εξαερισμός είναι αναγκαίος όταν το μήκος της σήραγγας υπερβαίνει τα 50 μ.

Στις μεγάλες σήραγγες ο αερισμός επιτυγχάνεται με σωλήνες μεγάλης διαμέτρου από τις οποίες με φυσική ροή διοχετεύεται αέρας υπό πίεση στο μέτωπο της σήραγγας. Στις μικρές σήραγγες ο αερισμός επιτυγχάνεται με φυσικό ρεύμα. Ακόμα και στις μεγάλες σήραγγες, ο φυσικός αερισμός με ένα δεύτερο άνοιγμα προς την επιφάνεια, είναι συχνά οικονομικότερος.

Στις μεγάλες σήραγγες, επιβάλλεται ο τεχνητός εξαερισμός και μετά την διάνοιξη.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Η γνώση των θερμοκρασιών που θα επικρατήσουν κατά την διάνοιξη της σήραγγας, και οι οποίες έχουν άμεση σχέση με τη γεωθερμική βαθμίδα της περιοχής, αποτελεί φαινόμενο, ενδιαφέρον από επιστημονική και τεχνική άποψη, διότι επηρεάζει την υγεία και την απόδοση των εργαζομένων, τη

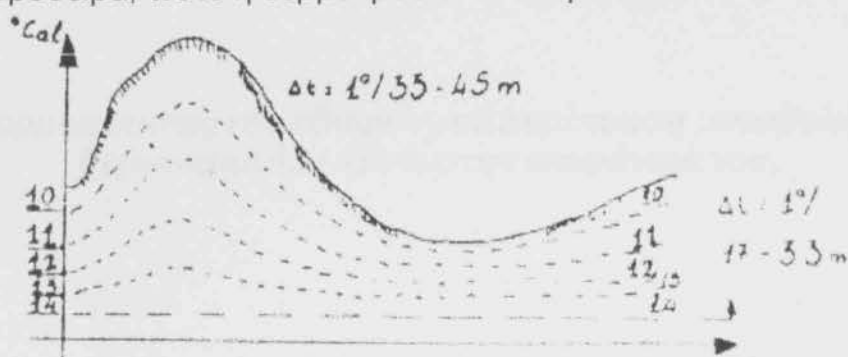
λειτουργία του μηχανικού εξοπλισμού. Είναι λοιπόν αναγκαίο να εκτελείται σχετική μελέτη των πιθανών θερμοκρασιών που θα αναπτυχθούν πριν την διάνοιξη, και θα αποτελεί μέρος της όλης γεωλογικής προμελέτης. Τα αίτια που προκαλούν την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών στη διάνοιξη σήραγγων διακρίνονται σε τεχνητά και φυσικά.

A. ΤΕΧΝΗΤΑ ΑΙΤΙΑ

1. Θερμότητα που εκπέμπεται από τους εργαζόμενους περίπου 1000 BTU ανά εργατή την ώρα.
2. Θερμότητα που εκπέμπεται από τα μηχανήματα. Ισούται με τη διαφορά της συνολικής παραγομένης ενέργειας και αυτής που απορροφάται για την εκτέλεση ωφελίμου έργου σύμφωνα με τη σχέση: $1 \text{ HP} = 24,4 \text{ BTU}$.
3. Θερμότητα που εκπέμπεται από τις σωληνώσεις μεταφοράς πεπιεσμένου αέρα ή τεχνητού ρεύματος αερισμού.
4. Θερμότητα από χημικές αντιδράσεις (καύσεις εκρηκτικών οξειδώσεις πετρωμάτων, αποσυσυνθέσεις ξυλείας).

B. ΦΥΣΙΚΑ ΑΙΤΙΑ

1. Θερμότητα οροσειράς. Η ένταση θερμότητας οροσειράς εξαρτάται από:
 - ♦ την θερμότητα που προέρχεται από το εσωτερικό της γης
 - ♦ την θερμότητα που ελευθερώνεται λόγω διάσπασης των ατόμων των ραδιενεργών στοιχείων.
 - ♦ την ακτινοβολία του ήλιου στη γη. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, εξαρτάται από τη διάρκεια εκπομπής της ακτινοβολίας, το γεωλογικό πλάτος, το υψόμετρο και τη μορφολογία του εδάφους. Η μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα στην επιφάνεια της γης, ελαττώνεται κατά 10 C^2 για αύξηση υψόμετρου περίπου 200 μέτρων.
 - ♦ τον όγκο οροσειράς που βρίσκεται πάνω και στις πλευρές της σήραγγας.
 - ♦ τη διάταξη των πετρωμάτων (οριζόντια-παράλληλη)
 - ♦ τον τρόπο διέλευσης νερού (κρύο-ζεστό)
 - ♦ την αγωγιμότητα.
2. Θερμότητα που διαβιβάζεται από τον αέρα μέσα από ρωγμές, ή άλλης φύσης τεκτονικά επίπεδα.
3. Θερμότητα λόγω οξειδώσεως ή άλλης χημικής μεταβολής στα ορυκτολογικά συστατικά των στρωμάτων.
4. Θερμότητα λόγω τεκτονικών κινήσεων στρωμάτων. Αναπτύσσεται κυρίως σε σήραγγες που διασχίζουν νεαρά πετρώματα με ενεργείς μεταπτώσεις.
5. Θερμότητα που οφείλεται στη γεωθερμική βαθμίδα. Ο όρος αυτός εκφράζει τον αριθμό των μέτρων που πρέπει να κατέβουμε σε βάθος σε μια οροσειρά, ώστε η θερμοκρασία να ανέβει κατά 10 c .



Μεταβολή της θερμοκρασίας σε περίπτωση μη επιπέδου εδάφους.

Η τιμή της γεωθερμικής βαθμίδας δεν είναι σταθερή για δεδομένη τοποθεσία, αλλά επηρεάζεται από τη μορφολογία της επιφάνειας τη διαφορά στη θερμική αγωγιμότητα των διαφόρων πετρωμάτων, τη θερμοκρασία του νερού που ρέει στην οροσειρά κ.λ.π.

Άρα ακόμη και στο ίδιο στρώμα η γεωθερμική βαθμίδα μεταβάλλεται λόγω διαφορών αγωγιμότητας για τα διάφορα τμήματά του. Γενικά οι γεωθερμικές βαθμίδες κυμαίνονται από 30 μέχρι 33 μέτρα.

Η πρόβλεψη των θερμοκρασιών οι οποίες θα συναντηθούν στη διάνοιξη της σήραγγας, αποτελεί μέρος της όλης γεωλογικής προμελέτης και πρέπει να στηρίζεται περισσότερο σε εμπειρικά δεδομένα παρά σε θεωρητικά στοιχεία.

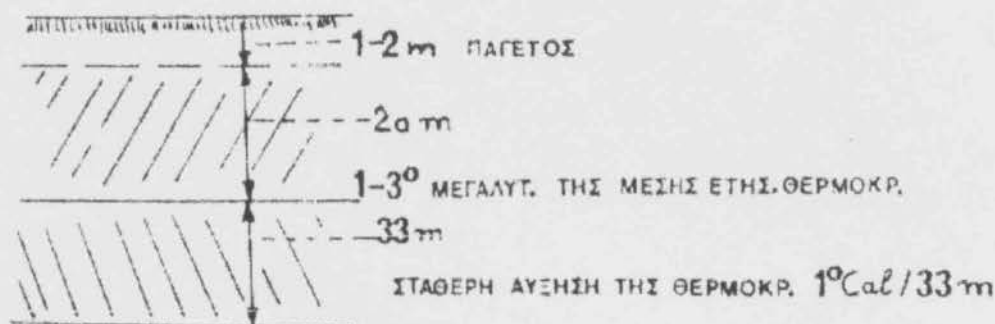
Οι γήινες θερμοκρασίες μπορούν να μετρηθούν με θερμομέτρα μέσα στις γεωτρήσεις. Τα οποία αποκτούν τη θερμοκρασία του πετρώματος σε 30' μέχρι 5 ώρες.

Χρησιμοποιούνται επίσης ηλεκτρονικά θερμομέτρα συνεχούς λειτουργίας. Από αυτές τις μετρήσεις σχεδιάζονται οι ισοθερμικές καμπύλες από την μελέτη των οποίων, εξάγονται συμπεράσματα γεωφυσικής σημασίας, όπως πρόβλεψις διαρροών φυσικών αερίων μέσα στις γεωτρήσεις, ή ορυκτών πετρελαίων ή μαγματικών υδάτων.

Για να μειωθεί η θερμοκρασία της σήραγγας, λαμβάνονται τα ακόλουθα μέτρα:

1. αύξηση της κυκλοφορίας του αέρα.
2. διαβροχή των πετρωμάτων με κρύο νερό.

Το βάθος της ζώνης των πετρωμάτων στην οποία έχουμε μείωση της θερμοκρασίας λόγω αυξημένης κυκλοφορίας αέρα ή διαβροχής με κρύο νερό, του πετρώματος έχει υπολογιστεί ότι είναι της τάξης των 3-5 μέτρων.



Οι θερμοκρασίες του εδάφους σε περίπτωση μεταβολής της θερμοκρασίας πάνω στην επιφάνειά του.

Α. ΜΕΛΕΤΗ ΧΗΡΑΓΓΑΣ ΕΥΤΑΞΙΑ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

ΟΡΙΖΟΝΤΟΓΡΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΗΡΑΓΓΑΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

Α. ΜΕΛΕΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΕΥΤΑΞΙΑ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΜΗΚΟΤΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Στα Σχέδια 1 και 2 δίνονται αντίστοιχα η οριζοντιογραφία και η μηκοτομή της σήραγγας. Το βορειοανατολικό στόμιο της σήραγγας (προς Αθήνα) προβλέπεται στη χ.θ. 11 + 144 και το νοτιοδυτικό στόμιο (προς Κόρινθο) στη χ.θ. 12 + 844, ήτοι το μήκος της σήραγγας θα είναι 1.700 m.

Οριζοντιογραφικά σχεδόν ολόκληρη η σήραγγα (από το προς Αθήνα στόμιο μέχρι τη χ.θ. 12 + 714 περίπου) είναι σε καμπύλη τροχιά, με ακτίνα καμπυλότητας $R = 2.000$ m. Το υπόλοιπο τμήμα της, μέχρι το προς Κόρινθο στόμιο, είναι σε ευθυγραμμία. Μηκοτομικά ευρίσκεται σε ευθυγραμμία με κλίση 1% προς τα βορειοανατολικά.

Το μέγιστο ύψος των υπερκειμένων συναντάται περί τη χ.θ. 12 + 000 και ανέρχεται σε 120 m περίπου.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Η τυπική διατομή της σήραγγας (διατομή χρήσης), σύμφωνα με την εγκεκριμένη προμελέτη, φαίνεται στο Σχέδιο 3.

Ο πυθμένας της σήραγγας διαμορφώνεται αμφικλινής, με εγκάρσιες κλίσεις 4%, που συγκλίνουν στον άξονα της σήραγγας, όπου διαμορφώνεται τραπεζοειδής αύλακας αποστράγγισης. Ο πυθμένας της σήραγγας επικαλύπτεται με υπόστρωμα υποδομής, ήτοι συμπυκνωμένη στρώση θραυστού αδρανούς υλικού κατά την ΠΤΠ 0150, ελαχίστου πάχους 0.25m.

Προβλέπεται η κατασκευή καταφυγίων προσωπικού ανά 25 m (αριστερά και δεξιά του άξονα).

ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ

Η εσωτερική επένδυση προβλέπεται, σύμφωνα με την εγκεκριμένη προμελέτη, να κατασκευασθή από σκυρόδεμα B225, οπλισμένο με χάλυβα BSt420/500. Το πάχος της επένδυσης προβλέπεται σταθερό και ίσο με 0,30 m στις περιοχές όπου η βραχομάζα κατατάσσεται στη κατηγορία II, σύμφωνα με το σύστημα RMR (Bieniawski), και 0,35 m στις περιοχές όπου κατατάσσεται στην κατηγορία III.

ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗ - ΣΤΕΓΑΝΩΣΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Παρ' όλο ότι ο υδροφόρος ορίζοντας, στην περιοχή του έργου, ευρίσκεται σε σημαντικό βάθος κάτω από τη στάθμη της ερυθράς εντός της σήραγγας, εν τούτοις, για λόγους ασφαλείας (λόγω της προβλεπόμενης ηλεκτροκίνησης των συρμών), στην εγκεκριμένη προμελέτη προβλέπεται η κατασκευή στεγανωτικής στρώσης, μεταξύ της άμεσης υποστήριξης και της εσωτερικής επένδυσης, από φύλλα οπλισμένου ελαστομερούς. Δεν προβλέπεται η κατασκευή αποστραγγιστικής στρώσης έξωθεν της στεγανωτικής στρώσης.

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ

ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Το ανάγλυφο της ευρύτερης περιοχής μελέτης είναι έντονο με προεξάρχον στοιχείο τον ορεινό όγκο του Τρικέρατου, με υψόμετρο 470 m και μέση κλίση πρανών 35%.

Περιμετρικά το όρος αυτό ορίζεται από πολλές μισγάγγειες με μεγάλη κατά μήκος κλίση, οι οποίες εκβάλλουν στον κόλπο της Ελευσίνας.

ΓΕΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ - ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Σύμφωνα με τα στοιχεία της γεωλογικής έκθεσης, που συντάχθηκε στη φάση της προμελέτης, η περιοχή ενδιαφέροντος πιθανότατα ανήκει στην Υποπελαγονική Γεωτεκτονική Ζώνη. Δεν μπορεί όμως να αποκλεισθή η πιθανότητα στην εγγύς περιοχή να εμφανίζεται και η Γεωτεκτονική Ζώνη Παρνασσού - Γκιώνας. Το γεωλογικό υπόβαθρο της ευρύτερης περιοχής αποτελείται από ανθρακικούς σχηματισμούς που συμμετείχαν στην αλπική ορογένεση, πάνω στους οποίους έχουν αποθεθεί, κατά θέσεις, Τεταρτογενή ιζήματα.

Συγκεκριμένα εμφανίζονται, από τους νεώτερους προς τους παλαιότερους, οι ακόλουθοι σχηματισμοί:

- Αποθέσεις Πλειστοκαινικής ηλικίας, οι οποίες περιλαμβάνουν χαλαρή αργιλώδη άμμο, με χαλίκια κατά θέσεις και στη συνέχεια άμμο με Ιλύ και λατύπες. Το χρώμα του σχηματισμού είναι φαιό, το δε πάχος του, στην εγγύς περιοχή μελέτης (περιοχή βορειοανατολικού στομίου), είναι 2 m περίπου, ενώ ανατολικότερα ξεπερνά τα 30 m.
- Υποκείμενος των Τεταρτογενών υλικών και υπερκείμενος των ασβεστολίθων υπήρχε, κατά το παρελθόν, φλύσχη, ο οποίος όμως σήμερα έχει αποσαθρωθή πλήρως. Οι υποκείμενοι ασβεστόλιθοι στην εγγύτερη περιοχή, και κυρίως στα ανώτερα τμήματά τους, γίνονται λεπτοπλακώδεις και εμπεριέχουν ενδιάστρωσεις ψαμμιτικών μαργών. Τα στρώματα αυτά θεωρούνται μεταβατικά από τους ανθρακικούς σχηματισμούς προς τον υπερκείμενο φλύσχη.

- Το υπόβαθρο της περιοχής ενδιαφέροντος αποτελούν οι κρητιδικοί ασβεστόλιθοι με κερατολιθικούς κονδύλους, οι οποίοι δομούν και τον ορεινό όγκο του Τρικέρατου. Στα ανώτερα τμήματά τους και μέχρι βάθους 2 - 3 m, όπως προαναφέρθηκε, είναι λεπτοπλακώδεις ενώ βαθύτερα γίνονται παχυπλακώδεις έως και άστρωτοι. Η καρστικοποίησή τους περιορίζεται κυρίως στις ασυνέχειες και τοπικά εκτείνεται σε βάθος μεγαλύτερο των 30 m. Χαρακτηριστική τομή, για τη μελέτη του σχηματισμού, αποτελούν τα πρηνή του αυτοκινητοδρόμου Αθηνών - Κορίνθου, ΝΝΑ της περιοχής μελέτης. Ολόκληρη η σήραγγα αναμένεται να διατηρηθή μέσα στο σχηματισμό αυτό.

Το Τρικέρατο αποτελεί αντίκλινο με διεύθυνση άξονα Α-Δ, ενώ η ακτογραμμή του Λουτρόπυργου είναι ρηξιγενής και διευθύνεται επίσης Α-Δ.

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Υδρογεωλογικά οι ασβεστόλιθοι της περιοχής, είναι σε μεγάλο βαθμό υδροπερατοί, λόγω, κυρίως, της καρστικής διεργασίας και του κερματισμού, επιτρέποντας τη διήθηση σε αυτούς ποσοστού των ομβρίων υδάτων.

Τα ως άνω διηθούμενα νερά κινούνται κατακόρυφα, μέχρι περίπου το υψόμετρο της θάλασσας, όπου σχηματίζεται "ενιαίος" καρστικός ορίζοντας υπογείων υδάτων, ο οποίος εκφορτίζεται στη θάλασσα μέσω παράκτιων πηγών (Νεράκι, Μεγάλο Πεύκο).

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Με βάση την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των γεωτεχνικών ερευνών που αφορούν τα χαρακτηριστικά των ασβεστολιθικών σχηματισμών, μέσα από τους οποίους θα διέλθει η σήραγγα, καθώς και των αποτελεσμάτων των λοιπών γεωλογικών και των γεωτεχνικών ερευνών, ομαδοποιήθηκαν οι γεωλογικοί σχηματισμοί, κατά μήκος της σήραγγας, σε τεχνικογεωλογικές ενότητες που τις διακρίνουν κατά το μάλλον ή ήττον "παρόμοια" φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά. Βασικός γνώμονας για τη δημιουργία των ενότητων αυτών, (που παρατίθενται στη συνέχεια), είναι η ανάγκη να καλυφθούν όλες οι πιθανές κατηγορίες βραχομάζας που αναμένεται να συναντηθούν κατά τη διάνοιξη της σήραγγας.

A. ΕΝΟΤΗΤΑ EGU-1

Στην ενότητα αυτή κατατάσσονται οι παχυπλακώδεις έως άστρωτοι ασβεστόλιθοι, οι οποίοι παρουσιάζονται συμπαγείς και με υψηλές τιμές των μηχανικών τους χαρακτηριστικών.

B. ΕΝΟΤΗΤΑ EGU-2

Στην ενότητα αυτή κατατάσσονται μεσο - παχυπλακώδεις ασβεστόλιθοι με αραιές παρεμβολές ψαμμιτικών μαργών και μαργαϊκών ασβεστολίθων, που

εμφανίζουν μέτριες τιμές μηχανικών χαρακτηριστικών.

Γ. ΕΝΟΤΗΤΑ EGU-3

Στην ενότητα αυτή κατατάσσονται οι λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι. Οι έντονα κερματισμένοι ή καρστικοποιημένοι ή και τεκτονικά καταπονημένοι, που παρουσιάζουν σχετικά πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά.

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Κατά τη διαμόρφωση του βορειοανατολικού στομίου της σήραγγας (ανατολικά της χ.θ. 11 + 144) αναμένεται ότι θα συναντηθούν, κατά βάση, βραχομάζες των ενότητων EGU-3 κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και EGU-2 και EGU-1 στη συνέχεια.

Το κυρίως σώμα της σήραγγας εκτιμάται ότι θα διανοιχθή σε σχηματισμούς των ενότητων EGU-2 και EGU-1, με ενδεχόμενες περιορισμένου μήκους εμφανίσεις υλικών της ενότητας EGU-3.

Το τμήμα της σήραγγας από τη χ.θ. 12 + 670 μέχρι το νοτιοδυτικό στόμιο αναμένεται να διανοιχθή σε κατακερματισμένα και κατά θέσεις χαλαρά βραχώδη (ασβεστολιθικά) υλικά, τα οποία προέκυψαν από την εκσκαφή, με εκρηκτικά, του σχηματισμού, μερική απομάκρυνση των υλικών και επανεπίχωσή τους.

Παρά το γεγονός ότι δεν έχουν εντοπισθή, κατά την επιφανειακή γεωλογική χαρτογράφηση, ρήγματα κατά μήκος του άξονα της σήραγγας, εν τούτοις γίνεται η παραδοχή ότι ενδέχεται να συναντηθούν ρήγματα τα οποία θα είναι πλάτους μερικών μέτρων μόνο και θα χαρακτηρίζονται σαν υλικά της ενότητας EGU-3.

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ - ΓΕΩΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

ΓΕΝΙΚΑ

Η επιλογή των παραμέτρων μηχανικής συμπεριφοράς των αναμενόμενων γεωλογικών σχηματισμών στηρίζεται στα αποτελέσματα των προαναφερθεισών ερευνών, στις επί τόπου παρατηρήσεις και στην υπάρχουσα εμπειρία κατασκευής σηράγγων σε παρόμοιου είδους γεωυλικά.

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ

Με βάση τα αναφερόμενα στις προηγούμενες παραγράφους, βαθμονομήθηκαν τα γεωυλικά κατά μήκος της σήραγγας σύμφωνα με τα συστήματα ταξινόμησης CSIR (Bieniawski, 1989) και NGI (Barton et al., 1974) με σκοπό την κατάταξη της βραχομάζας σε κατηγορίες με τη βοήθεια των αδιάστατων μεγεθών RMR και Q.

Σημειώνεται ότι τα υπ' όψη συστήματα ταξινόμησης της βραχομάζας (CSIR και NGI), συνιστούν ενδεικτικά μέτρα άμεσης υποστήριξης της διανοιγόμενης σήραγγας με βάση την κατηγορία στην οποία κατατάσσεται η βραχομάζα σύμφωνα με τις παραμέτρους RMR και Q.

Τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων των ασβεστολιθικών σχηματισμών, που αναμένεται να συναντηθούν κατά τη διάνοιξη της σήραγγας, σε γεωμηχανικές κατηγορίες του συστήματος CSIR έδειξαν ότι τα εν λόγω υλικά εντάσσονται μεταξύ των κατηγοριών:

$$\text{ΚΑΛΗ (II) και ΦΤΩΧΗ (IV)} \quad 32 \leq \text{RMR} \leq 61$$

με κατώτατα όρια ανά τεχνικογεωλογική ενότητα τα ακόλουθα:

Ενότητα EGU-1	$\text{RMR}_{\min} = 63$
Ενότητα EGU-2	$\text{RMR}_{\min} = 45$
Ενότητα EGU-3	$\text{RMR}_{\min} = 31$

Αντίστοιχα, τα αποτελέσματα της ταξινόμησης των γεωυλικών, σύμφωνα με το σύστημα NGI, παρουσιάζουν ως διακύμανση των ελάχιστων τιμών του δείκτη Q το διάστημα:

$$0,27 \leq Q \leq 8,00$$

δηλαδή τα υλικά εντάσσονται μεταξύ των κατηγοριών: ΜΕΤΡΙΑ έως ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ.

Με βάση τα αποτελέσματα των γεωμηχανικών ταξινομήσεων, επιλέγονται οι ακόλουθες τιμές του μέτρου παραμόρφωσης της βραχομάζας, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στις αναλύσεις:

Ενότητα EGU-1	:	15.000 MPa
Ενότητα EGU-2	:	3.000 MPa
Ενότητα EGU-3	:	1.500 MPa

Για να καλυφθούν οι περιπτώσεις διάνοιξης της σήραγγας μέσα σε διαφορετικής ποιότητας υλικά και κάτω από διαφορετικές συνθήκες εξετάζονται περαιτέρω, ως προς τα μέτρα άμεσης υποστήριξης, κυρίως οι ακραίες κατηγορίες.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

ΓΕΝΙΚΑ

Τα πλέον συνήθη συστήματα ταξινόμησης της βραχομάζας, που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο (CSIR και NGI), συνιστούν μέτρα υποστήριξης για σήραγγες που διανοίγονται με συμβατικές μεθόδους (διάτρηση + ανατίναξη - drill + blast) και ουσιαστικά αποτελούν "εμπειρικές μεθόδους" εκτίμησης μέτρων υποστήριξης υπογείων ανοιγμάτων.

Στην παρούσα μελέτη επιλέγονται τα μέτρα που προβλέπονται στην εγκεκριμένη προμελέτη του έργου, συγκρίνονται με τα "προτεινόμενα" κατά CSIR και NGI μέτρα άμεσης υποστήριξης και ενδεχομένως αναμορφώνονται με βάση την εμπειρία των μελετητών. Στη συνέχεια ελέγχεται η συμπεριφορά της άμεσης υποστήριξης με τη βοήθεια αριθμητικών μεθόδων και τέλος, με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων, γίνεται η τελική διαμόρφωση των μέτρων υποστήριξης.

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ - ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Οι εκτιμήσεις των μέτρων υποστήριξης βασίζονται στην παραδοχή ότι τα μέτρα αυτά θα είναι μόνιμα δηλαδή, θα παραλαμβάνουν όλα τα εξασκούμενα φορτία.

Η παραλαβή των εξασκούμενων φορτίων θα επιτυγχάνεται με την έγκαιρη τοποθέτηση κατάλληλων μέτρων ή συνδυασμού μέτρων προστασίας, τα οποία θα περιορίζουν τις παραμορφώσεις - μετακινήσεις της περιβάλλουσας τη σήραγγα βραχομάζας σε επιθυμητά - ανεκτά όρια. Γενικά οι μέγιστες παραμορφώσεις του περιβάλλοντος μέσου, κατά τη χρονική στιγμή εφαρμογής της υποστήριξης, πρέπει να είναι συμβατές με τις μέγιστες παραμορφώσεις που μπορεί να αναπτυχθούν στο "δακτύλιο" της υποστήριξης.

Από πρακτικής πλευράς ως ανεκτές παραμορφώσεις για το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με πλέγμα ή ίνες και για τα πλαίσια θεωρούνται τα 25 mm και 30 mm αντίστοιχα.

Στις αναλύσεις έγιναν οι παρακάτω παραδοχές :

- Υφίσταται βαρυτικό πεδίο τάσεων με $\sigma_v = \gamma * h$, όπου $\gamma_{\text{μέσο}} = 27 \text{ kN/m}^3$ και h το ύψος των υπερκείμενων.
- Ο συντελεστής οριζοντίων προς κατακόρυφες τάσεις ($k = \sigma_h / \sigma_v$) κυμαίνεται $k = 0,35 \div 0,60$.
- Η συμπεριφορά της βραχομάζας διέπεται από τα κριτήρια αστοχίας Mohr - Coulomb και Hoek & Brown (Hoek and Brown, 1988, Hoek et al., 1992).

ΣΗΡΑΓΓΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	ΤΕΧΝΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΤΑ ΒΙΕΝΝΩΣΚΙ	ΤΙΜΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ	ΜΕΤΡΟ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ (MPa)
Σ1	EGU - 1	$61 \leq \text{RMR} \leq 80$	$q_u = 35 \text{ MPa}$, $m = 1.905$, $m_s = 0.532$, $s = 0.0187$, $s_s = 0.000026$	15000
Σ2	EGU - 2	$41 \leq \text{RMR} \leq 60$	$q_u = 20 \text{ MPa}$, $m = 0.947$, $m_s = 0.128$, $s = 0.00198$, $s_s = 0.00009$	3000
Σ3	EGU - 3	$31 < \text{RMR} < 40$	$c = 0.2 \text{ MPa}$, $\phi = 30^\circ$	1500

Σημείωση : m, s = σταθερές κριτηρίου αστοχίας Hoek & Brown για αμεταταρτα βραχομάζα
 m_s, s_s = σταθερές κριτηρίου αστοχίας Hoek & Brown για διαταραγμένη βραχομάζα

Με βάση τα προαναφερθέντα, οι τιμές των βασικών παραμέτρων μηχανικής συμπεριφοράς που χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισαγωγής για τις αναλύσεις των τυπικών διατομών των μέτρων άμεσης υποστήριξης, δίνονται στον Πίνακα 1.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Για τις αναλύσεις της συμπεριφοράς της άμεσης υποστήριξης χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω κώδικες Η/Υ:

A. PHASES

(Υβριδική μέθοδος ανάλυσης τάσεων - παραμορφώσεων σε βραχομάζα γύρω από σήραγγες με χρήση πεπερασμένων ή και συνοριακών στοιχείων ή συνδυασμό τους).

Κατά την προσομείωση του περιβάλλοντος την υπόγεια εκσκαφή μέσου, η περιοχή γύρω από τη σήραγγα διακριτοποιήθηκε σε πεπερασμένα στοιχεία με μη γραμμική - πλαστική συμπεριφορά.

Με την εν λόγω μέθοδο επιτυγχάνεται ικανοποιητική προσομοίωση της βραχομάζας και των μέτρων υποστήριξης.

Στις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 2.0 του κώδικα (Version 2.0).

B. UNWEDGE

Για τον έλεγχο της δημιουργίας σφηνών, την ανάλυση της ευστάθειάς τους και την εκτίμηση των απαιτούμενων μέτρων υποστήριξης τους χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας Η/Υ UNWEDGE (Version 2.3).

Οι εκτιμήσεις σχετικά με το πεδίο των τάσεων, τις παραμορφώσεις και τις ζώνες αστοχίας της βραχομάζας γύρω από τη σήραγγα έγιναν χρησιμοποιώντας τον κώδικα PHASES.

Για τις εκτιμήσεις των μέτρων υποστήριξης στις διάφορες αναλύσεις χρησιμοποιήθηκαν οι κώδικες PHASES και UNWEDGE.

ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ - ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

ΓΕΝΙΚΑ

Με βάση τα προβλεπόμενα στην εγκεκριμένη προμελέτη, την εμπειρία από παρόμοια υπόγεια έργα και τα προτεινόμενα από τις γεωτεχνικές ταξινομήσεις, εκτιμήθηκαν, αρχικά, δεδομένες απαιτήσεις υποστήριξης και ακολούθως διερευνήθηκε η επάρκειά τους καθώς και η συμπεριφορά του "συστήματος" περιβάλλον μέσο - μέτρα υποστήριξης.

ΚΥΡΙΩΣ ΣΩΜΑ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων με τον κώδικα PHASES προέκυψαν τα εξής :

- Οι ζώνες αστοχίας εντοπίζονται, κατά κανόνα, στις παρειές και στο δάπεδο της σήραγγας, για το μέγιστο ύψος των υπερκειμένων και για τις χαμηλότερες ποιότητες της βραχομάζας.
- Οι παραμορφώσεις στα διάφορα τμήματα της διατομής εκτιμώνται ως εξής:

οροφή	:	0.068 - 0.96 cm
παρειές	:	0.015 - 0.82 cm
δάπεδο	:	0.020 - 0.82 cm

δηλαδή κυμαίνονται σε χαμηλές - ανεκτές τιμές.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα αναφερθέντα στις προηγούμενες παραγράφους, και τα προβλεπόμενα στην εγκεκριμένη προμελέτη του έργου, τα προτεινόμενα μέτρα για την άμεση υποστήριξη της βραχομάζας πέριξ της σήραγγας, στις κατηγορίες I, II, III και για διάφορα ύψη υπερκειμένων, περιγράφονται στον Πίνακα 2.

Τα προτεινόμενα μέτρα υποστήριξης περιλαμβάνουν εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, πάχους 10 ÷ 20 cm, αγκύρια, ράβδους αγκύρωσης, πλαίσια, και προενίσχυση οροφής ή ακόμη και προενίσχυση του μετώπου, όπου και όταν χρειασθή.

Στις περιπτώσεις όπου προβλέπεται η χρήση χαλυβδίνων πλαισίων, αυτά θα τοποθετηθούν μόνο στο άνω τμήμα της διατομής, στα δε σημεία εδρασής τους θα διαμορφωθεί διεύρυνση (elephant foot) για τη μετάδοση των φορτίων του άνω τμήματος μέσα στη μάζα του βράχου και μακράν της παρειάς εκσκαφής του κάτω τμήματος.

Στις περιοχές των στομιών και σε μήκος 30 m περίπου ("κολλάρο") (το ακριβές μήκος θα καθορισθή από τις επί τόπου συνθήκες), θα εφαρμοσθούν τα μέτρα άμεσης υποστήριξης που προβλέπονται για τη Σηραγγολογική Κλάση Σ3 (H < 30 m).

Σε ειδικές περιπτώσεις, αν και όπου κριθή απαραίτητο από τις επί τόπου συνθήκες, προβλέπεται η χρήση χαλυβδίνων πλαισίων τύπου HEB 160 αντί των HEB 120, όπως άλλωστε προβλέπεται στην εγκεκριμένη προμελέτη.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι διαστάσεις εκσκαφής σε κάθε Σηραγγολογική Κλάση έχουν υπολογισθή με βάση τα προβλεπόμενα, στην εγκεκριμένη προμελέτη, πάχη της εσωτερικής επένδυσης (0.30 m για την Κατηγορία II και 0.35 m για την Κατηγορία III). Για τη Σηραγγολογική Κλάση Σ3, που δεν προεβλέπετο στην προμελέτη έχει ληφθή υπ' όψη πάχος εσωτερικής επένδυσης 0,40 m. Το ακριβές πάχος της εσωτερικής επένδυσης και ο απαιτούμενος οπλισμός θα προκύψουν μετά από τη σχετική μελέτη, η οποία θα βασισθή στα αποτελέσματα των γεωτεχνικών μετρήσεων της συμπεριφοράς της βραχομάζας, μετά τη διάνοιξη της σήραγγας.

Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι ούτε στην εγκεκριμένη προμελέτη ούτε στις προδιαγραφές μελέτης και κατασκευής του έργου εκτιμάται σύγκλιση του υπογείου ανοίγματος, ανά κατηγορία βραχομάζας. Ως εκ τούτου προτείνεται να εφαρμοσθή ο ακόλουθος Πίνακας 3, όσον αφορά στις προβλεπόμενες συγκλίσεις (δηλαδή το υπόγειο άνοιγμα θα πρέπει να εκσκάπτεται με διατομή μεγαλύτερη κατά το μέγεθος της σύγκλισης). Ο Πίνακας αυτός έχει βασισθή στις ισχύουσες σχετικές προδιαγραφές του Υπουργείου ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.

Κατηγορία βραχομάζας	Μέγεθος σύγκλισης (cm)	Μέγεθος ανοίγματος (cm)
1	0,5	100
2	1,0	150
3	1,5	200
4	2,0	250
5	2,5	300
6	3,0	350
7	3,5	400
8	4,0	450
9	4,5	500
10	5,0	550
11	5,5	600
12	6,0	650
13	6,5	700
14	7,0	750
15	7,5	800
16	8,0	850
17	8,5	900
18	9,0	950
19	9,5	1000
20	10,0	1050
21	10,5	1100
22	11,0	1150
23	11,5	1200
24	12,0	1250
25	12,5	1300
26	13,0	1350
27	13,5	1400
28	14,0	1450
29	14,5	1500
30	15,0	1550
31	15,5	1600
32	16,0	1650
33	16,5	1700
34	17,0	1750
35	17,5	1800
36	18,0	1850
37	18,5	1900
38	19,0	1950
39	19,5	2000
40	20,0	2050
41	20,5	2100
42	21,0	2150
43	21,5	2200
44	22,0	2250
45	22,5	2300
46	23,0	2350
47	23,5	2400
48	24,0	2450
49	24,5	2500
50	25,0	2550
51	25,5	2600
52	26,0	2650
53	26,5	2700
54	27,0	2750
55	27,5	2800
56	28,0	2850
57	28,5	2900
58	29,0	2950
59	29,5	3000
60	30,0	3050
61	30,5	3100
62	31,0	3150
63	31,5	3200
64	32,0	3250
65	32,5	3300
66	33,0	3350
67	33,5	3400
68	34,0	3450
69	34,5	3500
70	35,0	3550
71	35,5	3600
72	36,0	3650
73	36,5	3700
74	37,0	3750
75	37,5	3800
76	38,0	3850
77	38,5	3900
78	39,0	3950
79	39,5	4000
80	40,0	4050
81	40,5	4100
82	41,0	4150
83	41,5	4200
84	42,0	4250
85	42,5	4300
86	43,0	4350
87	43,5	4400
88	44,0	4450
89	44,5	4500
90	45,0	4550
91	45,5	4600
92	46,0	4650
93	46,5	4700
94	47,0	4750
95	47,5	4800
96	48,0	4850
97	48,5	4900
98	49,0	4950
99	49,5	5000
100	50,0	5050

ΠΙΝΑΚΑΣ 2
ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

ΣΗΡΑΓΓΟΛΟΓΙΚΗ ΚΛΑΣΗ	Υψος Υπερκειμένων (m)	ΜΕΤΡΑ ΜΟΝΙΜΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ			ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
		Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα	Αγκύρια Ράβδοι Αγκύρωσης	Μεταλλικά Πλαίσια	
Σ1 61 < RMR < 80	< 60 Αρ. Σχ. 4	10 cm στο θόλο και στις παρειές	Αγκύρια στις 120ο του θόλου, φορτίου $P_1=10$ t, μήκους $l = 4$ m, σε κάρναβο 2.5 * 2.5 m Ράβδοι αγκύρωσης στις παρειές, φορτίου $P_1 = 10$ t, μήκους $l = 3$ m, σε κάρναβο 2.5 * 2.5 m	-	Το Ε.Σ. θα είναι νοπλισμένο (κατ' ελάχιστο 50 kg / m ³). Γιθανή τοποθέτηση πρόσθετων αγκυρών για υποστήριξη σφηνών μετώπου.
	> 60 Αρ. Σχ. 5	15 cm στο θόλο και στις παρειές	Αγκύρια στις 120ο του θόλου, φορτίου $P_1=10$ t, μήκους $l = 4$ m, σε κάρναβο 2.0 * 2.0 m Ράβδοι αγκύρωσης στις παρειές, φορτίου $P_1 = 10$ t, μήκους $l = 3$ m, σε κάρναβο 2.0 * 2.0 m	-	
Σ2 41 < RMR < 60	< 60 Αρ. Σχ. 6	15 cm στο θόλο και στις παρειές	Αγκύρια στις 120ο του θόλου, φορτίου $P_1=10$ t, μήκους $l = 4$ m, σε κάρναβο 1.5 * 1.5 m Ράβδοι αγκύρωσης στις παρειές, φορτίου $P_1 = 10$ t, μήκους $l = 5$ m, σε κάρναβο 1.5 * 1.5 m	HEB 120 ανά 2.0 m, όπου και αν απαιτηθεί	Το Ε.Σ. θα είναι νοπλισμένο (κατ' ελάχιστο 50 kg / m ³). Γιθανή τοποθέτηση πρόσθετων αγκυρών για υποστήριξη σφηνών μετώπου. Στο άνω τμήμα της δικτομής διαμόρφωση elephant foot στα σημεία έδρασης των πλαισίων.
	> 60 Αρ. Σχ. 7	20 cm στο θόλο και στις παρειές	Αγκύρια στις 180ο του θόλου, φορτίου $P_1=10$ t, μήκους $l = 4$ m, σε κάρναβο 1.5 * 1.5 m Ράβδοι αγκύρωσης στις παρειές, φορτίου $P_1 = 10$ t, μήκους $l = 5$ m, σε κάρναβο 1.5 * 1.5 m	HEB 120 ανά 1.50 - 2.0 m	
Σ3 31 < RMR < 40	< 30 Αρ. Σχ. 8	20 cm στο θόλο και στις παρειές	Αγκύρια όπου απαιτείται στο θόλο, φορτίου $P_1=10$ t, μήκους $l = 4$ m, ανά 1.0 m Ράβδοι αγκύρωσης στις παρειές, φορτίου $P_1 = 10$ t, μήκους $l = 5$ m, σε κάρναβο 1.2 * 1.0 m	HEB 120 ανά 1.20 - 1.50 m	Το Ε.Σ. θα είναι νοπλισμένο (κατ' ελάχιστο 50 kg / m ³). Γιθανή τοποθέτηση πρόσθετων αγκυρών για υποστήριξη σφηνών μετώπου. Στο άνω τμήμα της δικτομής διαμόρφωση elephant foot στα σημεία έδρασης των πλαισίων.
	> 30 Αρ. Σχ. 9	20 cm στο θόλο και στις παρειές	Αγκύρια όπου απαιτείται στο θόλο, φορτίου $P_1=10$ t, μήκους $l = 4$ m, ανά 1.0 m Ράβδοι αγκύρωσης στις παρειές, φορτίου $P_1 = 10$ t, μήκους $l = 5$ m, σε κάρναβο 1.0 * 1.0 m	HEB 120 ανά 1.0 - 1.20 m	

ΣΗΡΑΓΓΟΛΟΓΙΚΗ ΚΛΑΣΗ	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΣΥΓΚΛΙΣΗ (m)
Σ1	0.05
Σ2	0.10
Σ3	0.20

Πίνακας 3

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΓΕΝΙΚΑ

Για τη διάνοιξη της σήραγγας προβλέπεται να ακολουθηθεί η Νέα Αυστριακή Μεθοδολογία Διάνοιξης Σηράγγων (New Austrian Tunnelling Method - NATM), που εισήχθη αρχικά από τους αυστριακούς καθηγητές Muller και Rabcewicz το 1964 για την κατασκευή της σήραγγας Schwaikheim και ανεπτύχθη στη συνέχεια και από άλλους επιστήμονες.

ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΓΕΝΙΚΑ

Οι εργασίες για την κατασκευή της σήραγγας προβλέπεται να αρχίσουν από το βορειοανατολικό στόμιο, αφ' ενός μεν λόγω της κλίσης της σήραγγας προς το μέτωπο αυτό (που έχει ως συνέπεις τη με φυσική ροή απορροη των νερών προς το βόρειο στόμιο), αφ' ετέρου δε λόγω της επάρκειας του εξωτερικού χώρου για την ανάπτυξη του εργοταξίου, σε αντίθεση με την περιοχή το νοτιοδυτικού στομίου.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ

Σε όλες τις κατηγορίες βραχομάζας η εκσκαφή δύναται να γίνη σε δύο φάσεις: θόλος και βαθμίδα. Δεν αναμένεται να συναντηθούν διογκούμενα (swelling) ή συμπιέζοντα (squeezing) γεωυλικά, που θα απαιτούσαν, ενδεχομένως, την κατασκευή ανεστραμμένου τόξου (τρίτη φάση εκσκαφής).

Γενικώς κάθε φάση εκσκαφής περιλαμβάνει ένα στάδιο. Ενδεχομένως, όμως, ανάλογα με τις συναντώμενες συνθήκες και κυρίως για βραχομάζες Σηραγγολογικής Κλάσης Σ3, να χρειασθούν περισσότερα στάδια εκσκαφής σε κάθε φάση.

Το βήμα προχώρησης και η διαδοχή των διαφόρων φάσεων ή σταδίων εκσκαφής θα είναι τέτοια ώστε τα άμεσα μέτρα υποστήριξης να τοποθετούνται εγκαίρως και να λειτουργούν σε συνεργασία με το περιβάλλον υλικό.

Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου εκσκαφής και υποστήριξης ανά κλάση βραχομάζας θα ελέγχεται συνεχώς στη φάση κατασκευής και τα μέτρα υποστήριξης θα τροποποιούνται - συμπληρώνονται (αν απαιτείται) βάσει της αξιολόγησης των επί τόπου στοιχείων και κυρίως των γεωτεχνικών μετρήσεων.

Θα εφαρμοσθούν τεχνικές ελεγχόμενης ανατινάξης και διατρήματα κατάλληλου φορτίου, ανάλογα με την ποιότητα της βραχομάζας, ώστε να ελαττωθούν οι διαταραχές αυτής (βραχομάζας), εξ' αιτίας των ανατινάξεων, αλλά και να μειωθούν οι υπερεκσκαφές. Εφ' όσον οι υπερεκσκαφές είναι πολύ μεγάλες, προτείνεται η χρήση δοκών για τον περιορισμό τους.

Το μήκος της διάτρησης (άρα και του κύκλου προχώρησης) θα κυμαίνεται ανάλογα με την κλάση της βραχομάζας. Εκτιμάται ότι το βήμα προχώρησης (προχώρηση ανά κύκλο εργασίας) θα έχει ως ακολούθως:

Σηραγγολογική Κλάση Σ1	:	(3.0 ÷ 4.0) m
Σηραγγολογική Κλάση Σ2	:	(1.50 ÷ 3.0) m
Σηραγγολογική Κλάση Σ3	:	(1.0 ÷ 1.5) m

Με το πέρας της διάτρησης θα γίνεται η γόμωση των διατρημάτων με την εκρηκτική ύλη και ακολούθως θα γίνεται η έναυση των υπονόμων. Μετά την πυροδότηση, ο αεραγωγός θα μεταφέρεται στο μέτωπο για τον αερισμό του μετώπου με σκοπό τη γρήγορη απαγωγή των αερίων και του κονιορτού.

Το επόμενο στάδιο, μετά τον αερισμό του μετώπου, είναι το επιμελημένο ξεσκάρωμα της οροφής και των παρειών της εκσκαφής (απομάκρυνση των χαλαρών και επισφαλών βραχοτεμαχών) και θα ακολουθή η φάση της τοποθέτησης των μέτρων άμεσης υποστήριξης (εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, αγκυρώσεις, πλαίσια κλπ.).

Τα υλικά των εκσκαφών θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή επιχωμάτων ή θα αποτίθενται στους επιλεγμένους χώρους απόθεσης.

ΤΡΟΠΟΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ

Η εκσκαφή της σήραγγας θα πραγματοποιηθεί με τη συμβατική μέθοδο των διατρήσεων και ανατινάξεων (drill + blast) με χρήση διατρητικού φορείου (jumbo), ενώ σε περιπτώσεις βραχομάζας Σηραγγολογικής Κλάσης Σ3 εκτιμάται ότι θα είναι δυνατή και απαραίτητη η περιορισμένη χρήση υδραυλικού σφυριού.

Ειδικότερα, για την εκσκαφή του θόλου της διατομής (Α' Φάση) προβλέπονται τα παρακάτω:

Α. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΚΛΟΥ ΕΚΣΚΑΦΗΣ

Επιφάνεια διατομής	:	~60 m ²
Μήκος διάτρησης	:	4,0 m
Μήκος προχώρησης	:	3,7 m
Όγκος εκσκαφής	:	~220 m ³
Σύνολο διατρημάτων	:	93, Ø 45 mm
Διατρήματα κενά	:	2, Ø 76 mm
Διατρήματα λείας έκρηξης	:	33
Διατρήματα προεκσκαφής	:	4

Διατρήματα εκσκαφής : 56
 Καψύλια 40 m/s MIZF
 Καψύλια 500m/s TZMSF

B. ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ

Χρήση ANFO

- ♦ Διατρήματα λείας έκρηξης (περιμετρικά)
 Ζελατοδυναμίτιδα Φ 28, 0.5 kg / mm
- ♦ Διατρήματα προεκσκαφής & εκσκαφής
 Booster - Ζελατοδυναμίτιδα 30% Φ 38, 06 kg / διάτρημα
 ANFO (χύμα) 2 kg / μμ διατρήματος

Χρήση Ζελατοδυναμίτιδας 30 %

- ♦ Διατρήματα λείας έκρηξης (περιμετρικά)
 Ζελατοδυναμίτιδα Φ 28, 0.5 kg / mm
- ♦ Διατρήματα προεκσκαφής & εκσκαφής
 2.4 kg / διάτρημα

Γ. ΤΡΟΠΟΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ

Η διάτρηση των οπών ανατίναξης θα πραγματοποιηθεί με χρήση jumbo, με εφαρμογή παράλληλης διάταξης, πλην των περιμετρικών διατρημάτων.

Το μήκος των διατρημάτων θα ποικίλει ανάλογα με την κατηγορία της βραχομάζας και τις κατά περίπτωση γεωλογικές συνθήκες.

Θα γίνουν 2 κενές κεντρικές οπές διάτρησης Φ 76 mm. Τα υπόλοιπα διατρήματα θα έχουν διάμετρο Φ 45 mm. Οι περιμετρικές οπές θα έχουν απόσταση μεταξύ τους 0,50 m, ενώ τα "ντούκια" θα απέχουν μεταξύ τους 1.20 m. Ο κάρναβος των εσωτερικών διατρημάτων θα είναι περίπου 1.0 × 1.0 m. Θα χρησιμοποιηθούν ηλεκτρικά καψύλια χαμηλής ευαισθησίας. Για τα διατρήματα προεκσκαφής (buson) θα χρησιμοποιηθούν καψύλια m/s, ενώ στα υπόλοιπα διατρήματα θα χρησιμοποιηθούν καψύλια h/s. Η σύνδεση των καψυλίων θα γίνεται εν σειρά και θα πυροδοτούνται από κατάλληλο πυροδοτικό μηχανισμό.

Ανάλογα με το είδος του πετρώματος και την παρουσία νερού ή όχι, θα γίνει χρήση και της κατάλληλης εκρηκτικής ύλης, σύμφωνα με την προηγούμενη παράγραφο (β).

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

ΓΕΝΙΚΑ

Το είδος και τα υλικά των μέτρων υποστήριξης είναι τέτοια ώστε να επιτρέπουν την ταχεία και αποτελεσματική εφαρμογή τους, με σκοπό να αποφεύγονται οι καθυστερήσεις.

Τα μέτρα υποστήριξης περιλαμβάνουν ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, αγκύρια, πλαίσια, μικροπασσάλους και μέτρα προενίσχυσης της οροφής και του μετώπου, σε κατάλληλους μεταξύ τους συνδυασμούς.

Γενικά η τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης προβλέπεται να ακολουθεί την εξής σειρά:

εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (flashcretcoat) - αγκύρια - ράβδοι αγκύρωσης - συμπλήρωση στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος - ενδεχόμενη συμπλήρωση αγκυρίων

Στις περιπτώσεις των Σηραγγολογικών Κλασεων Σ2 ($H > 60$ m) και Σ3, όπου προβλέπεται η τοποθέτηση πλαισίων, ο κύκλος εφαρμογής των μέτρων υποστήριξης θα ακολουθεί την εξής σειρά:

ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (flashcretcoat) - πλαίσια - εκτοξευόμενο σκυρόδεμα - αγκύρια - ράβδοι αγκύρωσης - συμπλήρωση στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος

Το ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα θα παράγεται και θα εφαρμόζεται λαμβάνοντας υπ' όψη τα αναγραφόμενα στις Τεχνικές Προδιαγραφές. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι προβλέπεται η χρησιμοποίηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος που θα αναπτύσσει αντοχή σε 1 ημέρα περίπου 10 MPa και σε 28 ημέρες ~30 MPa.

Τα προτεινόμενα, προς χρήση, αγκύρια είναι τριβής τύπου swellex και οι ράβδοι αγκύρωσης ολόσωμης πάκτωσης με τσιμεντένεμα.

Τα αγκύρια τριβής (swellex) εμφανίζουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

1. Εύκολη και γρήγορη διαδικασία τοποθέτησης
2. Ικανότητα για άμεση ανάληψη φορτίων με την τοποθέτησή τους
3. Λόγω των ακτινικών πιέσεων που εξασκούν στις παρειές του διατρή-ματος και οι οποίες μεταφέρονται και στις γειτονικές του ασυνέχειες (με συνέπεια εν μέρει να "κλείνουν") αυξάνονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών.
4. Καθαρό μέτωπο εργασίας, αφού για την τοποθέτησή τους απαιτείται μόνο αντλία εισπίεσης νερού στα αγκύρια
5. Ικανότητα ανάληψης σημαντικών παραμορφώσεων χωρίς το αγκύριο να αστοχήσει.

Συνέπεια των ανωτέρω είναι η πρόταση για τοποθέτηση αγκυρίων τριβής στην οροφή του ανοίγματος (όπου είναι η αρχική περιοχή τοποθέτησης αγκυρίων μετά την εκσκαφή) και ράβδων αγκύρωσης ολόσωμης πάκτωσης στις παρειές του ανοίγματος, εκτός εάν ειδικοί λόγοι σε δεδομένη θέση (π.χ. δυνατότητα σχηματισμού σφηνών στις παρειές) επιβάλλουν να τοποθετηθούν παντού αγκύρια τριβής (εκμετάλλευση πλεονεκτημάτων β και γ).

Τα χρησιμοποιούμενα χαλύβδινα πλαίσια προβλέπεται να είναι τύπου HEB 120. Σε ειδικές περιπτώσεις, αν και όπου κριθή σπαραίτητο από τις επί τόπου συνθήκες, μετά από γραπτή έγκριση κατά περίπτωση στο Ημερολόγιο του Έργου από τον Επιβλέποντα Μηχανικό του κυρίου του Έργου, μπορεί να γίνει χρήση χαλυβδίνων πλαισίων τύπου HEB 160 αντί HEB 120. Αυτό ισχύει και για τα ήδη τοποθετημένα πλαίσια, μέχρι υπογραφής της παρούσας οριστικής μελέτης, που τοποθετήθηκαν βάσει της εγκεκριμένης προμελέτης.

Τα μέτρα υποστήριξης θα εφαρμόζονται σταδιακά και στον κατάλληλο χρόνο ώστε να δημιουργούν τις απαραίτητες προϋποθέσεις για ανακατανομή των τάσεων στην περίμετρο της εκσκαφής και την ως εκ τούτου ανάπτυξη φέρουσας

κατασκευής με τη συμμετοχή και του περιβάλλοντος τη σήραγγα μέσου. Πέραν τούτου, τα μέτρα θα συμπληρώνονται και θα προσαρμόζονται κατάλληλα στις συναντώμενες επί τόπου συνθήκες. Στην τελική επιλογή / προσαρμογή των μέτρων υποστήριξης θα ληφθούν υπ' όψη τα αποτελέσματα των γεωτεχνικών μετρήσεων με όργανα.

Η προενίσχυση της βραχομάζας της Σηραγγολογικής Κλάσης Σ3 θα πραγματοποιηθή με τρόπους όπως:

- A. Τοποθέτηση χαλύβδινων στοιχείων σε διατρήματα, μπροστά και πάνω από το μέτωπο της σήραγγας, με ή χωρίς ενεμάτωση των διατρημάτων.
- B. Προενίσχυση των μετώπων με αγκύρια πλήρους πάκτωσης τύπου Swellex ή παρόμοια.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι τα μήκη των στοιχείων προενίσχυση οροφής μπορούν να κυμαίνονται μεταξύ $l = 6,0 \text{ m}$ και $l = 12,0 \text{ m}$.

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

ΓΕΝΙΚΑ

Οι γεωτεχνικές μετρήσεις αποσκοπούν στον έλεγχο της συμπεριφοράς της υπόγειας εκσκαφής, στον έλεγχο του περιβάλλοντος αυτή μέσου (βραχομάζας) καθώς και της επιφανείας του εδάφους, ώστε να εξασφαλίζεται τόσο η ευστάθεια όσο και η ασφάλεια του έργου. Είναι δε απολύτως απαραίτητες για την ομαλή και ασφαλή εκτέλεση του έργου.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση προβλέπεται η εκτέλεση γεωτεχνικών μετρήσεων μέσα από το υπόγειο άνοιγμα ανάλογα με τις συναντώμενες επί τόπου συνθήκες του εδάφους, τα προβλεπόμενα μέτρα υποστήριξης, την υπερκάλυψη της σήραγγας, τη μεθοδολογία εκσκαφής κλπ.

Συνήθης πρακτική είναι η τοποθέτηση οργάνων στο εσωτερικό της σήραγγας σε ορισμένους σταθμούς (διατομές) ανάλογα με τα γεωτεχνικά προβλήματα και τις απαιτήσεις του έργου ώστε, να εξασφαλίσουν παρακολούθηση και έλεγχο της κατασκευής της, ενώ ορισμένα απ' αυτά προορίζονται να λειτουργήσουν παρέχοντας πληροφορίες και μετά το πέρας της κατασκευής.

Τα όργανα στην επιφάνεια τοποθετούνται σε περιοχές όπου υπάρχει μικρό ύψος υπερκειμένων. Οι σταθμοί των οργάνων επιφανείας μπορούν να συνδυαστούν με τους υπόγειους.

Προβλέπεται η εγκατάσταση τριών διαφορετικών τύπων οργάνων σε διατομές (μετρητικούς σταθμούς) της σήραγγας:

➤ *ΜΕΤΡΗΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΤΥΠΟΥ U1*

Θα εκτελούν μετρήσεις σύγκλισης (παραμόρφωσης) (CV) και χωροστάθμισης (LE). Πρόκειται περί σταθμών των πέντε (5) σημείων μέτρησης της παραμόρφωσης (εκ των οποίων το ένα θα χρησιμοποιείται και για τη χωροστάθμιση της οροφής) και θα εγκατασταθούν κατά μήκος της σήραγγας ανά 50 m περίπου (40 σταθμοί).

➤ *ΜΕΤΡΗΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΤΥΠΟΥ U2*

Θα συνδυασθούν με τους μετρητικούς σταθμούς U1 και θα τοποθετηθούν ανά 150 m κατά μήκος της σήραγγας (8 σταθμοί). Περιλαμβάνουν, πέραν των προηγούμενων, κυψέλες μέτρησης των τάσεων εντός της μάζας του εκτοξευομένου σκυροδέματος της άμεσης υποστήριξης (ST) και κυψέλες μέτρησης του φορτίου που ασκεί η βραχομάζα πάνω στην άμεση υποστήριξη (PR).

➤ **ΜΕΤΡΗΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΤΥΠΟΥ U3**

Περιλαμβάνουν εκτασιόμετρα (EX) των τριών ράβδων (3 m, 6 m και 9m) και θα τοποθετηθούν ανά 250 m κατά μήκος της σήραγγας (5 σταθμοί).

➤ **ΔΥΝΑΜΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΚΕΦΑΛΕΣ ΑΓΚΥΡΙΩΝ**

Σε χαρακτηριστικές θέσεις κατά μήκος της σήραγγας, ανάλογα με τους συναντώμενους γεωλογικούς σχηματισμούς, προβλέπεται η τοποθέτηση δυναμομετρικών κεφαλών στα αγκύρια της άμεσης υποστήριξης.

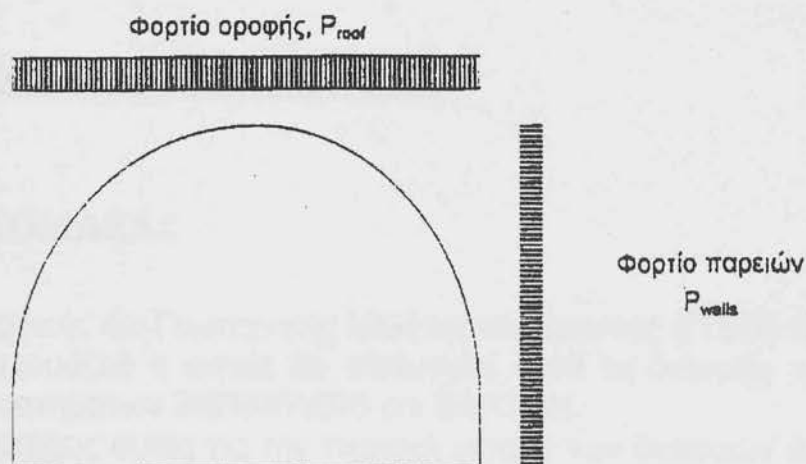
ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΚΑΙ ΛΟΙΠΕΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Για τον υπολογισμό της εσωτερικής επένδυσης προβλέπεται να χρησιμοποιηθούν οι γεωτεχνικές παράμετροι, ανά Σηραγγολογική Κλάση βραχομάζας, που παρατέθηκαν στον Πίνακα 1, όπως αυτές ενδέχεται να τροποποιηθούν βάσει των γεωτεχνικών μετρήσεων κατά τη διάνοιξη της σήραγγας.

Στο Σχήμα 1 δίδονται οι εκτιμήσεις των αναμενομένων φορτίων (ευρους φορτίων) επί της εσωτερικής επένδυσης με βάση τα σήμερα διαθέσιμα στοιχεία.

Σαν είσοδος σήραγγας νοείται η περιοχή του "κολλάρου" της σήραγγας, ήτοι ένα μήκος 30 m περίπου από το βορειοανατολικό στόμιο.

Επί πλέον των φορτίων του Σχήματος 1, ο φορέας (κέλυφος της επένδυσης) θα πρέπει να εξετασθή και για μηδενικά φορτία σπό τη βραχομάζα, δεδομένου ότι, για σημαντικό χρονικό διάστημα μετά τη διάνοιξη και την κατασκευή της εσωτερικής επένδυσης, η βραχομάζα θα ασκή επ' αυτής μηδενικές ως πολύ μικρές πιέσεις. (1.50 ~ . 3.0) m(1.50 ~ . 3.0) m(1.50 ~ . 3.0) m



Α. ΦΟΡΤΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Σηραγγολογική Κλάση	Κυρίως Σώμα Σήραγγας		Εισοδοί Σήραγγας	
	Φορτίο Οροφής kg/cm ²	Φορτίο Παρειών kg/cm ²	Φορτίο Οροφής kg/cm ²	Φορτίο Παρειών kg/cm ²
Σ1	0,20 - 0,90	0,15 - 0,48	0,35 - 1,10	0,25 - 0,80
Σ2	0,90 - 1,50	0,48 - 0,81	1,15 - 1,65	0,84 - 1,20
Σ3	1,50 - 2,00	0,81 - 1,12	2,60	1,95

Β. ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Σηραγγολογική Κλάση	Δείκτης Αντίστασης Εδάφους K (MPa/m)	Μέτρο Παραμορφωσιμότητας, Ε (MPa)
Σ1	2500	15000
Σ2	500	3000
Σ3	250	1500

Ισοδύναμη ακτίνα, $R = 6,0 \text{ m}$

$\gamma = 2,75 \text{ t/m}^2$

Αναμενόμενα Φορτία Εσωτερικής Επένδυσης

Σχήμα 1

Β. ΜΕΛΕΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΙΧΘΥΟΣΚΑΛΑΣ

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Στο τεύχος της Γεωλογικής και Γεωτεχνικής Μελέτης και Έρευνας (ΓΓΕΜ) έχει γίνει κατάταξη της βραχομάζας η οποία θα απαντηθεί κατά τη διάνοιξη των σηράγγων βάσει των συστημάτων BIENIAWSKI και BARTON.

Σύμφωνα με τις κατατάξεις αυτές για την περιοχή μεταξύ των διατομών Δ29 και Δ37 προβλέπεται διάνοιξη σε βραχομάζα στο όριο μεταξύ μέτριας και «πτωχής» κατά BIENIAWSKI (εκτιμώμενος δείκτης RMR = 40,9), για δε την περιοχή μεταξύ των διατομών Δ37 και Δ43 σε βραχομάζα «μέτρια» προς «καλή» (εκτιμώμενη τιμή RMR = 40,9).

Αντίστοιχα, κατά BARTON, η βραχομάζα μεταξύ των διατομών Δ29 και Δ37 χαρακτηρίζεται από τιμή δείκτη $Q=4,0$, μεταξύ δε Δ37 και Δ43 από τιμή $Q=16,0$, χαρακτηρίζεται δε αντίστοιχα ως «πτωχή» έως «μέτρια» (Δ29 έως Δ37) και «καλή» (Δ37 έως Δ43).

Μια άλλη κατάταξη η οποία συνεχώς βρίσκει ευρύτερη εφαρμογή, είναι αυτή του δείκτη GSI. Σύμφωνα με τις θεωρήσεις της εν λόγω κατάταξης (Πίνακας 1), εκτιμάται ότι η μεν βραχομάζα μεταξύ των διατομών Δ29 έως Δ37 χαρακτηρίζεται ως «ΚΕΡΜΑ ΤΙΣΜΕΝΗ / ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ» ως προς τη δομή, ως προς την κατάσταση δε της επιφάνειας αστοχίας ως «ΜΕΤΡΙΑ», μεταξύ δε των διατομών Δ37 και Δ43 επίσης ως «ΚΕΡΜΑ ΤΙΣΜΕΝΗ / ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ» ως προς τη δομή, αλλά ως προς τη κατάσταση της επιφάνειας αστοχίας ως «ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ».


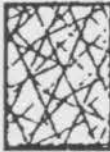


Κατ' αντιστοιχία, η τιμή GSI που χαρακτηρίζει την περιοχή μεταξύ των διατομών Δ29 και Δ37 είναι η $GSI=40$, μεταξύ δε των διατομών Δ37 και Δ43 η $GSI=60$.

Επισημαίνεται επίσης στο τεύχος της ΓΓΕΜ ότι στην γεώτρηση Γ-3 εντοπίστηκαν κάτω από το βάθος των 15,00m κροκαλοπαγή χαλαρής δομής, των οποίων η έκταση δεν έχει προσδιορισθεί επακριβώς (εκτιμάται πάντως ότι πιθανόν αυτά να εκτείνονται έως την είσοδο της σήραγγας, σε χαμηλά πάντως υψόμετρα). Πιθανολογείται επίσης η ύπαρξη ρήγματος μεταξύ των θέσεων των γεωτρήσεων Γ-2 και Γ-3.

Καθώς δεν έχει γίνει ιδιαίτερη κατάταξη των ζωνών αυτών με τα συστήματα βαθμονόμησης BIENIAWSKI και BARTON στη ΓΓΕΜ, κρίνεται σκόπιμο αυτή να γίνει στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, με εφαρμογή του συστήματος GSI.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 1 οι ζώνες μπορεί να ενταχθούν ως προς τη δομή στην κατηγορία «ΚΕΡΜΑΤΙΣΜΕΝΗ / ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ» (για τη ζώνη του πιθανολογούμενου ρήγματος) ή στην κατηγορία «ΚΑΤΑΚΕΡΙΜΑΤΙΣΜΕΝΗ» για τη στρώση των χαλαρών κροκαλοπαγών. Η κατάσταση της επιφάνειας αστοχίας μπορεί να χαρακτηριστεί ως «ΠΤΩΧΗ» ή «ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ» για τα κροκαλοπαγή και τη ζώνη του ρήγματος αντίστοιχα. Η ενδεικνυόμενη τιμή GSI για τους προκύπτοντες δύο συνδυασμούς είναι η $GSI=20$.

Πίνακας 1 : Γενικευμένο Κριτήριο Hoek-Brown (Hoek et al, 1995)

ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΗΟΕΚ-BROWN $\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_c (m_b \sigma_3' / \sigma_c + s)^a$ σ_1' = μέγιστη κύρια ενεργός τάση κατά την θραύση σ_3' = ελάχιστη κύρια ενεργός τάση κατά την θραύση σ_c = μονοαξονική θλιπτική αντοχή ακέραιων τεμαχίων βράχου m_b, s και a είναι σταθερές που εξαρτώνται από την σύσταση δομής και κατάσταση των επιφανειών ασυνέχειας της βραχώδους μάζας		ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ					
		ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ	ΠΤΩΧΗ	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ	
ΔΟΜΗ  ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ - Βραχώδης μάζα αποτελούμενη από πολύ καλά αλληλοεμπλεκόμενα κυβοειδή τεμάχια αδιατάρακτου βράχου που διαμορφώνονται από τρεις οικογένειες ορθογωνικών ασυνεχειών		m_b/m_f	0.6	0.4	0.26	0.16	0.08
		s	0.19	0.062	0.015	0.003	0.0004
		a	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
		E_m^*	75000	40000	20000	9000	3000
		ν	0.2	0.2	0.25	0.25	0.25
		GSI	85	75	62	48	34
 ΚΕΡΜΑΤΙΣΜΕΝΗ - Βραχώδης μάζα αποτελούμενη από πολύ καλά αλληλοεμπλεκόμενα πολυεδρικά γωνιώδη τεμάχια μερικώς διαταραγμένου βράχου που διαμορφώνονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών		m_b/m_f	0.4	0.29	0.16	0.11	0.07
		s	0.062	0.021	0.003	0.001	0
		a	0.5	0.5	0.5	0.5	0.53
		E_m	40000	24000	9000	5000	2500
		ν	0.2	0.25	0.25	0.25	0.3
		GSI	75	65	48	38	25
 ΚΕΡΜΑΤΙΣΜΕΝΗ/ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ - πτυχωμένη και ρηγματωμένη με πολλές διασταυρούμενες ασυνέχειες που δημιουργούν γωνιώδη τεμάχια		m_b/m_f	0.24	0.17	0.12	0.08	0.06
		s	0.012	0.004	0.001	0	0
		a	0.5	0.5	0.5	0.5	0.55
		E_m	18000	10000	6000	3000	2000
		ν	0.25	0.25	0.25	0.3	0.3
		GSI	60	50	40	30	20
 ΚΑΤΑΚΕΡΜΑΤΙΣΜΕΝΗ - έντονα κερμασμένη βραχώδης μάζα με ασθενώς αλληλοεμπλεκόμενα τεμάχια συντιθέμενα από ένα μίγμα γωνιωδών και στραγγιλευμένων τεμαχίων		m_b/m_f	0.17	0.12	0.08	0.06	0.04
		s	0.004	0.001	0	0	0
		a	0.5	0.5	0.5	0.55	0.6
		E_m	10000	6000	3000	2000	1000
		ν	0.25	0.25	0.3	0.3	0.3
		GSI	50	40	30	20	10

* Οι μονάδες του Μέτρου Ελαστικότητας E_m είναι σε ΜΡα

Συνεκτιμώντας όλα τα παραπάνω κρίθηκε σκόπιμο να διαχωρισθούν εφεξής 3 Σηραγγολογικές Κατηγορίες, για την εκτέλεση των υπολογισμών που ακολουθούν και για τις οποίες θα απαιτηθεί ιδιαίτερη αντιμετώπιση ως προς την εκσκαφή τα μέτρα υποστήριξης κλπ. Η γεωλογική περιγραφή των υπόψη κατηγοριών, η βραχομηχανική κατατάξη τους σύμφωνα με τα προαναφερθέντα συστήματα καθώς και η πιθανολογούμενη μέγιστη ανάπτυξη της κάθε κατηγορίας στις εκσκαφές των σηράγγων γίνεται στον ακόλουθο Πίνακα 2.

Σηραγγολογικές Κατηγορίες Εργου

Σηραγγολογική Κατηγορία	Περιγραφή	ΔΒΙΚΤΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ			Εκτιμώμενο πεδίο εφαρμογής
		BIENIAWSKI	BARTON	OSI	
I	Λατυποπαγής ασβεστόλιθος, κατά θέση μαργαϊκός υγιής, μέσης αντοχής έως σκληρός, με ενδιαστρώσεις ψαμίτιη.	61	16	60	Διατομές Δ37 έως Δ43
II	α) Εναλλαγές πλακωδών μαργαϊκών ασβεστόλιθων, ιλυολίθων, ψαμιτιών και πορώδους ασβεστόλιθου, μικρής έως μέσης αντοχής πολύ ελαφρά έως ελαφρά αποσθρωμένων. β) Ως Σηραγγολογική κατηγορία Γ αλλά με επικάλυψη οροφής < 8m.	41	4	40	<ul style="list-style-type: none"> Διατομές Δ29 έως Δ37 Διατομές Δ43 έως περιοχή μετώπου εξόδου (η ακριβής θέση θα προσδιορισθεί μετά τον καθορισμό της θέσης του μετώπου και της μεθόδου διάνοιξης στο μέτωπο εξόδου)
III	α) Χαλαρής δομής κροκαλοπαγή β) Ζώνες ρηγμάτων γ) Μέτωπο εισόδου σήραγγας επί μήκους 15m	20	0.05	20	<ul style="list-style-type: none"> Περί τη διατομή Δ37 καθώς και σε περιορισμένου μήκους περιοχές ρηγμάτων Μέτωπο εισόδου Μέτωπο εξόδου

Πίνακας 2

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2, κρίνεται σκόπιμο η περιοχή μετώπου εισόδου να αντιμετωπισθεί ως εντασσόμενη στην αμέσως υποδεέστερη σηραγγολογική κατηγορία και επί μήκους 15m από τη θέση του μετώπου εν σχέσει με αυτή που θα προέκυπτε εάν δεν υφίσταντο συνθήκες μετώπου. Η κατάταξη αυτή, με υποβάθμιση της κατηγορίας κατά μία θέση είναι συνήθης πρακτική στις μελέτες σηράγγων, αντικατοπτρίζει δε τις δυσμενέστερες συνθήκες που ενδέχεται να δημιουργηθούν στα μέτωπα και σε μήκος της τάξεως της μιάς έως και μιάμισυ διαμέτρου εκσκαφής, λόγω της ελεύθερης επιφάνειας του μετώπου και της ατελούς λειτουργίας θόλου, με συνέπεια η υποστήριξη (προσωρινή ή μόνιμη) να φορτίζεται ισχυρότερα.

Για αντίστοιχους λόγους κρίθηκε σκόπιμο η περιοχή μεταξύ των διατομών

Δ43 και τις εξόδους της σήραγγας, όπου υφίσταται μικρή επικάλυψη της οροφής (μικρότερη του ύψους της σήραγγας ή των 8,00m) και ταυτοχρόνως κατασκευές της ΔΕΗ (μετασχηματιστές), να αντιμετωπισθεί ως εντασσόμενη στη σηραγγολογική κατηγορία II (αντί της αναμενόμενης I) ώστε να αντιμετωπισθούν οι τυχόν δυσμενείς επιπτώσεις λόγω μικρής επικάλυψης.

Τέλος, δεν οριστικοποιήθηκε η κατάταξη της βραχομάζας στην περιοχή του μετώπου εξόδου, λόγω των υφισταμένων αβεβαιοτήτων (ακριβής θέση μετώπου, μέθοδος διάνοιξης) οι οποίες δεν οφείλονται πάντως σε γεωτεχνικούς λόγους.

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Η επιλογή των γεωτεχνικών παραμέτρων για την εκτέλεση των αναγκαίων υπολογισμών (ευστάθεια εκσκαφής, καθίζηση κλπ.), κρίθηκε σκόπιμο να γίνουν εφαρμόζοντας τη βαθμονόμηση κατά GSI, λόγω αφενός της απλότητας που αυτή παρουσιάζει, αφετέρου δε λόγω της γενικότητας του εν λόγω κριτηρίου το οποίο εφαρμόζεται επιτυχώς και για υποβαθμισμένης ποιότητας βραχομάζες (RMR<25), τις οποίες άλλα συστήματα αδυνατούν να αντιμετωπίσουν.

Σύμφωνα με την κατάταξη αυτή, οι τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων που εκτιμήθηκαν με χρήση και των εξισώσεων του γενικευμένου κριτηρίου HOEK - BROWN για τις διάφορες σηραγγολογικές κατηγορίες που διαχωρίστηκαν έχουν ως ακολούθως:

Γεωτεχνικές Παράμετροι Σχεδιασμού

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ			
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	I	II	III
m_0/m_i	0,24	0,12	0,06
m_i	10	9	9
s	0,012	0,001	0
α	0,50	0,50	0,55
E_m (GPa)	17783	5623	1778
ν	0,25	0,25	0,30
σ_c (MPa)	30	20	5
ϕ'	56,9°	51,2°	34,5°
c' (MPa)	0,48	0,10	0,025
ϕ'_{res}	40°	35°	20°
$c: res$ (MPa)	0,01	0,01	0,005

Πίνακας 3

Σημειώνεται ότι η τιμή της αντοχής σε μοναξονική θλίψη προέκυψε, όπου αυτό ήταν εφικτό, με αξιολόγηση των δοκιμών που εκτελεσθηκαν σε άθικτους πυρήνες τυπικών πετρωμάτων που θα απαντηθούν στην εκσκαφή. Πάντως, καθώς υπήρχε διασπορά αποτελεσμάτων στον αυτό σχηματισμό (σε κάποιες περιπτώσεις έως μία τάξη μεγέθους περίπου, όπως συγκεκριμένα στον λατυπτοπαγή μαργαϊκό ασβεστόλιθο, όπου $0,85 < I_{s(50)} < 7,29$), κρίθηκε σκόπιμο οι τιμές σχεδιασμού να λυθούν κοντά στο κάτω όριο των τιμών των εργαστηριακών αποτελεσμάτων.

ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΕΚΣΚΑΦΗΣ - ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ

Οι εκσκαφές των σηράγγων αναμένεται να γίνουν με χρήση κρουστικής σφύρας και με συνδρομή χωματουργικών μηχανημάτων, εφόσον δε γίνει αποδεκτό το τμήμα μεταξύ των διατομών Δ37 έως Δ50 θα εκσκαφεί και με χρήση εκρηκτικών.

Η μεθοδολογία και τα τηρούμενα στάδια εκσκαφής - υποστήριξης θα είναι συνάρτηση των συνθηκών του πετρώματος, σύμφωνα με την κατάταξη σε Σηραγγολογικές Κατηγορίες.

Εν προκειμένω οδηγίες για την εκσκαφή (και την υποστήριξη) σήραγγας πεταλοειδούς ανοίγματος 10 m με χρήση εκρηκτικών και διανοιγόμενης σε βάθος μικρότερο των 900 m από την επιφάνεια έχουν εκδοθεί από τον BIENIAWSKI. Καθώς αφ' ενός η εξεταζόμενη εκσκαφή είναι της αυτής τάξης μεγέθους (ύψος: 7,60 m περίπου, άνοιγμα: 11,50 m περίπου), αφ' ετέρου δε καθώς οι Σηραγγολογικές Κατηγορίες I, II και III του έργου βρίσκονται στα άνω όρια των αντίστοιχων κατηγοριών III, IV και V κατά BIENIAWSKI (βλ. Κεφ. 1, Πίνακα 2), κρίνεται κατ' αρχήν σκόπιμο να υιοθετηθούν οι οδηγίες του υπόψη Πίνακα για την επιλογή των σταδίων εκτέλεσης της εκσκαφής.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, επελέγησαν τα ακόλουθα:

ΣΗΡΑΓΓΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ I

- Εκσκαφή σε δύο φάσεις (Α' φάση: θόλος, Β' φάση: δάπεδο).
- Ύψος Α' φάσης εκσκαφής: 5,0 ÷ 5,50 m.
- Βήμα προχώρησης εκσκαφής Α' φάσης: 3 m.
- Βήμα προχώρησης εκσκαφής Β' φάσης: απεριόριστο, σύμφωνα με τις δυνατότητες του εκσκαπτικού μηχανισμού.
- Δεν τίθεται περιορισμός τήρησης ελάχιστης απόστασης εκσκαφής Β' φάσης από το μέτωπο εκσκαφής Α' φάσης.

ΣΗΡΑΓΓΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ II

- Εκσκαφή σε δύο φάσεις (Α' φάση: θόλος, Β' φάση: δάπεδο).
- Ύψος Α' φάσης εκσκαφής: 5,0 ÷ 5,50 m.
- Βήμα προχώρησης εκσκαφής Α' φάσης: 1,50 m.
- Βήμα προχώρησης Β' φάσης: έως 6,00 m.
- Δεν τίθεται περιορισμός τήρησης ελάχιστης απόστασης εκσκαφής Β' φάσης από το μέτωπο εκσκαφής Α' φάσης.

ΣΗΡΑΓΓΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ III

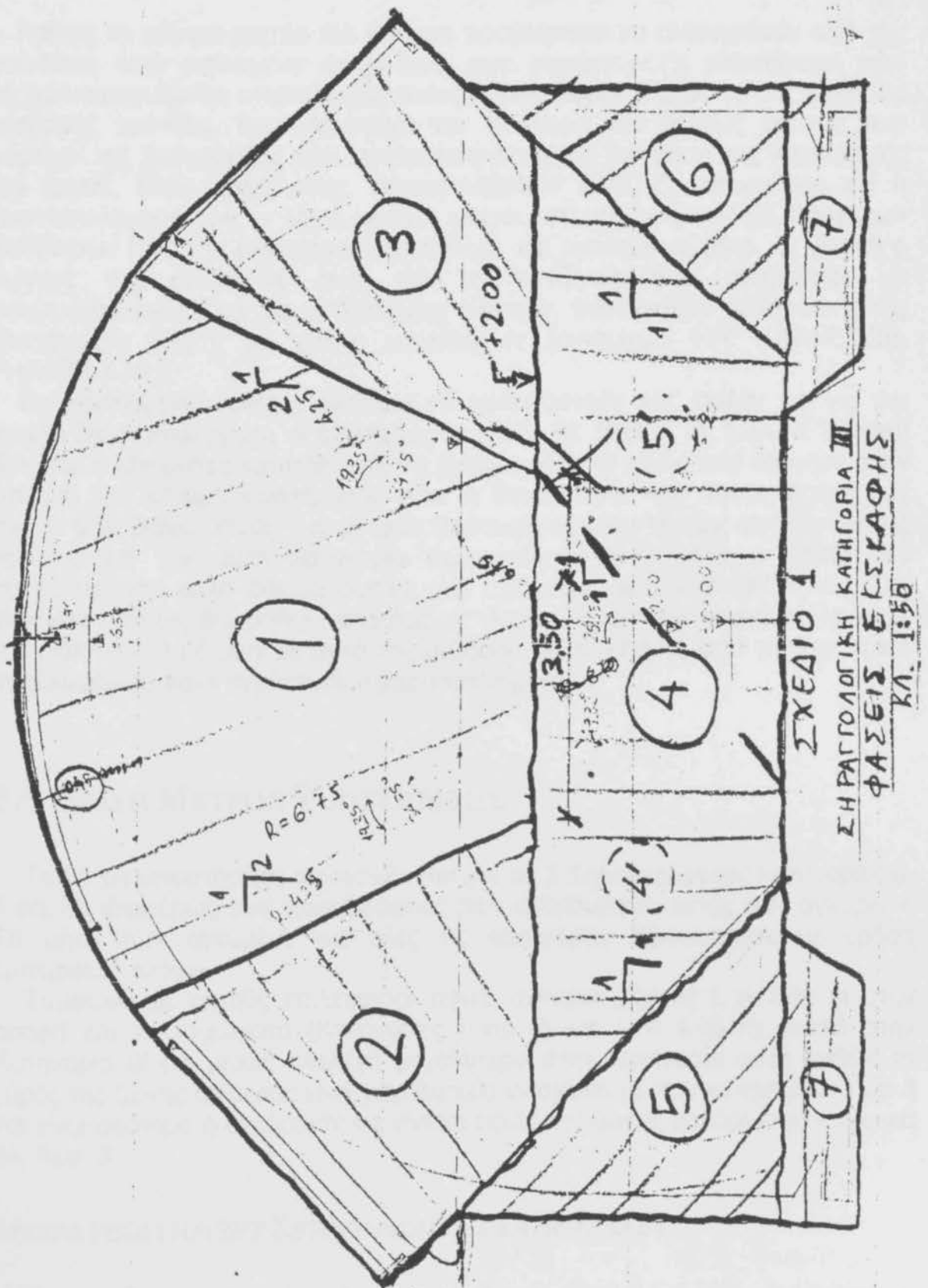
- Εκσκαφή σε 7 στάδια (Σχ 1).
- Βήμα προχώρησης εκσκαφής σταδίου 1: 1,00 έως 1,50 m.
- Βήμα προχώρησης εκσκαφής σταδίων 2 και 3: 0,75 m.
- Διαφορά προχώρησης σταδίων 1 και 2: όχι πλέον των 1,50 m (ειδικά για τα πρώτα 6,0 m στο μέτωπο εισόδου όχι πλέον των 0,75 m).
- Διαφορά προχώρησης σταδίων 2 και 3: όχι πλέον των 0,75 m. (Ταυτόχρονη εκσκαφή στα πρώτα 3,00 m εκσκαφής μετώπου).
- Βήμα προχώρησης εκσκαφής σταδίου 4: 3,0 m.

- Βήμα προχώρησης εκσκαφής σταδίων 5 και 6: 1,50 m.
- Βήμα προχώρησης εκσκαφής σταδίου 7. έως 6,00 m.
- Δεν απαιτείται τήρηση ελάχιστης απόστασης μεταξύ σταδίων 5-6 και 7.
- Η εκσκαφή του σταδίου 7 μπορεί να ενταχθεί στις εκσκαφές των σταδίων 5 και 6.

Εναλλακτικά η εκσκαφή σε κατηγορία III μπορεί να γίνει με χρήση 6 σταδίων εκσκαφής, με τήρηση πλέον ήπιας κλίσης πρανών (1:1 ή και ηπιότερη), μεταξύ των σταδίων 4 και 5, Στην περίπτωση αυτή δεν θα απαιτηθούν μέτρα προσωρινής προστασίας του πρανούς και είναι δυνατόν το στάδιο 4 να προχωρήσει χωρίς να απαιτείται η τήρηση κάποιας ελάχιστης απόστασης με το στάδιο 5.

Καθώς όμως θα απαιτηθεί η πλήρης υποστήριξη του τοιχώματος της τελικής εκσκαφής στο στάδιο 4, είναι ενδεχόμενο η θεωρητικά απρόσκοπτη εκτέλεση της εν λόγω εκσκαφής να συναντήσει εμπόδια, λόγω της ανάγκης εκτέλεσης εργασιών πίσω από το μέτωπο και του σχετικά περιορισμένου πλάτους του δαπέδου εργασίας (4 έως 5 m).

Σε κάθε περίπτωση, η επιλογή της μιας ή της άλλης μεθόδευσης θα υπαγορευθεί από τις επί τόπου συνθήκες και θα ανήκει στην αποκλειστική σφαίρα ευθύνης του Αναδόχου.



ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΜΕΤΡΩΝ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

Καθώς τα μόνιμα φορτία του βράχου προβλέπεται να αναληφθούν από την επένδυση από οπλισμένο σκυρόδεμα των σηράγγων, η τοποθέτηση των μέτρων προσωρινής υποστήριξης στους ενδεικνυόμενους, βάσει της μεθόδου εκσκαφής χρόνους, έχει ως στόχο την ανάληψη του μέρους εκείνου των φορτίων της βραχομάζας που αναπτύσσονται κατά την φάση της κατασκευής του έργου, λόγω χαλάρωσης, αποσφηνώσεων κ.λπ. Ο καθορισμός και η διαστασιολόγηση των εν λόγω μέτρων γίνεται κατ' αρχήν εμπειρικά, βάσει των διαθέσιμων από την βιβλιογραφία μεθόδων, και ακολούθως (Κεφ. 3) γίνεται ο έλεγχος της επάρκειάς τους για τις συνθήκες που αναμένεται να αντιμετωπιστούν (έλεγχος υποστήριξης σφηνών, περιορισμού χαλάρωσης της βραχομάζας κ.λπ.), με χρήση κατάλληλων λογισμικών Η/Υ (UNWEDGE, PHASES κ.λπ.).

Εν προκειμένω κρίθηκε σκόπιμο να εφαρμοστούν κατ' αρχήν και για μια πρώτη διαστασιολόγηση οι συστάσεις του NGI (N. Barton, R. Lien, J. Lunde), δηλ. του συστήματος κατάταξης-Q της βραχομάζας. Ο λόγος που οδήγησε στην επιλογή του υπόψη συστήματος είναι η δυνατότητα που αυτό παρέχει, να γίνεται δηλ. διαχωρισμός των μέτρων προσωρινής υποστήριξης από αυτών της μόνιμης για την αυτή κατηγορία βραχομάζας, δυνατότητα η οποία δεν παρέχεται από άλλα δόκιμα συστήματα κατάταξης (BIENIAWSKI κ.τ.λ.). Στη συνέχεια πάντως θεωρήθηκε σκόπιμο να γίνει σύγκριση των προκύπτόντων με την μέθοδο - Q μέτρων με αυτά της μεθόδου BIENIAWSKI, από την οποία και προέκυψαν τα κατά περίπτωση εφαρμοστέα μέτρα.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

Τα μέτρα υποστήριξης υπολογίζονται για τις 3 Σηραγγολογικές κατηγορίες (I, II και III) ιδιαίτερα στις παραγράφους που ακολουθούν, εκτός των αγκυρίων. Τα μήκη των αγκυρίων για όλες τις κατηγορίες προκύπτουν με χρήση εμπειρικών τύπων.

Σύμφωνα με αυτούς επιλέγονται τελικά αγκύρια μήκους $L = 3,00$ m στην οροφή και τα τοιχώματα (Κατηγορίες I και II) και $L = 4,00$ m γενικά στην Κατηγορία III (το μήκος επελέγη μεγαλύτερο στην κατηγορία αυτή καθώς το εύρος της ζώνης αστοχίας είναι μεγαλύτερο εν σχέσει με των κατηγοριών I και II και είναι σκόπιμο η αγκύρωση να γίνεται εκτός της ζώνης χαλάρωσης - σχετικά βλ. Κεφ. 3.

ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΟΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ I

Για τη Σηραγγολογική κατηγορία I βάσει των τιμών των συντελεστών προκειμένου να γίνει χρήση των σχετικών πινάκων και διαγραμμάτων και με χρήση αυτών προκύπτει ότι δεν απαιτούνται μέτρα προσωρινής υποστήριξης για την οροφή ή τα τοιχώματα.

ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΟΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ II

Βάσει των συντελεστών, με χρήση και πάλι του αντίστοιχου πίνακα προκύπτει ότι τα μέτρα υποστήριξης εντάσσονται στην κατηγορία 13 για την οροφή ενώ για τα τοιχώματα δεν απαιτείται υποστήριξη.

Για την κατηγορία 13, βάσει των πινάκων του NGI, προβλέπεται μόνο συστηματική αγκύρωση με παθητικά αγκύρια, σε κάρναβο 1,50 έως 2,00 m.

ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΟΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ III

1) Τελική εκσκαφή ανοίγματος 12,00 m.

Τα μέτρα εντάσσονται στην κατηγορία 31 (οροφή) και 30 (τοιχώματα). Για την κατηγορία 31 (οροφή) οι πίνακες προτείνουν, με RQD δεδομένο ότι δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι το πέτρωμα είναι διογκώσιμο:

- Επένδυση από άοπλο σκυρόδεμα πάχους 20 έως 40 cm
- Τανυόμενα αγκύρια σε κάρναβο $1,0 \times 1,0$.

Για την κατηγορία 30 (τοιχώματα), οι πίνακες προτείνουν μόνον την χρήση εκτοξ. σκυροδέματος πάχους 5 έως 7,5 cm με ενσωματωμένο δομικό πλέγμα.

2) Στάδιο 1 εκσκαφής Α' φάσης (B = 6,00 m, H = 4,50 m)

Το στάδιο αυτό αποτελεί τμήμα της εκσκαφής της Α' φάσης και προβλέπεται να εφαρμοστεί σε βραχομάζα κατηγορίας III και μόνον, θα πρέπει δε να υποστηριχθεί κατάλληλα καθώς δεν θα είναι δυνατή, εφόσον δεν θα έχουν ακόμη εκτελεστεί οι εκσκαφές των σταδίων 2 και 3, η υποστήριξή του με τα προβλεπόμενα για την οροφή της πλήρους εκσκαφής μέτρα (πλαίσια κ.λπ.).

Από υπολογισμούς προκύπτει ότι τόσο η οροφή, όσο και τα τοιχώματα εντάσσονται στην κατηγορία υποστήριξης 29, η οποία προβλέπει εφαρμογή των ακόλουθων μέτρων:

- Εκτοξευόμενου σκυροδέματος, οπλισμένου με δομικό πλέγμα πάχους 5 cm
- Αγκύρια, μη τανυόμενα, σε κάρναβο $1,0 \times 1,0$.

Στη Σηραγγολογική κατηγορία III προβλέπεται ότι είναι ενδεχόμενο να απαιτηθεί εφαρμογή της μεθόδου foamrolling. (Η μέθοδος αυτή θα υλοποιηθεί υποχρεωτικά εξάλλου στη θέση του Μετώπου εισόδου). Προβλέπεται γενικά η τοποθέτηση μεταλλικών σωλήνων $\varnothing 2,5''$ εντός οπών διαμέτρου $4''$ ανά 0,30 m, σε απόσταση 0,10 m από το περίγραμμα της εκσκαφής με κλίση $2-3^\circ$ προς τα άνω περιμετρικά της οροφής (Α' φάση εκσκαφής). Οι σωλήνες θα έχουν μήκος 9 m, εφόσον δε απαιτηθεί τοποθέτηση και άλλης σειράς, θα υπάρξει επικάλυψη 2 m τουλάχιστον σειράς από σειρά. Όλες οι οπές θα τσιμεντωθούν πλήρως μετά την τοποθέτηση των σωλήνων με ένεμα αναλογίας W/C: $0,45 = 1$ ή πυκνότερο, με χρήση πλαστικοποιητικού προσμίκτη, αν απαιτείται.

Ιδιαίτερα σημειώνεται ότι για την σηραγγολογική κατηγορία III θεωρείται αναπόφευκτο ότι θα απαιτηθεί η προσωρινή υποστήριξη του μετώπου και των τοιχωμάτων της εκσκαφής του Σταδίου 1 της Α' φάσης εκσκαφής λόγω της αναμενόμενης χαλαρότητας του σχηματισμού. Η υποστήριξη αυτή εκτιμάται ότι μπορεί να αντιμετωπιστεί προσωρινά με την χρήση εκτοξ. σκυροδέματος πάχους 6 - 7 cm στα τοιχώματα και 3 - 4 cm στο μέτωπο. Εναλλακτικά, το μέτωπο μπορεί να εκσκάπτεται με κάποια κλίση (2:1 ή 3:1) προς το ήδη διανοιγέν τμήμα της σήραγγας, ώστε να βελτιώνεται η υστάθειά του.

Στην περιοχή του μετώπου εισόδου και για τα πρώτα 15 m περίπου της διάνοιξης, η αντιμετώπιση της προστασίας θα γίνει με τα μέτρα προστασίας της Σηραγγολογικής κατηγορίας III. Σε περίπτωση πάντως υλοποίησης του μικρού

αναβαθμού (EΙ + 13,00 ÷ + 14,00) και λόγω μικρής σχετικά επικάλυψης, αλλά και της ικανοποιητικής κατάστασης της βραχομάζας στην οροφή καθώς και της εφαρμογής της μεθόδου forepoling σε πυκνές αποστάσεις (οπές ανά 0,30 m), κρίνεται αποδεκτή η μείωση του μήκους των αγκυριών σε 3,0 m (αντί των 4,0 που προβλέπονται για κατηγορία III) και η αραίωση των διαστάσεων του καννάβου σε 1,50 × 1,00 (αντί του γενικά εφαρμοζόμενου 1,0 × 1,0 σε κατηγορία III) για την εν λόγω περιοχή.

Τέλος, σημειώνεται ότι τα μέτρα υποστήριξης που προβλέπονται για την υποστήριξη της Β' φάσης εκσκαφής στη Σηραγγολογική Κατηγορία III αποτελούν προσέγγιση με βάση τις μέσες εκτιμώμενες συνθήκες και ενδέχεται να τροποποιηθούν ανάλογα με τις επί τόπου συνθήκες, οι οποίες θα αποκαλυφθούν με την ολοκλήρωση των εκσκαφών της Α' φάσης.

ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΤΡΩΝ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

Συγκρίνονται τα μέτρα υποστήριξης που προσδιορίζονται με τις δύο μεθόδους, διαπιστώνεται ότι υφίσταται μία σχετικά καλή προσέγγιση, εφόσον το πέτρωμα κατά BIENIAWSKI, το οποίο όπως προαναφέρθηκε εντάσσεται οριακά μεταξύ δύο κατηγοριών, ενταχθεί στην καλύτερη από τις κατηγορίες αυτές, παραδοχή η οποία μπορεί να αιτιολογηθεί λόγω της ανάγκης εφαρμογής στην φάση αυτή μόνον των μέτρων προσωρινής υποστήριξης.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, συντάχθηκε για τις 3 Σηραγγολογικές κατηγορίες του έργου ο Πίνακας 4, στον οποίο παρατίθενται αφ' ενός τα ενδεικνυόμενα μέτρα υποστήριξης ανά κατηγορία με τα δύο συστήματα κατάταξης και σε επόμενη στήλη αναφέρονται τα τελικώς επιλεγόμενα.

Η επιλογή των μέτρων στην περίπτωση που υφίστανται κάποιες διαφορές μεταξύ των δύο μεθόδων έγινε συνήθως με αποδοχή της συντηρητικότερης θεώρησης, συνεκτιμώντας πάντοτε και τις κατασκευαστικές δυνατότητες του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί.

ΧΡΟΝΟΙ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

Οι χρόνοι ολοκλήρωσης της τοποθέτησης των μέτρων υποστήριξης σε συνάρτηση με την προχώρηση της σήραγγας φαίνονται στον Πίνακα 5. Για τη σύνταξη του υπόψη πίνακα λήφθηκαν υπόψη οι εκτιμήσεις του διαγράμματος ευστάθειας κατά BIENIAWSKI (1979), όπως αυτό συμπληρώθηκε από τον LAUFFER (1988).

Με χρήση του υπόψη διαγράμματος προκύπτει ότι για τις κατηγορίες RMR 20, 41 και 61 (Σηραγγολογικές Κατηγορίες I, II και III) και για άνοιγμα εκσκαφής της τάξης των 11.50m απαιτείται άμεση υποστήριξη για τις κατηγορίες II και III, καθώς στην αντίθετη περίπτωση εντάσσονται στην περιοχή «άμεση κατάρρευση» του διαγράμματος. Για την κατηγορία I υφίσταται κατ' αρχήν επαρκής χρόνος αυτουποστήριξης (της τάξης των 700 ωρών ή περίπου ενός μηνός), κρίθηκε όμως σκόπιμο και εκεί να τεθούν χρονικοί περιορισμοί, λόγω πιθανής εκδήλωσης τοπικής έκτασης ασταθειών (καταπτώσεις σφηνών κ.λπ.), με στόχο την καλύτερη προστασία των εργαζομένων στην σήραγγα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4

Καθορισμός μέτρων προσωρινής υποστήριξης

ΣΗΡΑΓΓΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΣΥΣΤΗΜΑ Q		ΣΥΣΤΗΜΑ RMR		ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΛΟΓΗ	
	ΟΡΟΦΗ	ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	ΟΡΟΦΗ	ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	ΟΡΟΦΗ	ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ
I	---	---	Τοπικά αγκύρια, μήκους 3,00 m σε αποστάσεις 2,50 m. Κατά περίπτωση χρήση μεταλλικού πλέγματος εκτοξ. σκυρόδεμα 50 mm στο θόλο, εφόσον απαιτείται	---	Αγκύρια Παθητικά μήκους 3,0 m σε κάρναβο 1,50x1,50. Μία στρώση εκτοξ. Σκυροδέματος ελαχίστου πάχους 50 mm	Σποραδικά αγκύρια μήκους 3,0m Μία στρώση εκτοξ. Σκυροδέματος ελαχίστου πάχους 50 mm
II	Παθητικά αγκύρια σε κάρναβο 1,50 έως 2,00 m	---	Αγκύρια σε αποστάσεις 1,50 έως 2,00 m μήκους 4,0 m. Χρήση μεταλλικού πλέγματος. Εκτοξ. σκυρόδεμα πάχους 50 έως 100 mm	Εκτοξ. σκυρόδεμα πάχους 30 mm	Αγκύρια μήκους 3,0 m παθητικά σε κάρναβο 1,50x1,50 m. Α' στρώση εκτοξ. Σκυροδέματος ελαχίστου πάχους 50 mm. Β' στρώση εκτοξ. σκυροδέματος πάχους 70 mm με τοποθέτηση μεταλ. πλέγματος. T-131	Μία στρώση εκτοξ. σκυροδέματος πάχους 70 mm με μεταλ. πλέγμα T-131. Αγκύρια παθητικά μήκους 3,00 m σε κάρναβο 2,0x1,50.
III	Επένδυση από άοπλο σκυρόδεμα πάχους 300 mm. Αγκύρια τανυόμενα μήκους 4,00 m	Εκτοξ. σκυρόδεμα πάχους 50 έως 75 mm	Αγκύρια μήκους 4-5 m σε αποστάσεις 1,00 έως 1,50 m. Χρήση μεταλλικού πλέγματος. Εκτοξ. σκυρόδεμα 100 έως 150 mm	Αγκύρια μήκους 4,0 έως 5,0 m σε αποστάσεις 1,00 έως 1,50 m. Χρήση μεταλλικού πλέγματος. Εκτοξ. Σκυρόδεμα 100 mm	Αγκύρια παθητικά μήκους 4,0 m σε κάρναβο 1,0x1,0. (Ειδικά στην περιοχή εισόδου αγκύρια μήκους 3,0 m σε κάρναβο 1,0 x 1,50). Εφαρμογή μεθόδου forgeroling με χρήση μεταλλικών σωλήνων μήκους 9,00 m ανά 0,30 m στο μέτωπο και όπου αλλού κριθεί σκόπιμο. Α' στρώση εκτοξ. σκυροδέματος ελαχίστου πάχους 50 mm. Β' στρώση εκτοξ. Σκυροδέματος πάχους 60 mm. Μεταλλικά πλαίσια IPB - 120 ανά 75 cm. Γ' στρώση εκτοξ. σκυροδέματος πάχους 60 mm. Δ' στρώση εκτοξ. σκυροδέματος πάχους 70 mm.	Αγκύρια παθητικά μήκους 4,0 m σε κάρναβο 1,50x1,50. Τρεις στρώσεις εκτοξ. σκυροδέματος, ως εξής: Α' στρώση πάχους 50 mm, αμέσως μετά την εκσκαφή). Β' στρώση πάχους 100 mm με ενσωματωμένο μεταλλικό πλέγμα T-196 μετά την τοποθέτηση των αγκυριών. Γ' στρώση εκτοξ. σκυροδέματος πάχους 100 mm με ενσωματωμένο μεταλ. πλέγμα T-196. Αγκυρώσεις μήκους 7,00 m φορτίου λειτουργίας P=25 tn, μήκους πάλκτωσης l=5,00 m σε κάρναβο 1,50x1,50 (δύο σειρές) πεσοειδώς μεταξύ των αγκυριών.

ΣΗΡΑΓΓΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΟΡΟΦΗ		ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	
	Εκτοξ. Σκυρόδεμα	Αγκύρια - Μεταλ. Πλαίσια	Εκτοξ. Σκυρόδεμα	Αγκύρια
I	Σε κάθε προχώρηση, αμέσως μετά την απομάκρυνση των προϊόντων της εκσκαφής	Τοποθέτηση αγκυρίων πριν το μέτωπο εκσκαφής προχωρήσει πέραν των 12 m ή το αργότερον εντός 72 ωρών από την εκσκαφή της υπόψη περιοχής	Μόνον εάν απαιτείται παράλληλα με την εκσκαφή	Μόνον εάν απαιτείται, παράλληλα με την εκσκαφή
II	A' στρώση εκτοξ. σκυροδέματος σε κάθε προχώρηση, αμέσως μετά την απομάκρυνση των προϊόντων εκσκαφής. Β' στρώση (με πλέγμα) πριν το μέτωπο εκσκαφής προχωρήσει σε απόσταση μεγαλύτερη των 6 m	Τοποθέτηση αγκυρίων αμέσως μετά την α' στρώση εκτοξ. σκυροδέματος και πριν την επόμενη προχώρηση	Παράλληλα με την εκσκαφή και πριν την επόμενη προχώρηση	Πριν το μέτωπο εκσκαφής προχωρήσει πέραν των 6,00 m από την θέση εκσκαφής
III	<u>Εκσκαφή Α' φάσης σε στάδια</u> Α' και Β' στρώσεις εκτοξ. σκυροδέματος (με πλέγμα) αμέσως μετά την εκσκαφή και πριν την επόμενη προχώρηση. Γ' και Δ' στρώσεις εκτοξ. Σκυροδέματος μετά την τοποθέτηση των πλαισίων και πριν η εκσκαφή προχωρήσει πέραν των 6,0 m	<u>Εκσκαφή Α' φάσης σε στάδια</u> Τοποθέτηση αγκυρίων βράχου μετά την β' στρώση εκτοξ. σκυροδέματος. Τοποθέτηση μεταλλικών πλαισίων μετά την ολοκλήρωση της εκσκαφής της διατομής της Α' φάσης και πριν την επόμενη προχώρηση.	Α' και Β' στρώση παράλληλα με την εκσκαφή. Γ' και Δ' στρώση (με πλέγμα) μετά την τοποθέτηση των αγκυρίων και πριν την επόμενη προχώρηση	Παράλληλα με την εκσκαφή και πριν την επόμενη προχώρηση

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΧΡΟΝΟΙ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ ΜΕΤΡΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

ΓΕΝΙΚΑ

Η βασική αρχή που διέπει τη μελέτη για τον καθορισμό των μέτρων υποστήριξης των σηράγγων είναι ότι αυτά υποβοηθούν τη βραχομάζα που περιβάλλει το υπόγειο άνοιγμα να "αυτοϋποστηριχθεί". Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται., κατά κανόνα, ασφαλέστερη και οικονομικότερη διάνοιξη σηράγγων.

Τα μέτρα υποστήριξης που θα χρησιμοποιηθούν και ο χρονικός προγραμματισμός της εφαρμογής τους, μπορούν να επιλεγούν κατά τέτοιο τρόπο, ώστε οι μετακινήσεις των τοιχωμάτων (οροφής, παρειών και δαπέδου) να περιορίζονται μέσα σε σαφώς καθορισμένα και ασφαλή όρια, λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση μεταξύ των χαρακτηριστικών καμπυλών φορτίου-παραμόρφωσης της βραχομάζας και των μέτρων υποστήριξης.

Η επιλογή των μέτρων υποστήριξης και ο χρονικός προγραμματισμός της εφαρμογής τους είναι συνάρτηση:

- των τεχνικών χαρακτηριστικών της βραχομάζας μέσα στην οποία θα πραγματοποιηθεί η διάνοιξη,
- των τεχνικών χαρακτηριστικών των μέτρων υποστήριξης,
- της γεωμετρίας του υπόγειου ανοίγματος,
- της μεθόδου διάνοιξης,
- των ειδικών απαιτήσεων του έργου.

ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Τα μέτρα υποστήριξης της βραχομάζας εξασφαλίζουν συνθήκες ευστάθειας των τοιχωμάτων της σήραγγας, με ικανοποιητικό βαθμό ασφάλειας, κατά τη διάρκεια κατασκευής του έργου όσο και κατά τη λειτουργία του. Επομένως τα μέτρα υποστήριξης της εκσκαφής θεωρούνται ως "προσωρινά".

Τα μέτρα υποστήριξης παραλαμβάνουν όλα τα φορτία τα οποία εκτιμάται ότι θα αναπτυχθούν στο διάστημα κατά το οποίο η σήραγγα θα παραμείνει ανεπένδυτη. Μόλις κατασκευασθεί η επένδυση αυτή θα έχει τη δυνατότητα να παραλάβει το σύνολο των φορτίων τα οποία θα αναπτυχθούν λόγω ερπυσμού, χαλάρωσης της βραχομάζας κλπ.

Λόγω του μικρού βάθους επικάλυψης των σηράγγων, ο λόγος των κατακόρυφων προς τις οριζόντιες τάσεις στην περιοχή διέλευσης των σηράγγων, λαμβάνεται ίσος με μονάδα.

Οι τάσεις και οι παραμορφώσεις που αναπτύσσονται στη βραχομάζα λόγω της εκσκαφής της σήραγγας είναι ευθέως ανάλογες με την επικάλυψη. Στην παρούσα μελέτη, η κατακόρυφη τάση (σ_v) που θεωρείται ότι είναι και η μέγιστη κύρια τάση (c_1) δίνεται από τη σχέση $\sigma_1 = \gamma \times h$, όπου γ το φαινόμενο βάρος και h η κατακόρυφη απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους.

Υπενθυμίζεται ότι το φαινόμενο βάρος της βραχομάζας έχει ληφθεί σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της ΓΓΕΜ ίσο με $2,60\text{t/m}^3$.

ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ ΜΟΝΙΜΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΓΕΝΙΚΑ

Καθώς δεν μπορεί να διασφαλισθεί με επαρκές περιθώριο εμπιστοσύνης η επάρκεια των προσωρινών μέτρων υποστήριξης για την εξασφάλιση της μακροχρόνιας ευστάθειας της σήραγγας (λόγω ενδεχόμενης διάβρωσης των αγκυριών, καταπονήσεων ή ανεπαρκούς πρόσφυσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος κλπ.), κυρίως όμως λόγω της μακροχρόνιας ερπυστικής συμπεριφοράς της βραχομάζας, κρίνεται σκόπιμο να ζητηθεί η ανάληψη φορτίων του βράχου από τη μόνιμη επένδυση.

Για την εκτίμηση του μεγέθους των εν λόγω φορτίων κατ' αρχήν έγινε χρήση των εμπειρικών μεθόδων BIENIAWSKI & BARTON. Ο λόγος που οδήγησε στις επιλογές αυτές ήταν ότι το γεγονός ότι οι αναλυτικές μέθοδοι δεν είναι σε θέση να προσομοιώσουν αξιόπιστα την πολύπλοκη διαδικασία ανακατανομής των τάσεων και των παραμορφώσεων που προκύπτει από τις διαδοχικές φάσεις εκσκαφής και υποστήριξης, με την επιπλέον περιπλοκή της επιρροής του χρονικού παράγοντα.

Στη συνέχεια έγινε εκτίμηση των αναπτυσσόμενων φορτίων που προκύπτουν με χρήση του Προγράμματος PHASES ως ακολούθως:

- ♦ με θεώρηση του εύρους της ζώνης αστοχίας (συντ. ασφαλείας < 1), με ανάλυση του πεδίου των τάσεων που δημιουργούνται από τη διάνοιξη δύο σηράγγων σε ελαστικό μέσο, χωρίς ειραρμογή μέτρων υποστήριξης. Η έκταση της εν λόγω ζώνης ανά κατηγορία βραχομάζας αποτελεί σαφή ένδειξη της μέγιστης επέκτασης της ζώνης χαλάρωσης στη βραχομάζα γύρω από τη σήραγγα και κατά συνέπεια του μεγέθους των φορτίων που θα κληθεί να αναλάβει η τελική επένδυση.
- ♦ επί του συστήματος προσωρινής υποστήριξης.

Το τελικό προτεινόμενο φάσμα φορτίων (οροφής-πλευρικών) για τον υπολογισμό της μόνιμης επένδυσης προέκυψε μετά συνεκτίμηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν με χρήση των τριών διαφορετικών μεθόδων που προαναφέρθηκαν.

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΑ ΜΟΝΙΜΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των παραπάνω τριών μεθόδων προσέγγισης του προβλήματος προκύπτει ότι υφίστανται σημαντικές διαφορές μεταξύ των φορτίων που προκύπτουν από τις τέσσερις θεωρήσεις που προαναφέρθηκαν. Η διαφορά έγκειται κυρίως στο μέγεθος των αναπτυσσόμενων φορτίων για τις καλύτερες κατηγορίες βραχομάζας (I και II) οι οποίες προκύπτουν κατά πολύ μεγαλύτερες με την θεώρηση BIENIAWSKI.

Συντεκτιμώντας τα παραπάνω προτείνονται η εξέταση των ακόλουθων φασμάτων διακύμανσης των φορτίων υπολογισμού της μόνιμης επένδυσης :

α) Οροφή

- Για σηραγγολογική κατηγορία I : $20 \leq p_v \leq 80 \text{ kPa}$

- Για σηραγγολογική κατηγορία II: $80 \leq p_v \leq 150 \text{ kPa}$
- Για σηραγγολογική κατηγορία III: $200 \leq p_v \leq 350 \text{ kPa}$

β) *Τοιχώματα*

- Για σηραγγολογική κατηγορία I: $0 \leq P_h \leq 25 \text{ kPa}$
- Για σηραγγολογική κατηγορία II: $25 \leq P_h \leq 50 \text{ kPa}$
- Για σηραγγολογική κατηγορία III: $100 \leq P_h \leq 350 \text{ kPa}$

Σημειώνεται ότι τα μέγιστα φορτία αντιστοιχούν σε ύψος επιφόρτισης στην οροφή:

- ♦ 3,85m για την κατηγορία I
- ♦ 5,77m για την κατηγορία II
- ♦ 7,69m για την κατηγορία III

Γενικά παρατηρείται ότι με την εξαίρεση τμήματος μικρού μήκους στα μέτωπα, η επικάλυψη της οροφής της σήραγγας είναι μεγαλύτερη του μέγιστου ύψους επιφόρτισης (7,69m) και αυτό για την πλέον υποβαθμισμένη κατηγορία βραχομάζας, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι μόνο για τις περιοχές αυτές έχει νόημα να ληφθεί κάπως χαμηλότερο φορτίο υπολογισμού της επένδυσης, ίσο με αυτό της επικάλυψης οροφής.

Για το στατικό έλεγχο της επένδυσης θα απαιτηθεί να εξετασθούν οι ακραίοι συνδυασμοί οριζοντίων προς κατακόρυφες πιέσεις για κάθε σηραγγολογική κατηγορία.

Σημειώνεται ότι οι σχετικά υψηλές τιμές οριζοντίων φορτίων (κυρίως στη κατηγορία III) προέκυψαν καθώς ελήφθησαν υπόψη και οι εκτιμήσεις της ΓΓΕΜ. Σύμφωνα με αυτές και κυρίως μεταξύ των διατομών Δ29 και Δ37 είναι πιθανή η συνάντηση στο κάτω κυρίως τμήμα της διατομής (παρειές), της χαλαρής ζώνης των κροκαλοπαγών. Ως εκ τούτου, και λόγω της ισχυρής ανισοτροπίας, συνεπεία της οριζόντιας διαστρωμάτωσης των σχηματισμών, αναμένεται η ανάπτυξη των υπόψη ισχυρών πλευρικών πιέσεων.

Τέλος καθώς το σύνολο της σήραγγας αναμένεται ότι ευρίσκεται υπεράνω του υδροφόρου ορίζοντα, τυχόν μικροί επικρεμάμενοι ή προσωρινοί ορίζοντες που σχηματίζονται κατά τις περιόδους εντόνων βροχοπτώσεων αναμένεται ότι θα αντιμετωπισθούν ικανοποιητικά από το σύστημα αποστράγγισης των σηράγγων, χωρίς να φορτίζεται επιπλέον η επένδυση με φορτία νερού.

ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ - ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ΓΕΝΙΚΑ

Για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς της βραχομάζας κατά τη διάνοιξη των σηράγγων προβλέπεται να τοποθετηθούν όργανα μετρήσεων των παραμορφώσεων. Κάθε μεμονωμένο αποτέλεσμα μετρήσεων θα πρέπει να συσχετίζεται με τα άλλα αποτελέσματα μετρήσεων για τη γενική εκτίμηση της ευστάθειας της περιβάλλουσας βραχομάζας, καθώς και με τις γεωλογικές συνθήκες και το ρυθμό διάνοιξης της σήραγγας. Λόγω επίσης της μικρής

επικάλυψης της οροφής της σήραγγας (μικρότερης των 20,0 m) απαιτείται σύστημα ελέγχου των επιφανειακών μετακινήσεων.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Η συμπεριφορά της βραχομάζας κατά τη φάση διάνοιξης των σηράγγων επηρεάζεται από τη γεωλογική και τεκτονική της δομή, τις σύνθετες μηχανικές ιδιότητές της, τις αρχικές της τάσεις, τις ιδιότητες των μέτρων υποστήριξης, τη μέθοδο εκσκαφής κ.λπ. Στόχος είναι η βελτιστοποίηση των συστημάτων υποστήριξης ανάλογα με τις συνθήκες που απαντώνται. Θεωρείται βασικής σημασίας η λήψη και αξιολόγηση των μετρήσεων για την ασφάλεια της κατασκευής και το σχεδιασμό των μέτρων υποστήριξης.

Για τη σωστή αξιολόγηση των μετρήσεων είναι απαραίτητα ακριβή γεωλογικά στοιχεία, με γεωλογική χαρτογράφηση των μετώπων εκσκαφής, του θόλου και των τοιχωμάτων της σήραγγας με παρατηρήσεις για τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας. Έτσι θα είναι δυνατόν να επιβεβαιώνεται η αποτελεσματικότητα των μέτρων προστασίας και υποστήριξης.

Για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς της βραχομάζας απαιτούνται μετρήσεις σύγκλισης των τοιχωμάτων και του θόλου της σήραγγας ώστε να εκτιμηθεί η ευστάθειά τους και να ελέγχεται η επάρκεια των μέτρων υποστήριξης. Η μέτρηση της σύγκλισης των τοιχωμάτων επιτυγχάνεται με μέτρηση της απόστασης μεταξύ των κεφαλών κατάλληλα διαμορφωμένων αγκυρίων, πακτωμένων στα τοιχώματα της σήραγγας και εγκατεστημένων σε δακτυλίους των τριών αγκυρίων ο καθένας. Από τα τρία αγκύρια το ένα θα στερεώνεται στην κλείδα και τα άλλα δύο στις παρειές. Τα αγκύρια μέτρησης σύγκλισης πρέπει να τοποθετούνται το ταχύτερο δυνατόν μετά την εκσκαφή και όσο γίνεται πλησιέστερα στο μέτωπο και σε ασφαλή θέση.

Η ακρίβεια του συστήματος μέτρησης μπορεί να φθάνει το 1 mm. Για τη σωστή λήψη μετρήσεων είναι απαραίτητη η τοποθέτηση των δακτυλίων με τα αγκύρια σε απόσταση όχι μεγαλύτερη από 5 m από το μέτωπο της εκσκαφής.

Η πυκνότητα των δακτυλίων παρακολούθησης θα έχει ως ακολούθως:

- Ανά 30,0 m σε Σηραγγολογική κατηγορία I
- Ανά 15,0 m σε Σηραγγολογική κατηγορία II
- Ανά 5,0 m σε Σηραγγολογική κατηγορία III

Η συχνότητα λήψης μετρήσεων θα είναι μία φορά την ημέρα για την πρώτη εβδομάδα από την τοποθέτηση των δακτυλίων, στις σηραγγολογικές κατηγορίες I και II, και μία φορά την εβδομάδα εφεξής, εφόσον όμως έχει παρατηρηθεί σταθεροποίηση αυτών κατά την πρώτη εβδομάδα και με την προϋπόθεση ότι το μέτωπο εκσκαφής έχει απομακρυνθεί κατά 20 m τουλάχιστον από τη θέση μέτρησης. Σε αντίθετη περίπτωση, οι μετρήσεις θα συνεχίζονται σε ημερήσια βάση και έως σταθεροποίησης αυτών. Σταθεροποίηση θα θεωρείται ότι επιτυγχάνεται όταν ο ρυθμός μετακινήσεων στην δυσμενέστερη θέση μέτρησης είναι μικρότερος των 2 mm/εβδομάδα.

Ειδικά για την σηραγγολογική κατηγορία III, θα απαιτηθεί ημερήσια λήψη μετρήσεων για χρονικό διάστημα 15 ημερών από την τοποθέτηση των δακτυλίων και έως ότου το μέτωπο εκσκαφής απομακρυνθεί κατά 30,0 m τουλάχιστον από την θέση μέτρησης. Κατά τα λοιπά θα ισχύουν τα προαναφερθέντα για τις κατηγορίες I και II.

Εναλλακτικά, ο Ανάδοχος μπορεί να προτείνει σύστημα τηλεπισκόπησης, με χρήση ψηφιακών οργάνων μέτρησης για τον έλεγχο επιλεγμένων σημείων κάθε διατομής. Ως προς την συχνότητα λήψης στοιχείων και τα μεγέθη των παραμορφώσεων, θα ισχύουν τα αναφερθέντα στις προηγούμενες παραγράφους.

Για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς του Φυσικού εδάφους στην περιοχή διέλευσης των σηράγγων, θα απαιτηθεί έλεγχος των κατακορύφων μετακινήσεων (καθιζήσεων). Ο έλεγχος θα γίνεται με την τοπογραφική παρακολούθηση σημείων ελέγχου τοπογραφικών μετακινήσεων (βάθρων), τα οποία θα τοποθετηθούν επί του φυσικού εδάφους, επί διατομών κατά μήκος των δύο αξόνων των σηράγγων. Οι αποστάσεις των διατομών κάθε άξονα θα είναι 20,0 m (Διατομές Δ 29 έως Δ 37) και 10,0 m (Διατομές Δ 37 έως Δ50). Στην περιοχή των διατομών Δ37 έως Δ50 θα τοποθετηθούν ανά 20,0 M και δύο ακόμη σημεία ελέγχου, επί της αυτής διατομής, κάθετα με τον άξονα των σηράγγων και 10 m ένθεν και εκείθεν των σημείων ελέγχου των αξόνων των σηράγγων, ώστε σε κάθε διατομή (ανά 20,00 m) να βρίσκονται 4 σημεία ελέγχου.

Μετρήσεις θα λαμβάνονται σε κάθε διατομή σε ημερήσια βάση μόλις το μέτωπο διάνοιξης μίας εκ των σηράγγων προσεγγίσει σε απόσταση 20,0 m την θέση μέτρησης και θα συνεχίζονται στην αυτή συχνότητα έως ότου η εκσκαφή προσπεράσει κατά 30 m τη διατομή. Εφεξής, και εφόσον οι καθιζήσεις σταθεροποιούνται (δηλ. εφόσον ο ρυθμός καθίζησης γίνει μικρότερος των 2 mm/εβδομάδα), οι μετρήσεις θα γίνονται στην διατομή αυτή σε εβδομαδιαία βάση και έως πέρατος της διάνοιξης.

Είναι προφανές ότι οι παραπάνω έλεγχοι θα συμπληρώνονται με καθημερινούς οπτικούς ελέγχους (ρηγματώσεων της επένδυσης, του εδάφους καθώς και προϋπαρχουσών κατασκευών, καθιζήσεων κ.λ.π.).

Γ. ΜΕΛΕΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΜΕΤΣΟΒΟΥ

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Αντικείμενο του έργου είναι η πλήρης κατασκευή του τμήματος 3.2 της Εγνατίας οδού. Το τμήμα βρίσκεται στο Νομό Ιωαννίνων στην περιοχή Μετσόβου.

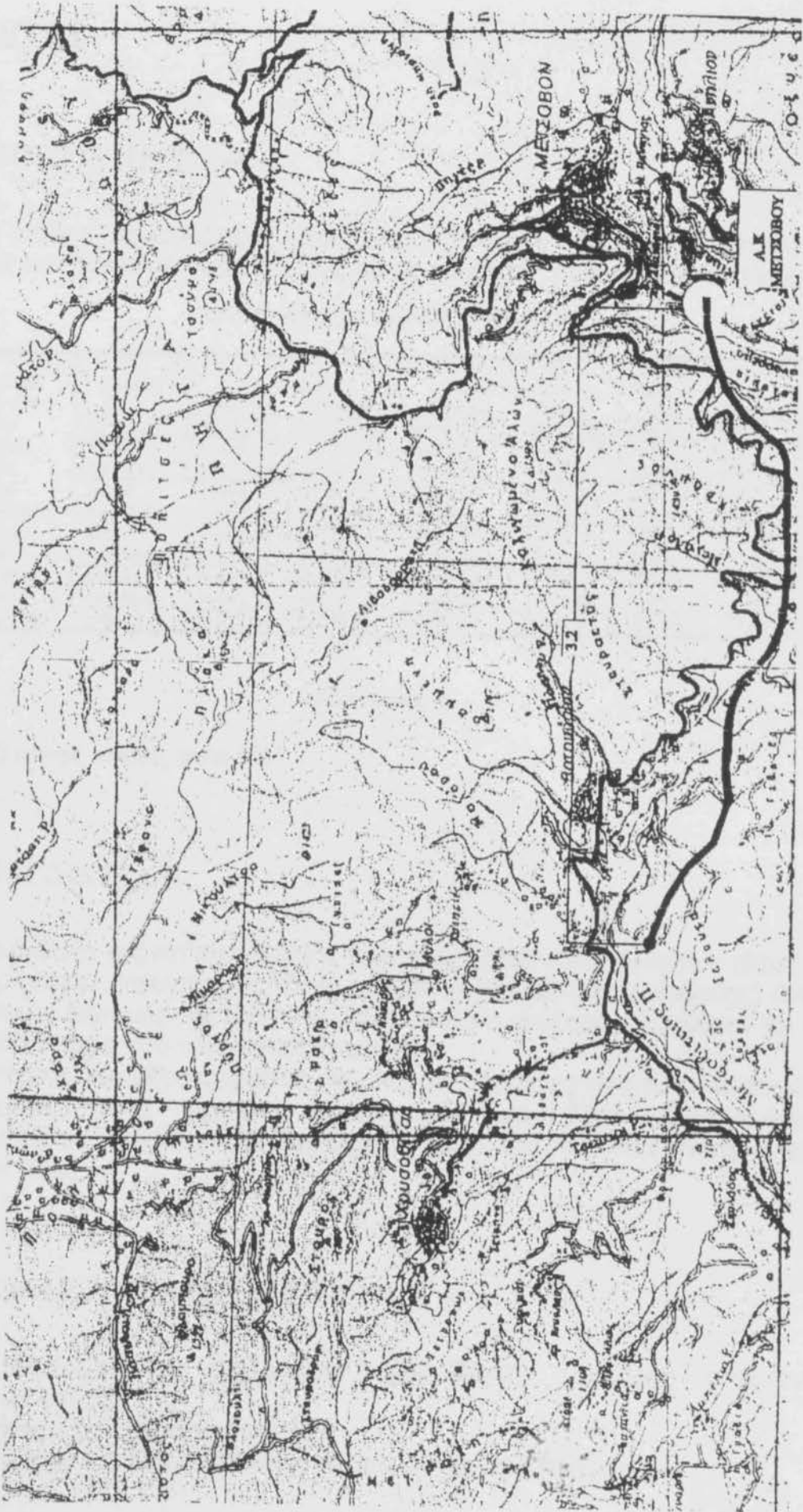
Η αρχή του συμπίπτει με τη χ.θ. 4+650 του τμήματος 3.1, Ν.Δ. του χωριού Βοτονόσι, στη νότια κλιτή του ποταμού Μετσοβίτικου, η βόρεια κλιτή του οποίου περνάει στη χ.θ. 6+130. Διασχίζει έδαφος εξόχως ορεινό και γι' αυτό προκύπτει χάραξη με επαλληλία σηράγγων και κοιλαδογεφυρών με πολύ μικρά μεταξύ τους τμήματα οδοποιίας.

Το τέλος του τμήματος είναι στον κόμβο Μετσόβου περί τη χ.θ. 10+460 της Εγνατίας οδού. Ο κόμβος εξυπηρετεί το Μέτσοβο, το Ανήλιο και την υφιστάμενη Ε.Ο Ιωαννίνων-Τρικάλων, με την Εγνατία οδό.

α/α	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΜΗΜΑΤΟΣ
1	Από Αρχή έως Είσοδο Σήραγγας Ανθοχωρίου
2	Σήραγγα Ανθοχωρίου
3	Έξοδος Σήραγγας Ανθοχωρίου έως Αρχή Γέφυρας Βοτονοσίου
4	Γέφυρα Βοτονοσίου
5	Σήραγγα Βοτονοσίου
6	Γέφυρα Μεγαλορέμματος
7	Σήραγγα Δύο Κορυφών
8	Έξοδος Σήραγγας Δύο Κορυφών έως Είσοδο Σήραγγας Κρημνού
9	Σήραγγα Κρημνού
10	Έξοδος Σήραγγας Κρημνού έως Είσοδος Σήραγγας Καλαμιών
11	Σήραγγα Καλαμιών
12	Περιοχή Ανισόπεδου Κόμβου

Υποτμήματα του τμήματος 3.2 της Εγνατίας Οδού

Πίνακας 1



ΣΗΡΑΓΓΕΣ

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Στο υπόψη τμήμα κατασκευάζονται πέντε διδυμες σήραγγες με απόσταση των αζόνων των δύο κλάδων 25 μ. όπως αυτές φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΗΡΑΓΓΩΝ.

Όνομασία Τεχνικού	Κλάδος	Χ.Θ. Σήραγγας		Χ.Θ. Υπογείου		Μήκος Σήραγγας (m)	Υψόμετρα ερυθράς οδού	
		Είσοδος	Έξοδος	Είσοδος	Έξοδος		Είσοδος	Έξοδος
Σήραγγα Καλαμιών	Αριστερός	9+392,60	10+232,00	9+401,55	10+221,85	839,40	958,90	1000,50
Σήραγγα Κρημού	Δεξιός	9+449,15	10+213,25	9+457,15	10+203,15	764,10	959,70	998,50
	Αριστερός	8+277,60	9+357,40	8+280,00	9+350,00	1079,80	903,10	957,20
Σήραγγα Δύο Κορυφών	Δεξιός	8+298,75	9+380,10	8+306,15	9+374,60	1081,35	903,30	956,30
	Αριστερός	7+469,60	8+204,90	7+476,30	8+190,00	735,30	862,8	899,60
Σήραγγα Βοτονοσίου	Δεξιός	7+476,50	8+213,56	7+483,60	8+203,15	737,05	862,30	899,10
	Αριστερός	6+427,60	6+949,90	6+430,00	6+942,00	522,30	810,50	836,85
Σήραγγα Ανθοχωρίου	Δεξιός	6+437,70	6+936,95	6+443,20	6+926,60	499,25	810,60	835,90
	Αριστερός	5+042,10	5+717,00	5+049,20	5+715,00	674,90	741,40	775,10
	Δεξιός	5+013,50	5+719,50	5+016,40	5+709,50	706,00	739,70	774,30

Πίνακας 2

Οι κατά μήκος κλίσεις είναι 5%.

ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ

Η γεωμετρία της τυπικής διατομής των προς κατασκευή σήραγγων (όσον αφορά στο περιτύπωμα κυκλοφορίας και το εσωράχιο της μόνιμης επένδυσης) είναι αυτή της τυπικής διατομής της Εγνατίας Οδού. Αυτή η γεωμετρία και μόνον θα πρέπει να ληφθεί υπόψη από τους προσφέροντες.

Το πλάτος του οδοστρώματος για όλες τις σήραγγες είναι 8.5μ. ανά κλάδο και περιλαμβάνει δύο λωρίδες κυκλοφορίας (2×3,75μ). Εκατέρωθεν του οδοστρώματος προβλέπονται πεζοδρόμια κάτω από τα οποία γίνεται η διέλευση αγωγών Η/Μ.

ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΟΥ ΘΑ ΕΚΤΕΛΕΣΤΟΥΝ

Στο αντικείμενο της εργολαβίας περιλαμβάνεται η πλήρης κατασκευή των σήραγγων δηλαδή:

- Διάτρηση και άμεση υποστήριξη
- Διατρήσεις για διενέργεια τσιμεντενέσεων και αποστραγγίσεων

- Τοποθέτηση οργάνων παρακολούθησης συμπεριφοράς βραχομάζας κλπ. καθώς και η καταγραφή των σχετικών μετρήσεων.
- Τελική επένδυση σήραγγας
- Στεγάνωση-αποστράγγιση επένδυσης
- Διαμήκη έργα αποχέτευσης-αποστράγγισης σήραγγας
- Εργασίες εκσκαφής και προστασίας στομίων.
- Κατασκευή εξωτερικών τμημάτων της σήραγγας.
- Κατασκευή εγκαρσίων οδών διαφυγής μεταξύ των δύο κλάδων.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΣΗΡΑΓΓΙΑ ΑΝΘΟΧΩΡΙΟΥ

Κατά τη διάνοιξη της σήραγγας και κυρίως στο μεγαλύτερο τμήμα της, αναμένεται να συναντηθούν τα υλικά της επώθησης και οι παχυστρωματώδεις ψαμμίτες του Πινδικού φλύσχη.

Ο ψαμμιτικός σχηματισμός συνίσταται από γκριζόχρωμους, λεπτόκοκκους παχυστρωματώδεις ψαμμίτες, υγείς έως ελαφρά αποσαθρωμένους και μέτρια έως έντονα τεκτονισμένους.

Τα υλικά επώθησης συνίστανται από μία χαοτική μάζα γκριζοπράσινων και ερυθρών κατακερματισμένων ιλυολίθων με τεμάχια ψαμμιτών και ασβεστολίθων διαφόρων διαστάσεων.

Τα μέτωπα εισόδου και εξόδου της δίδυμης σήραγγας θα διαμορφωθούν σε παχυστρωματώδεις ψαμμίτες του Πινδικού Φλύσχη, έντονα τεκτονισμένους, οι οποίοι όμως διατηρούν σημαντικές αντοχές σε εφελκυσμό και θλίψη. Στις ψαμμιτικές στρώσεις παρεμβάλλονται ιλυολιθικές ζώνες, μικρού πάχους, οι οποίες όμως λειτουργούν ως υλικά λίπανσης στις επιφάνειες της στρώσης με αποτέλεσμα κατά μήκος των επιφανειών αυτών να παρατηρούνται πολλές φορές ολισθήσεις.

Σαφώς χαμηλότερες τιμές αντοχών προσδιορίστηκαν για την ψαμμιτική και την ιλυολιθική φάση των υλικών επώθησης, ως συνέπεια του έντονου τεκτονισμού. Αναμένονται γενικά πτωχά γεωμηχανικά χαρακτηριστικά βραχομάζας στα υλικά της επώθησης και ιδιαιτέρως σε θέσεις επικράτησης της ιλυολιθικής φάσης.

Αναφορικά με τις επικρατούσες υδρογεωλογικές συνθήκες στη στενή περιοχή των μετώπων εισόδου δεν διαπιστώθηκαν πηγές ενώ η οποιαδήποτε εμφάνιση νερού στα ψαμμιτικά πετρώματα του λεπτιωμένου Πινδικού φλύσχη θα εξαρτάται άμεσα από τις μετεωρολογικές συνθήκες. Στις σήραγγες τα εντοπιζόμενα νερά (στάθμες πιεζομέτρων) θα έχουν τη μορφή υγρασίας ή σταγόνων ενώ κατά μήκος τεκτονικών ασυνεχειών θα υπάρχει ενδεχόμενα συνεχής ροή. Στις περιοχές όπου επιφανειακά παρατηρήθηκαν κατολισθητικά φαινόμενα είναι πιθανόν να υπάρξουν κατεισδύσεις νερών μέχρι το βάθος της σήραγγας μέσω ανοιχτών διακλάσεων της ψαμμιτικής βραχομάζας. Τα υλικά της επώθησης λόγω της αργιλικής πηλτικικής σύστασης αναμένεται να είναι σε γενικές γραμμές στεγνά. Τέλος στην περιοχή των μετώπων εξόδου η ψαμμιτική βραχομάζα αποστραγγίζεται στο επίπεδο της κοίτης της παρακείμενης μισγάγγειας και κατά μήκος του μετώπου της εσωτερικής λεπίωσης σε απόλυτα υψόμετρα μικρότερα από τα αντίστοιχα της ερυθράς της

οδού. Συνεπώς, ο ρόλος του νερού στη διαμόρφωση των μετώπων εξόδου θα είναι αμελητέος.

ΣΗΡΑΓΓΑ ΒΟΤΟΝΟΣΙΟΥ

Ο σχηματισμός των παχυστρωματωδών ψαμμιτών του Πινδικού φλύσχη συναντήθηκε σε όλο το βάθος των γεωτρήσεων. Παρουσιάζει πολύ καλά μηχανικά χαρακτηριστικά. Πρόκειται γενικά για ένα σχηματισμό υγιή με ασθενή τεκτονική καταπόνηση. Οι ιλυολιθικές που παρεμβάλλονται στους ψαμμίτες παρουσιάζουν ελαττωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά αλλά εμφανίζονται υγιείς με ασθενή τεκτονισμό. Η αποσάθρωση περιορίζεται μόνο κατά μήκος των ασυνεχειών υπό μορφή οξειδωσης.

Σε όλο το μήκος της χάραξης ο άξονας ακολουθεί περίπου τον προσανατολισμό των στρωμάτων ή τέμνει την παράταξή τους με μικρή οξεία γωνία.

Αναφορικά με τις αναμενόμενες υδρογεωλογικές συνθήκες, στους ψαμμίτες αναμένεται περιορισμένη περιοδική υδροφορία οφειλόμενη στον σημαντικό συντελεστή κατείσδυσης και στην άμεση απόκριση, μέσω του δικτύου των ασυνεχειών, στα βρόχινα νερά. Ωστόσο λόγω της βαθιάς αποστράγγισης της ψαμμιτικής βραχομάζας δεν αναμένονται σημαντικές ποσότητες υπόγειου νερού στο επίπεδο της σήραγγας.

ΣΗΡΑΓΓΑ ΔΥΟ ΚΟΡΥΦΩΝ

Κατά τη διάνοιξη της σήραγγας αναμένεται να συναντηθούν οι σχηματισμοί των εναλλαγών ιλυολίθων και ψαμμιτών, των ερυθροπηλιτών και των παχυστρωματωδών ψαμμιτών.

Ο σχηματισμός των εναλλαγών, ο οποίος συναντήθηκε με την όρυξη των γεωτρήσεων, συνίσταται από γκριζόχρωμους λεπτοστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις ιλυόλιθους και ψαμμίτες ασθενώς τεκτονισμένους και αποσαθρωμένους.

Ο σχηματισμός των ερυθροπηλιτών αποτελεί μία ζώνη κατά κύριο λόγο πηλιτική, που συνίσταται σε ερυθρούς και γκριζούς ιλυόλιθους, στους οποίους παρεμβάλλονται αραιά λεπτά (<0,1μ), ψαμμικά στρώματα.

Ο σχηματισμός των παχυστρωματωδών ψαμμιτών αποτελείται από πάγκους πάχους 0,3 έως 5m. Μεταξύ των ψαμμιτικών στρωμάτων παρεμβάλλονται ιλυολιθικά στρώματα και ιλυολιθικά φιλμς πάχους λίγων χιλιοστών. Πρόκειται για σχηματισμό με πολύ καλά μηχανικά χαρακτηριστικά, ήτοι με υψηλές αντοχές σε θλίψη, εφελκυσμό και διάτμηση κατά μήκος των ασυνεχειών. Οι ιλυολιθικές ζώνες που παρεμβάλλονται στους ψαμμίτες παρουσιάζουν ελαττωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά αλλά εμφανίζονται υγιείς σε ασθενή τεκτονισμό. Η αποσάθρωση περιορίζεται μόνο κατά μήκος των ασυνεχειών υπό μορφή οξειδωσης.

Δεν πραγματοποιήθηκαν γεωτρήσεις στο σχηματισμό των ψαμμιτών στο πλαίσιο της διερεύνησης των επικρατούντων τεχνικογεωλογικών συνθηκών της υπόψη σήραγγας. Συναντήθηκε όμως κατά την ανόρυξη γεωτρήσεων παρακείμενης σήραγγας (σήραγγα Κρημνού).

Ο τεκτονισμός της βραχομάζας αναμένεται έντονος στο σχηματισμό των ερυθροπηλιτών και ασθενέστερος στις εναλλαγές και τους παχυστρωματώδεις ψαμμίτες.

Αναφορικά με τις αναμενόμενες υδρογεωλογικές συνθήκες στο σχηματισμό των εναλλαγών ψαμμιτών και ιλυολίθων δεν αναμένεται υδροφορία σε μορφή συνεχούς ροής αλλά σε μορφή σταγόνων ή υγρασίας. Τα προηγούμενα ισχύουν και για τους ερυθροπηλίτες που είναι ουσιαστικά στεγανός σχηματισμός. Στους ψαμμίτες αναμένεται περιορισμένη περιοδική υδροφορία οφειλόμενη στον σημαντικό συντελεστή κατείδυσης και στην άμεση απόκριση μέσω του δικτύου των ασυνεχειών στα βρόχινα νερά. Ωστόσο λόγω της βαθιάς αποστράγγισης της ψαμμιτικής βραχομάζας δεν αναμένονται σημαντικές ποσότητες υπόγειου νερού στο επίπεδο της σήραγγας.

Δεν πρέπει τέλος να αποκλειστεί η εμφάνιση διογκούμενων αργιλικών ορυκτών στο τμήμα της σήραγγας που θα διανοιγεί στους ερυθροπηλίτες. Λόγω όμως του σχετικά περιορισμένου πάχους της ερυθροπηλιτικής ζώνης πιθανά προβλήματα παραμορφώσεων στην περίμετρο της διατομής της σήραγγας θα είναι ήσσονος σημασίας για την διάνοιξή της.

ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΡΗΜΝΟΥ

Κατά την διάνοιξη της σήραγγας αναμένεται να συναντηθούν οι σχηματισμοί των εναλλαγών ιλυολίθων και ψαμμιτών και των παχυστρωματωδών ψαμμιτών.

Ο σχηματισμός των εναλλαγών συνίσταται σε γκριζόχρωμους, λεπτοστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις ιλυόλιθους και ψαμμίτες, ασθενώς τεκτονισμένους και αποσαθρωμένους. Δεν πραγματοποιήθηκαν γεωτρήσεις στον εν λόγω σχηματισμό στα πλαίσια της διερεύνησης των επικρατούντων τεχνικογεωλογικών συνθηκών της υπόψη σήραγγας. Συναντήθηκε κατά την όρυξη γεωτρήσεων για τη διερεύνηση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών παρακείμενης σήραγγας (σήραγγα Δύο Κορυφών).

Ο σχηματισμός των παχυστρωματωδών ψαμμιτών αποτελείται από πάγκους πάχους 0,3 έως 5m. Μεταξύ των ψαμμιτικών στρωμάτων παρεμβάλλονται ιλυολιθικά στρώματα και ιλυολιθικά φιλμς πάχους λίγων χιλιοστών. Πρόκειται για σχηματισμό με πολύ καλά μηχανικά χαρακτηριστικά, ήτοι με υψηλές αντοχές σε θλίψη, εφελκυσμό και διάτμηση κατά μήκος των ασυνεχειών. Οι ιλυολιθικές ζώνες που παρεμβάλλονται στους ψαμμίτες παρουσιάζουν ελαττωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά αλλά εμφανίζονται υγιείς και με ασθενή τεκτονισμό. Η αποσάθρωση περιορίζεται μόνο κατά μήκος των ασυνεχειών υπό μορφή οξειδωσης.

Αναφορικά με τις αναμενόμενες υδρογεωλογικές συνθήκες στο σχηματισμό των εναλλαγών ψαμμιτών-ιλυολίθων δεν αναμένεται υδροφορία με μορφή συνεχούς ροής αλλά με μορφή σταγόνων ή υγρασίας. Στους ψαμμίτες αναμένεται περιορισμένη περιοδική υδροφορία οφειλόμενη στον σημαντικό συντελεστή κατείδυσης και στην άμεση απόκριση μέσω του δικτύου των ασυνεχειών στα βρόχινα νερά. Ωστόσο λόγω της βαθιάς αποστράγγισης της ψαμμιτικής βραχομάζας δεν αναμένονται σημαντικές ποσότητες υπόγειου νερού στο επίπεδο της σήραγγας.

ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΛΑΜΙΩΝ

Κατά τη διάνοιξη της σήραγγας αναμένεται να συναντηθεί ο σχηματισμός των παχυστρωματωδών ψαμμιτών, το πάχος των οποίων κυμαίνεται από 0,3 έως και 8m. Συνήθως μεταξύ των στρωμάτων παρεμβάλλονται λεπτές ιλυολιθικές ενστρώσεις πάχους μερικών χιλιοστών ή εκατοστών και σπανιότερα ιλυολιθικά στρώματα πάχους 0,05 έως 0,20m. Κατά τις θέσεις στη σειρά παρεμβάλλονται μεμονωμένες ιλυολιθικές ζώνες πάχους 1 έως 8m.

Η κλίση των ψαμμιτικών στρωμάτων είναι ανατολική, με μεγάλες γωνίες (50°-70°). Ο προσανατολισμός των στρωμάτων είναι ευνοϊκός έως πολύ ευνοϊκός για τη διάνοιξη. Τα συστήματα διακλάσεων είναι ασυνέχειες που στην πλειοψηφία τους αναμένεται να είναι κλειστές στο επίπεδο της σήραγγας, μερικές όμως θα είναι ανοιχτές και ενδεχόμενα διευρυμένες από την αποσάθρωση.

Όσον αφορά στις επικρατούσες υδρογεωλογικές συνθήκες, αναμένεται περιορισμένη περιοδική υδροφορία οφειλόμενη στο σημαντικό συντελεστή κατείσδυσης και στην άμεση απόκριση μέσω του δικτύου των ασυνεχειών στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Ωστόσο λόγω της βαθείας αποστράγγισης της ψαμμιτικής βραχώμαζας δεν αναμένονται σημαντικές ποσότητες υπόγειου νερού στο απίπεδο της σήραγγας.

Αναφορικά με τα φυσικά πρηνή στην ευρύτερη περιοχή των μετώπων εξόδου αυτά είναι ευσταθή. Οι κατολισθήσεις που σημειώνονται στο χάρτη αποτελούν πολύ παλιές και σταθεροποιημένες μετακινήσεις. Πρόκειται για τοπικές ολισθήσεις πλευρικών κορημάτων και ενδεχόμενα και προϊόντων εκσκαφής του παλιού οδικού δικτύου, πάνω στο βραχώδες υπόβαθρο. Στην κίνηση ενδεχόμενα συμμετείχαν και επιφανειακά στρώματα του υπόβαθρου που ολίσθησαν πάνω στις επιφάνειες στρώσης. Οι ολισθήσεις ξεκινούν από ψηλά από το υψόμετρο 1160m περίπου (πάνω από τον εθνικό δρόμο) και φθάνουν μέχρι το υψόμετρο 1030m περίπου. Οι χαλαρές αυτές μάζες παρουσιάζουν σημαντική δευτερογενή συγκόλληση με ασβεστιτικό συγκολλητικό υλικό. Καμία ένδειξη πρόσφατης επανενεργοποίησης της μάζας δεν εντοπίστηκε στο πρηνές. Θεωρούμε τη μάζα σταθεροποιημένη και ασφαλή αν δεν υπάρξει σοβαρή ανθρωπογενής επέμβαση στη συγκεκριμένη περιοχή. Τέτοιες επεμβάσεις θα ήταν, η φόρτωση της κεφαλής με προϊόντα εκσκαφών ή η υποσκαφή του πόδα της κατολίσθησης.

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Με βάση τις παρατηρήσεις και τα πορίσματα της γεωλογικής μελέτης και γεωτεχνικής έρευνας που διενεργήθηκε και κυρίως τα αποτελέσματα της ταξινόμησης της βραχώμαζας σε συγκεκριμένες θέσεις, θεωρείται ότι κατά μήκος της σήραγγας δεν αναμένεται σημαντική μεταβολή των γεωτεχνικών συνθηκών και των κατηγοριών βραχομάζας. Ειδικότερα αναμένεται να συναντηθούν οι παρακάτω κατηγορίες βραχώμαζας κατά RMR.

Κατηγορίες βραχομάζας

Α/Α	ΣΗΡΑΓΓΑ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΚΑΤΑ RMR
1	Ανθοχωρίου	III, IV, V
2	Βοτονοσίου	III
3	Δύο Κορυφών	II, III, IV
4	Κρημνού	III
5	Καλαμιών	III

Πίνακας 3**ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ****ΕΚΣΚΑΦΗ, ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗ, ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΤΟΜΙΩΝ ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

Στις θέσεις των στομιών των σηράγγων απαιτείται εν γένει η διενέργεια εκσκαφών και η μόρφωση ανοικτών ορυγμάτων. Ανάλογο με την επιλογή της θέσης έναρξης του υπογείου τμήματος, τη μορφολογία του φυσικού ανάγλυφου, τις συνθήκες ευστάθειας και τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις προκύπτει η γεωμετρία των μετώπων και των πρηνών των στομιών της σήραγγας.

Οι θέσεις έναρξης και πέρατος του υπογείου καθορίσθηκαν κατά τρόπον ώστε να περιορίζονται κατά το δυνατόν οι εκσκαφές στις περιοχές των στομιών της σήραγγας. Ειδικότερα, οι εν λόγω θέσεις επιλέχθηκαν ώστε το πάχος των υπερκειμένων να είναι σχετικά περιορισμένο (2 έως 3m περίπου) και επίσης το μέτωπο του κάθε στομιού της σήραγγας προσανατολίσθηκε κατάλληλο ώστε να διαμορφώνεται με σχετική λοξότητα ως προς τον άξονα της οδού προσαρμοζόμενο στο φυσικό ανάγλυφο. Εφαρμόζοντας την ανωτέρω διαδικασία προσδιορίσθηκαν οι θέσεις των στομιών της σήραγγας.

Βάσει των αποτελεσμάτων των αναλύσεων ευστάθειας των μετώπων και των πρηνών των στομιών και κυρίως λαμβάνοντας υπόψη την τεχνικογεωλογική συμπεριφορά και την ποιότητα των γεωλογικών σχηματισμών που αναμένεται να συναντηθούν στις εν λόγω περιοχές, σε συνδυασμό με τους γεωμετρικούς περιορισμούς που υπεισέρχονται και αφορούν στις διαστάσεις και στη γεωμετρία του έργου, καθορίσθηκαν η τελική γεωμετρία των μετώπων και των πρηνών στις περιοχές των στομιών.

Για την μόνιμη αντιστήριξη των μετώπων και των πλευρικών πρηνών των στομιών της σήραγγας θα τοποθετηθούν τα παρακάτω ανά σήραγγα:

ΣΗΡΑΓΓΑ ΑΝΘΟΧΩΡΙΟΥ

Μόνιμες ηλώσεις, μήκους 8μ, φέρουσας ικανότητας 300kN, σε διάταξη 2μΧ2μ, σε συνδυασμό με ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 10cm έως 20cm και δομικό πλέγμα T188. Επίσης, στο άνω τμήμα των μετώπων των στομιών

εισόδου και το κατακόρυφο τμήμα των μετώπων του στομίου εξόδου θα τοποθετηθούν μόνιμες προεντεταμένες αγκυρώσεις, σε κάνναβο 4μΧ4μ, μήκους 16μ και 12μ αντίστοιχα και φέρουσας ικανότητας 400kN.

ΣΗΡΑΓΓΑ ΒΟΤΟΝΟΣΙΟΥ

Μόνιμες ηλώσεις, μήκους 8μ, φέρουσας ικανότητας 300kN, σε διάταξη 2μΧ2μ, σε συνδυασμό με ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 15cm και δομικό πλέγμα T188.

ΣΗΡΑΓΓΑ ΔΥΟ ΚΟΡΥΦΩΝ

Μόνιμες ηλώσεις, μήκους 8μ, φέρουσας ικανότητας 300kN, σε διάταξη 2μΧ2μ, σε συνδυασμό με ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 15cm και δομικό πλέγμα T188.

ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΡΗΜΝΟΥ

Μόνιμες ηλώσεις, μήκους 8μ, και 10μ, φέρουσας ικανότητας 300kN, σε διάταξη 2μΧ2μ, σε συνδυασμό με ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 15cm έως 20cm και δομικό πλέγμα T188.

ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΛΑΜΙΩΝ

Μόνιμες ηλώσεις, μήκους 6μ, 8μ, και 10μ, φέρουσας ικανότητας 300kN, 300kN και 400kN σε διάταξη 2μΧ2μ, σε συνδυασμό με ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 15cm έως 20cm και δομικό πλέγμα T188.

Προκειμένου να επιτυγχάνεται η αποτελεσματική αποστράγγιση και η εκτόνωση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, θα ορυχθούν σε κάνναβο 3μΧ3μ, οπές αποστράγγισης, μήκους 10μ, με ελαφρά ανωφερική κλίση και ενδιάμεσα με την ίδια διάταξη ανακουφιστικές οπές μήκους 2μ. Τόσο στις οπές αποστράγγισης, όσο και στις ανακουφιστικές οπές θα τοποθετηθούν διάτρητοι σωλήνες.

Στη στέψη των μετώπων και των πλευρικών πρανών τόσο του στομίου εισόδου, όσο και του στομίου εξόδου, θα κατασκευασθεί τάφρος οφρύος για τη συλλογή των επιφανειακών απορροών και την απομάκρυνσή τους και θα τοποθετηθούν κατάλληλες διατάξεις συγκράτησης βραχοπτώσεων.

Σημειώνεται επίσης ότι μετά από την ολοκλήρωση των εργασιών κατασκευής προβλέπεται η εκτέλεση εργασιών μερικής επίχωσης των φορέων των στομίων και η τοποθέτηση κατάλληλων υλικών για την αποκατάσταση των εκσκαφών των μετώπων.

Πριν από την προσβολή των μετώπων των σηράγγων και την έναρξη των υπογείων εκσκαφών και αφού προηγουμένως έχουν ολοκληρωθεί οι εργασίες

εκσκαφής και αντιστήριξης των ορυγμάτων θα κατασκευάζονται τα προτόξα προστασίας, κατάλληλου μήκους σε κάθε περίπτωση.

Από κάθε στόμιο, από το εξωτερικό προς το εσωτερικό και ανεξάρτητα από τη φορά εκσκαφής, θα διενεργείται όρυξη της σήραγγας σε μήκος τουλάχιστον ίσο με το τριπλάσιο της ισοδύναμης διαμέτρου εκσκαφής. Η όρυξη των πρώτων βημάτων των σηράγγων θα διενεργείται με ιδιαίτερη προσοχή, δεδομένου του μικρού πάχους υπερκειμένων και θα εφαρμόζονται οι ειδικές διατομές άμεσης υποστήριξης που αφορούν στα εν λόγω τμήματα της σήραγγας.

Η γεωμετρία των εκσκαφών που θα δημιουργηθούν στις περιοχές των στομιών της σήραγγας, δεδομένων των χαρακτηριστικών διαμόρφωσης των μετώπων και των πρηνών στις εν λόγω θέσεις, προσδιορίζονται αναλυτικά στα σχετικά σχέδια.

ΔΙΑΝΟΙΞΗ - ΑΜΕΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Με βάση τα συμπεράσματα της αξιολόγησης των διαθέσιμων γεωλογικών και γεωτεχνικών δεδομένων, τα αποτελέσματα της γεωτεχνικής ταξινόμησης της βραχώμαζας καθώς και τα αποτελέσματα των αναλύσεων ευστάθειας της υπόγειας εκσκαφής, προσδιορίστηκαν η κατάλληλη διαδικασία και τα μέσα εκσκαφής - άμεσης υποστήριξης της σήραγγας, του εγκάρσιου διαδρόμου προσπέλασης προσωπικού και των τμημάτων της σήραγγας με χαμηλά υπερκείμενα, για συγκεκριμένες τεχνικογεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες.

Ειδικότερα, αξιολογώντας το εύρος των αναμενόμενων συνθηκών κατά μήκος της σήραγγας προσδιορίστηκαν πέντε τυπικές διατομές εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης για τις οποίες διαστασιολογήθηκαν αντίστοιχα συστήματα άμεσης υποστήριξης της υπόγειας εκσκαφής τόσο του κάθε κλάδου της σήραγγας και του εγκάρσιου διαδρόμου, όσο και των τμημάτων της σήραγγας με χαμηλά υπερκείμενα. Οι εν λόγω τυπικές διατομές εφαρμόζονται για συγκεκριμένο εύρος τεχνικογεωλογικών και γεωτεχνικών συνθηκών όπως αυτές προσδιορίζονται στην Τεχνική Συγγραφή Υποχρεώσεων, και καλύπτουν το σύνολο των αναμενόμενων συνθηκών που αναμένεται να συναντηθούν επί τόπου, βάσει των διαθέσιμων γεωλογικών και γεωτεχνικών δεδομένων.

Οι τυπικές διατομές εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης της σήραγγας και των τμημάτων της σήραγγας με χαμηλά υπερκείμενα βασίζονται στα διεθνώς χρησιμοποιούμενα συστήματα γεωμηχανικής ταξινόμησης της βραχώμαζας τονίζεται όμως ότι δεν αντιστοιχούν άμεσα και μονοσήμαντα με τις κατηγορίες βραχώμαζας που καθορίζονται από τα εν λόγω συστήματα.

Συγκεντρωτικά, για την εκσκαφή και άμεση υποστήριξη της σήραγγας εφαρμόζονται οι ακόλουθες τυπικές διατομές για τις οποίες προσδιορίζονται η αλληλουχία των φάσεων εκσκαφής και τα αντίστοιχα μέτρα άμεσης υποστήριξης.

ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Τυπικές διατομές εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης σήραγγας

Τυπική διατομή Α

- ♦ Εκσκαφή σε δύο τμήματα, άνω ημιδιατομή και βαθμίδα.
- ♦ Βήμα προχώρησης, 4μ.
- ♦ Μέτρα άμεσης υποστήριξης:
 - Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 5cm, στο θόλο και στις παρειές.
 - Δομικό πλέγμα, μια στρώση T188, συστηματικά στο θόλο και όπου απαιτείται στις παρειές.
 - Αγκύρια μήκους 4μ, σε κάνναβο 3μΧ2μ, φέρουσας ικανότητας 250kN.

Τυπική διατομή Β

- ♦ Εκσκαφή σε δύο τμήματα, άνω ημιδιατομή και βαθμίδα.
- ♦ Βήμα προχώρησης 3μ.
- ♦ Μέτρα άμεσης υποστήριξης:
 - Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 8cm, στο θόλο και στις παρειές.
 - Δομικό πλέγμα, μία στρώση T188 συστηματικά στο θόλο και στις παρειές.
 - Αγκύρια μήκους 4μ, σε κάνναβο 2μ χ 1,5μ, φέρουσας ικανότητας 250kN.

Τυπική διατομή C

- ♦ Εκσκαφή σε τέσσερα τμήματα, κεντρικό και δύο πλευρικά τμήματα άνω ημιδιατομής και βαθμίδα
- ♦ Βήμα προχώρησης 2μ.
- ♦ Μέτρα άμεσης υποστήριξης:
 - Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 15cm, εκ των οποίων τα πρώτα 10cm με ίνες, στο θόλο και στις παρειές.
 - Δομικό πλέγμα, μια στρώση T188 συστηματικά στο θόλο και στις παρειές.
 - Αγκύρια μήκους 4μ, σε κάνναβο περίπου 1,5μΧ1μ, φέρουσας ικανότητας 250kN.
 - Δικτυωτά μεταλλικά υποστηρίγματα (Lattice Girders) 115/20/30 σε αξονικές αποστάσεις 2μ.
 - Εξασφάλιση μεταλλικών υποστηριγμάτων με τη βοήθεια 8 αγκυρίων μήκους 4μ, φέρουσας ικανότητας 250kN.
- ♦ Προίσχυροποίηση βραχόμαζας με τοποθέτηση δοκών προπορείας ελαφρού τύπου, μήκους 12μ, σε τόξο 120° του θόλου, ανά 8μ όπου απαιτείται.

Τυπική διατομή D

- ♦ Εκσκαφή σε επτά τμήματα, κεντρικό και δύο πλευρικά τμήματα άνω ημιδιατομής, κεντρικό τμήμα και δύο πλευρικά τμήματα βαθμίδας και αντεστραμμένο τόξο.
- ♦ Βήμα προχώρησης 2μ.

- ♦ Μέτρο άμεσης υποστήριξης:
 - Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 20cm, εκ των οποίων το πρώτο 15cm με ίνες στο θόλο και στις παρειές και στατικού πάχους 10cm στο δάπεδο.
 - Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 5cm στο μέτωπο και στα πλευρικά πρηνή του κεντρικού τμήματος της βαθμίδας.
 - Δομικό πλέγμα, μία στρώση T188 συστηματικά στο θόλο στις παρειές και στο δάπεδο.
 - Αγκύρια μήκους 4μ, και 6μ σε κάνναβο 1μΧ1μ, φέρουσας ικανότητας 200kN και 300kN αντίστοιχα. Τοποθετούνται 7 τεμάχια μήκους 4μ στο θόλο και 18 τεμάχια στην υπόλοιπη διατομή.
 - Δικτυωτά μεταλλικά υποστηρίγματα (Lattice Girders) 150/25/32 σε αξονικές αποστάσεις 1μ.
 - Εξασφάλιση μεταλλικών υποστηριγμάτων με τη βοήθεια 8 αγκυριών μήκους 4μ, φέρουσας ικανότητας 250kN.
- ♦ Προϊσχυροποίηση βραχόμαζας με τοποθέτηση δοκών προπορείας ελαφρού τύπου, μήκους 12μ, σε τόξο 120° Του θόλου, ανά 8μ

Τυπική διατομή E

- ♦ Εκσκαφή σε επτά τμήματα, κεντρικό και δύο πλευρικά τμήματα άνωημιδιατομής, κεντρικό τμήμα και δύο πλευρικά τμήματα βαθμίδας και ανεστραμμένο τόξο.
- ♦ Βήμα προχώρησης 1μ.
- ♦ Μέτρα άμεσης υποστήριξης:
 - Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 25cm, εκ των οποίων τα πρώτα 20cm με ίνες στο θόλο και στις παρειές και στατικού πάχους 25cm στο δάπεδο.
 - Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 8cm στο σύνολο του μετώπου της άνω ημιδιατομής και στα πλευρικά πρηνή του κεντρικού τμήματος τόσο της άνω ημιδιατομής όσο και της βαθμίδας.
 - Δομικό πλέγμα, μία στρώση T188 συστηματικά στο θόλο, στις παρειές και δύο στρώσεις T188 στο δάπεδο.
 - Αγκύριο μήκους 4μ, και 6μ σε κάνναβο 1μΧ1μ, φέρουσας ικανότητας 200kN και 300kN αντίστοιχα. Τοποθετούνται 7 τεμάχια μήκους 4μ στο θόλο και 20 τεμάχια στην υπόλοιπη διατομή.
 - Δικτυωτά μεταλλικά υποστηρίγματα (Lattice Girders) 150/25/32 σε αξονικές αποστάσεις 0,5μ.
 - Εξασφάλιση μεταλλικών υποστηριγμάτων με τη βοήθεια 8 αγκυριών μήκους 4μ, φέρουσας ικανότητας 250kN.
- ♦ Προϊσχυροποίηση βραχόμαζας με τοποθέτηση δοκών προπορείας βαρέως τύπου, μήκους 12μ, σε τόξο 120° του θόλου, ανά 8μ.

Είσοδοι σηράγγων

- Πέραν των τμημάτων του υπογείου που αναφέρονται στον ανωτέρω πίνακα, στις περιοχές πλησίον των στομιών της σήραγγας υφίστανται περιορισμένου μήκους τμήματα στα οποία το πάχος των υπερκείμενων είναι μικρότερο των 8μ.
- Για τη σήραγγα Ανθοχωρίου έχει προσδιορισθεί ότι το συνολικό μήκος των εν λόγω τμημάτων είναι 56m και κατά μήκος αυτών θα απαιτηθεί η εφαρμογή της τυπικής διατομής εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης Cr.
- Για τη σήραγγα Βοτονοσίου έχει προσδιορισθεί ότι το συνολικό μήκος των εν λόγω τμημάτων είναι 42m και κατά μήκος αυτών θα απαιτηθεί η εφαρμογή της τυπικής διατομής εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης Cr.
- Για τη σήραγγα Δύο Κορυφών έχει προσδιορισθεί ότι το συνολικό μήκος των εν λόγω τμημάτων είναι 30,50m και για άμεση υποστήριξη τους θα απαιτηθεί η εφαρμογή της τυπικής διατομής εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης Cr και Dr επί μήκους 20,50m και περίπου 10m αντίστοιχα.
- Για τη σήραγγα Κρημνού έχει προσδιορισθεί ότι το συνολικό μήκος των εν λόγω τμημάτων στο στόμιο εισόδου είναι 41m και κατά μήκος αυτών θα απαιτηθεί η εφαρμογή της τυπικής διατομής εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης Cr.
- Για τη σήραγγα Καλαμιών έχει προσδιορισθεί ότι το συνολικό μήκος των εν λόγω τμημάτων είναι 34,50m και κατά μήκος αυτών θα απαιτηθεί η εφαρμογή της τυπικής διατομής εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης Cr.

Η αλληλουχία των φάσεων εκσκαφής και τα απαιτούμενα μέτρα άμεσης υποστήριξης που προβλέπονται από την εν λόγω τυπική διατομή έχουν ως ακολούθως:

Τυπική Διατομή Cr

- ◆ Εκσκαφή : σε δύο φάσεις, άνω ημιδιατομή και βαθμίδα.
- ◆ Βήμα προχώρησης : 2m
- ◆ Μέτρα άμεσης υποστήριξης:
 - Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 15cm, εκ των οποίων τα πρώτα 10cm με ίνες στο θόλο και στις παρειές
 - Δομικό πλέγμα, μία στρώση T188 συστηματικά στο θόλο και στις παρειές Δικτυωτά μεταλλικά υποστηρίγματα (Lattice Girders) 115/20/30 σε αξονικές οπποσάσεις 2m.
 - Εξασφάλιση μεταλλικών υποστηριγμάτων με τη βοήθεια 8 αγκυρίων μήκους 4m, φέρουσας ικανότητας 250kN
- ◆ Προϊσχυροποίηση βροχόμαζας με τοποθέτηση δοκών προπορείας ελαφρού τύπου, μήκους 12m, σε τόξο 120° του θόλου, ανά 8m.

Τυπική Διατομή Dp

- ♦ Εκσκαφή σε επτά τμήματα, κεντρικό και δύο πλευρικά τμήματα άνω ημιδιατομής, κεντρικό τμήμα και δύο πλευρικά τμήματα βαθμίδας και ανεστραμμένο τόξο
- ♦ Βήμα προχώρησης 2m.
- ♦ Μέτρα άμεσης υποστήριξης:
 - Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 20cm, εκ των οποίων τα πρώτα 15cm με ίνες στο θόλο και στις παρειές και στατικού πάχους 10cm στο δάπεδο.
 - Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 5cm στο μέτωπο και στα πλευρικά πρηνή του κεντρικού τμήματος της άνω ημιδιατομής καθώς και στα πλευρικά πρηνή του κεντρικού τμήματος της βαθμίδας.
 - Δομικό πλέγμα, μία στρώση T188 συστηματικά στο θόλο, στις παρειές και στο δάπεδο.
 - Δικτυωτά μεταλλικά υποστηρίγματα (Lattice Girders) 150/25/32 σε αξονικές αποστάσεις 1m.
 - Εξασφάλιση μεταλλικών υποστηριγμάτων με τη βοήθεια 8 αγκυρίων μήκους 4m, φέρουσας ικανότητας 250kN.
- ♦ Προϊσχυροποίηση βραχόμαζος με τοποθέτηση δοκών προπορείας ελαφρού τύπου, μήκους 12m, σε τόξο 120° του θόλου, ανά 8m.
- ♦ Μικροπάσσαλοι Φ200 με τσιμεντέντεμα, μήκους 6m, τοποθετούμενοι στις παρειές υπό γωνίες 30° και 50°.

Γενικά

Με βάση τα διαθέσιμα γεωτεχνικά στοιχεία, κρίνεται ότι η εκσκαφή του υπογείου έργου δύναται να διενεργηθεί με χρήση εκρηκτικών υλών στα τμήματα εφαρμογής των τυπικών διατομών Α και Β, ενώ στα τμήματα εφαρμογής των τυπικών διατομών C, D και Ε η εκσκαφή δύναται να διενεργηθεί με μηχανικά μέσα.

Η εκσκαφή με χρήση εκρηκτικών υλών θα πρέπει να διενεργείται κατά τρόπον ώστε να μην διαταράσσεται και ρηγματώνεται η βραχόμαζα πέραν της προβλεπόμενης διατομής και να περιορίζονται κατά το δυνατόν οι υπερεκσκαφές. Προς επίτευξη των ανωτέρω κρίνεται αναγκαία η εφαρμογή κατάλληλων τεχνικών ελεγχόμενης όρυξης με εκρηκτικές ύλες, όπως η τεχνική προρηγμάτωσης, λείων τοιχωμάτων κ.ά.

Όλες οι παραπάνω εργασίες αποζημιώνονται με το αντίστοιχο άρθρο του τιμολογίου για εκσκαφή και άμεση υποστήριξη σήραγγας με το μέτρο μήκους για κάθε διατομή και κατηγορία βραχόμαζας.

Σε περίπτωση που απαιτηθούν πρόσθετα μέτρα υποστήριξης πέραν των προβλεπόμενων στην μελέτη, αυτά θα αποζημιώνονται και για τον σκοπό αυτό έχουν προβλεφθεί σχετικά άρθρα στο τιμολόγιο εργασιών.

Το τμήμα του αριστερού κλάδου της σήραγγας Καλαμιών μεταξύ της Χ.Θ 10+210 και της Χ.Θ 10+221,85 θα ορυχθεί σε διευρυμένη, σταθερών διαστάσεων,

διατομή, λόγω αναγκών της οδοποιίας και για το λόγο αυτό έχει προβλεφθεί στο τιμολόγιο η πρόσθετη αποζημίωση.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Κατά την διάρκεια της διάνοιξης της σήραγγας θα γίνει η εγκατάσταση κατάλληλων οργάνων παρακολούθησης της συμπεριφοράς της βραχώμαζας και της αλληλεπίδρασης της με τα μέτρα άμεσης υποστήριξης και η συστηματική καταγραφή των αντίστοιχων μεγεθών. Οι εν λόγω μετρήσεις θα διενεργούνται τόσο κατά το χρόνο της όρυξης όσο και κατά το χρόνο κατασκευής της τελικής επένδυσης, ενώ θα εγκατασταθούν κατάλληλα όργανα παρακολούθησης και κατά τη λειτουργία της σήραγγας.

Για την επίτευξη των ανωτέρω θα χρησιμοποιηθούν κατάλληλου τύπου και στην απαιτούμενη πυκνότητα εγκατάστασης όργανα, όπως ακίδες μέτρησης σύγκλισης, μηκυσιόμετρα, όργανα μέτρησης πίεσης πετρωμάτων, όργανα μέτρησης παραμορφώσεων, κυψέλες μέτρησης φορτίου για τις αγκυρώσεις βράχου κ.α. Επίσης, για την παρακολούθηση των υδρογεωλογικών συνθηκών θα χρησιμοποιηθούν πιεζόμετρα εντός κατάλληλου μήκους γεωτρήσεων, πιεζόμετρα επιφανειακά και διατάξεις μέτρησης της παροχής νερού στις εξόδους της σήραγγας.

Το σύνολο των εργασιών παρακολούθησης και καταγραφής της συμπεριφοράς της βραχώμαζας και των μέτρων άμεσης υποστήριξης αλλά και της τελικής επένδυσης της σήραγγας διακρίνεται στις ακόλουθες βασικές κατηγορίες:

- Πρόγραμμα παρακολούθησης κατά τη διάρκεια της κατασκευής ώστε να επιτυγχάνεται λειτουργική ασφάλεια, έλεγχος της συμπεριφοράς της άμεσης υποστήριξης της και προσαρμογή της τελευταίας στις επί τόπου συνθήκες.
- Παρακολούθηση και έλεγχος των υλικών και των κατασκευαστικών στοιχείων που χρησιμοποιούνται καθώς και της ποιότητας των εργασιών που κατασκευάζονται, σύμφωνα με τις Τεχνικές Προδιαγραφές Σηράγγων.
- Τοποθέτηση κατάλληλων οργάνων στην τελική επένδυση προκειμένου να εξακριβωθεί η λειτουργία της υποστήριξης και η παρακολούθηση της συμπεριφοράς της σήραγγας κατά τη λειτουργία της.

ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Η κατασκευή της εσωτερικής επένδυσης των σηράγγων και των οδών διαφυγής προβλέπεται να γίνει με έγχυτο οπλισμένο σκυρόδεμα. Προβλέπονται δύο τυπικές διατομές τελικής επένδυσης σηράγγων με την κατηγορία βραχώμαζας:

- Για τις κατηγορίες βραχόμαζας A, B και C προβλέπεται διατομή ανοικτή πεταλοειδής με πάχος τελικής επένδυσης στο θόλο 35cm.
- Για τις κατηγορίες βραχόμαζας D και E προβλέπεται διατομή με ανάστροφο πυθμένα (κλειστή) με πάχος τελικής επένδυσης στο θόλο 40cm.

Προβλέπονται δύο τυπικές διατομές τελικής επένδυσης οδών διαφυγής ανάλογα με την κατηγορία βραχόμαζας (σύμφωνα με την προαναφερθείσα Γεωτεχνική Μελέτη).

Προβλέπεται γενικά ανοικτή πεταλοειδής διατομή με πάχος τελικής επένδυσης στον θόλο 30cm. Μόνο για την κατηγορία βραχόμαζας E προβλέπεται διατομή με ανάστροφο πυθμένα.

Για την πλήρωση των κενών που τυχόν έχουν μείνει είτε στις περιοχές επαφής του βράχου και της εξωτερικής επένδυσης, είτε μεταξύ εξωτερικής και εσωτερικής επένδυσης, είτε μεταξύ των διαφόρων βημάτων των επενδύσεων θα γίνουν τσιμεντενέσεις επαφής ανάλογα με τις επι τόπου συνθήκες των σηράγγων. Κατά την κατασκευή προβλέπεται η υδρομάστευση και στεγάνωση της τελικής επένδυσης με χρήση γεωϋφάσματος και στεγανωτικής μεμβράνης.

Για την σκυροδέτηση της τελικής επένδυσης θα χρησιμοποιηθεί ειδικός μεταλλότυπος.

ΥΛΙΚΑ

Προβλέπονται τα εξής:

- Σκυρόδεμα τελικής επένδυσης B25
- Σκυρόδεμα κοιτοστρώσεων B10
- Σκυρόδεμα φρεατίων, καλυμμάτων κλπ B15
- Χάλυβας οπλισμού S500/550(StV)

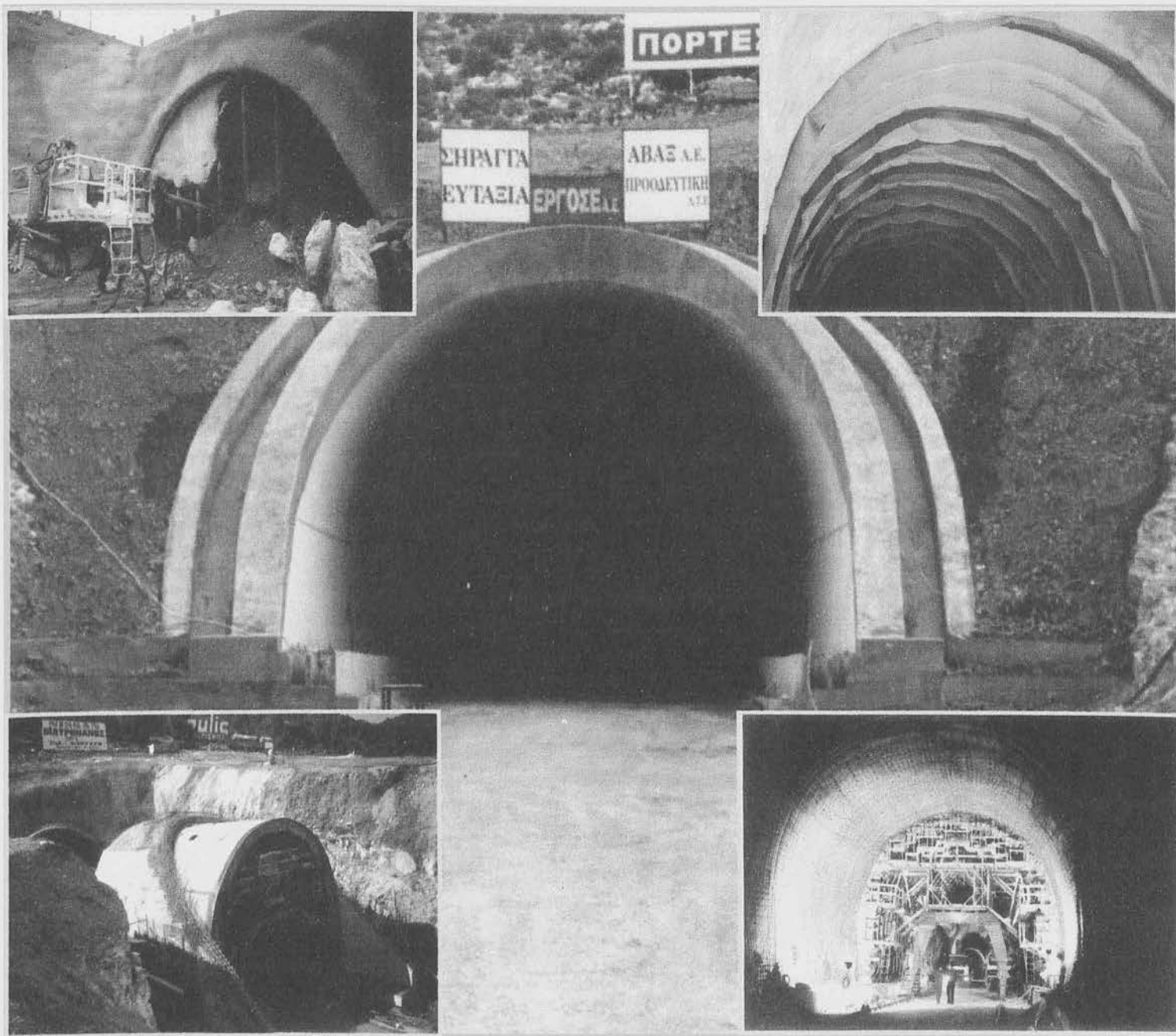
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας υπήρξε συνεργασία με τις Κατασκευαστικές Εταιρείες των συγκεκριμένων έργων από όπου έγινε η προμήθεια των αντίστοιχων μελετών, του φωτογραφικού υλικού και των βασικότερων σχεδίων. Στη συνέχεια έγινε διαλογή και κατάλληλη επεξεργασία των απαραίτητων στοιχείων, από τα παραπάνω, ούτως ώστε να γίνει συνδιασμός αυτών και του θέματος της εργασίας, σύμφωνα με τις οδηγίες του κ.Βασιλόπουλου Μ.-Α., επόπτη καθηγητή της εργασίας. Οι Κατασκευαστικές αυτές Εταιρείες, που εκτέλεσαν τα παραπάνω έργα είναι οι εξής:

- Α. ΣΗΡΑΓΓΑ ΕΥΤΑΞΙΑ: ΚΟΙΝΟΠΡΑΞΙΑ: ΑΒΑΞ Α.Ε. – ΠΡΟΟΔΕΥΤΙΚΗ Α.Ε.
 Β. ΣΗΡΑΓΓΑ ΙΧΘΥΟΣΚΑΛΑΣ: ΚΟΙΝΟΠΡΑΞΙΑ: ΑΒΑΞ Α.Ε. – ΡΟΥΤΣΗΣ Α.Ε.
 Γ. ΣΗΡΑΓΓΑ ΜΕΤΣΟΒΟΥ: ΚΟΙΝΟΠΡΑΞΙΑ: ΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε. – ΑΒΑΞ Α.Ε. – ΑΘΗΝΑ Α.Ε.Τ.Β. και Τ.Ε. – ΜΟΧΛΟΣ Α.Ε.

Η σύνθεση του γενικού μέρους (Κεφάλαιο 1ο) πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια της παρακάτω βιβλιογραφίας:

1. «Τεχνική Γεωλογία»
Γεώργιος Χρ. Δημόπουλος, Αν.Καθηγητής Α.Π.Θ.,
Θεσσαλονίκη 1986
2. «Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας»
Γεώργιος Στουρνάρας, Επ.Καθηγητής τμήμ.Γεωλογίας,
Αθήνα 1989
3. «Ειδικά Θέματα Γεωλογικών Εφαρμογών»
Γεώργιος Στουρνάρας
Αθήνα 1998
4. «Διερεύνηση Της Τρισδιάστατης Συμπεριφοράς Της Βραχομάζας Στην Περιοχή
Του Μετώπου Σήραγγας»
Διπλ. Εργ., Σούσης, Ε.Μ.Π. τομέας Γεωτεχνικής,
Αθήνα 1996
5. «Αναφορά Σήραγγες Από Την Αρχαιότητα Μέχρι Σήμερα»
Διπλ. Εργ., Δημητρακοπούλου Ο.-Σταυρούλια Κ., Ε.Μ.Π.
Αθήνα 1990
6. «Κατασκευές Σηράγγων»
Γεώργιος Θ. Χαϊνης, Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Αθήνας,
Αθήνα 1993
7. «Τεχνικά Έργα Υποδομής»
Μαραγκός Χ., Διδ.Καθηγητής Ε.Μ.Π.
8. Μέσω του Internet, από τις εξής διευθύνσεις:
α. www.civil.ntua.gr/ggeotechposttunnel1
β. [www.civil.ntua.gr/kavvadas/Books \(/books.htm](http://www.civil.ntua.gr/kavvadas/Books (/books.htm)



**ΠΕΡΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ
ΔΕΚΑΕΤΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

**(ΜΕ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΕΥΤΑΞΙΑ, ΙΧΘΥΟΣΚΑΛΑΣ
ΚΕΡΑΤΣΙΝΙΟΥ, ΜΕΤΣΟΒΟΥ)
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Β' ΜΕΡΟΣ

**ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: ΑΝΑΓΝΩΣΤΗ ΛΕΟΝΑΡΔΟΥ
ΕΙΦΑΡΑ ΑΓΓΕΛΙΚΗΣ**

**ΕΠΟΠΤΗΣ: Κ. ΒΑΣΙΛΟΠΟΥΛΟΣ ΜΑΡΙΟΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ
ΚΑΙ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**

**Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΜ. ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ**

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2001

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α'

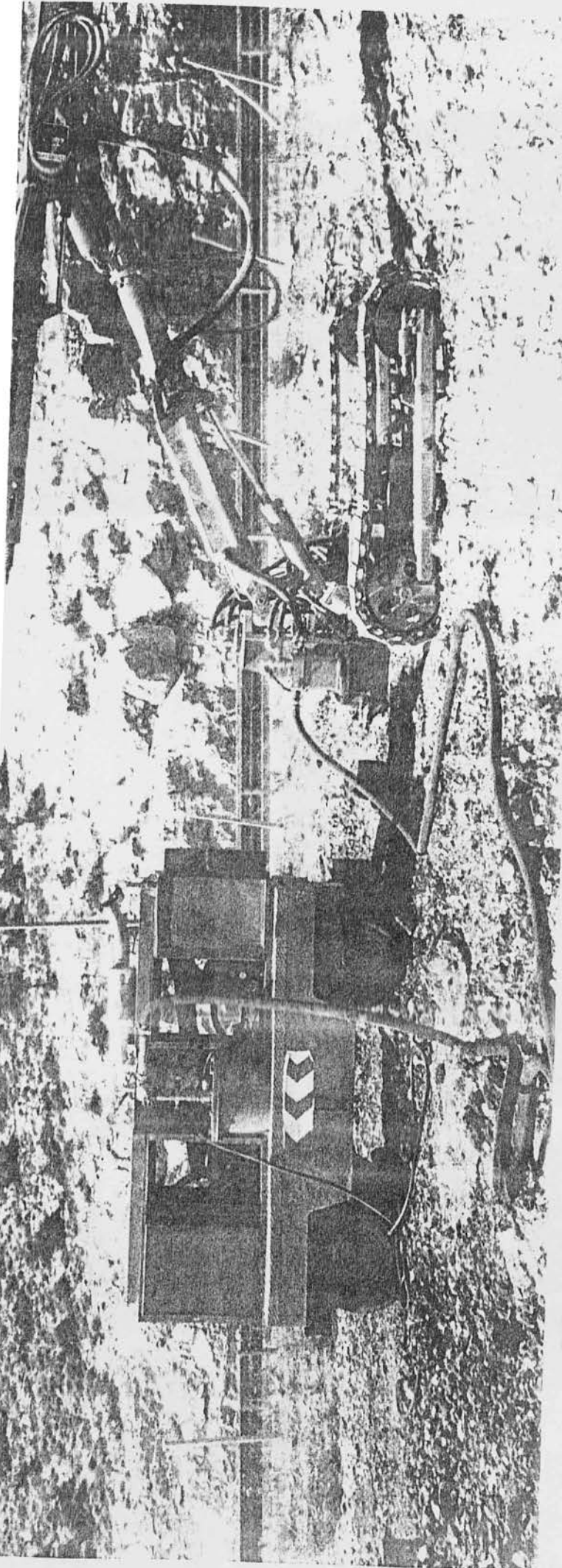
Σε αυτό το Παράρτημα εκτίθεται φωτογραφικό υλικό από τις Σήραγγες Ευταξία, Ιχθυόσκαλας και Μετσόβου, αντιστοίχως. Οι τίτλοι των φωτογραφιών βρίσκονται στην αρχή κάθε σήραγγας και είναι αριθμημένοι σύμφωνα με την αρίθμηση των αντίστοιχων σελίδων.

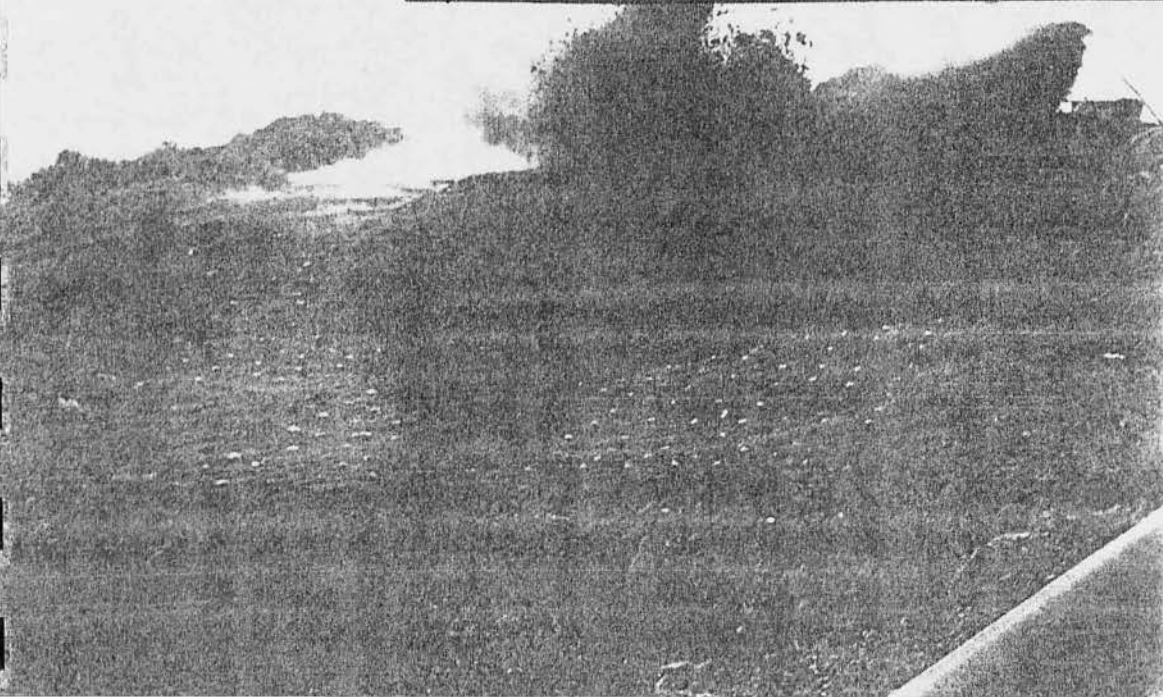
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΕΥΤΑΞΙΑ

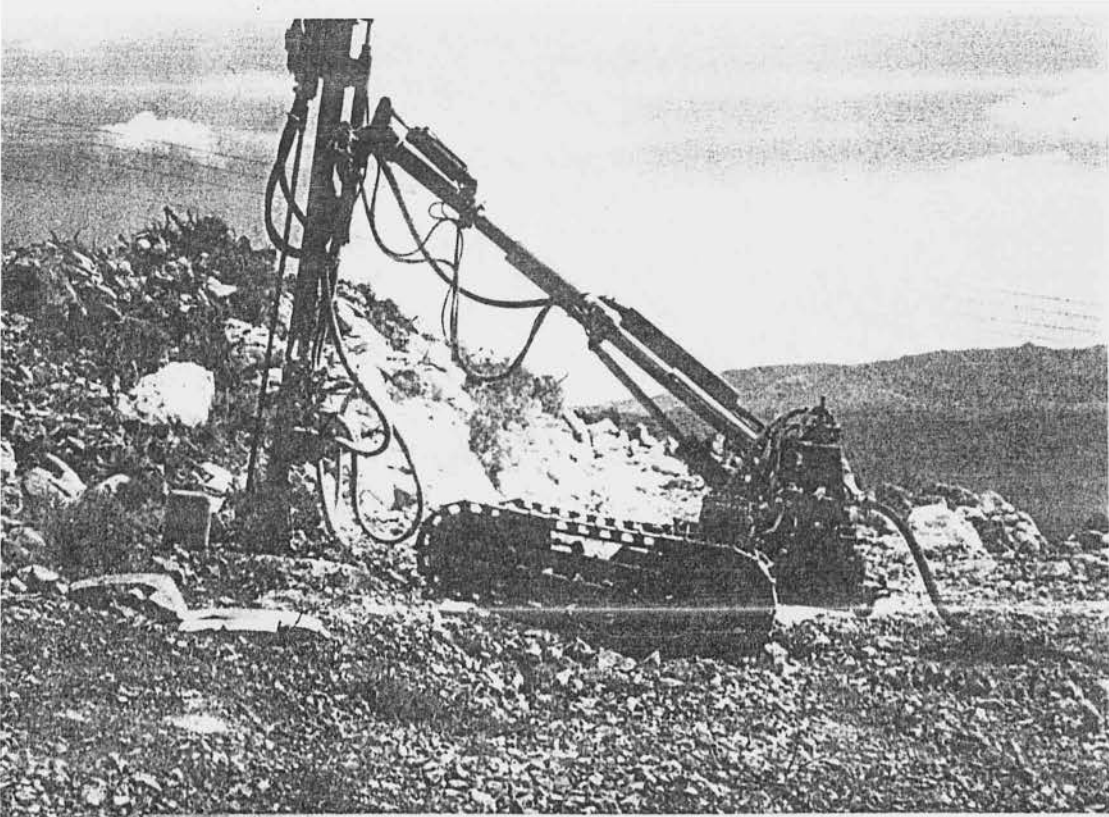
ΤΙΤΛΟΙ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ:

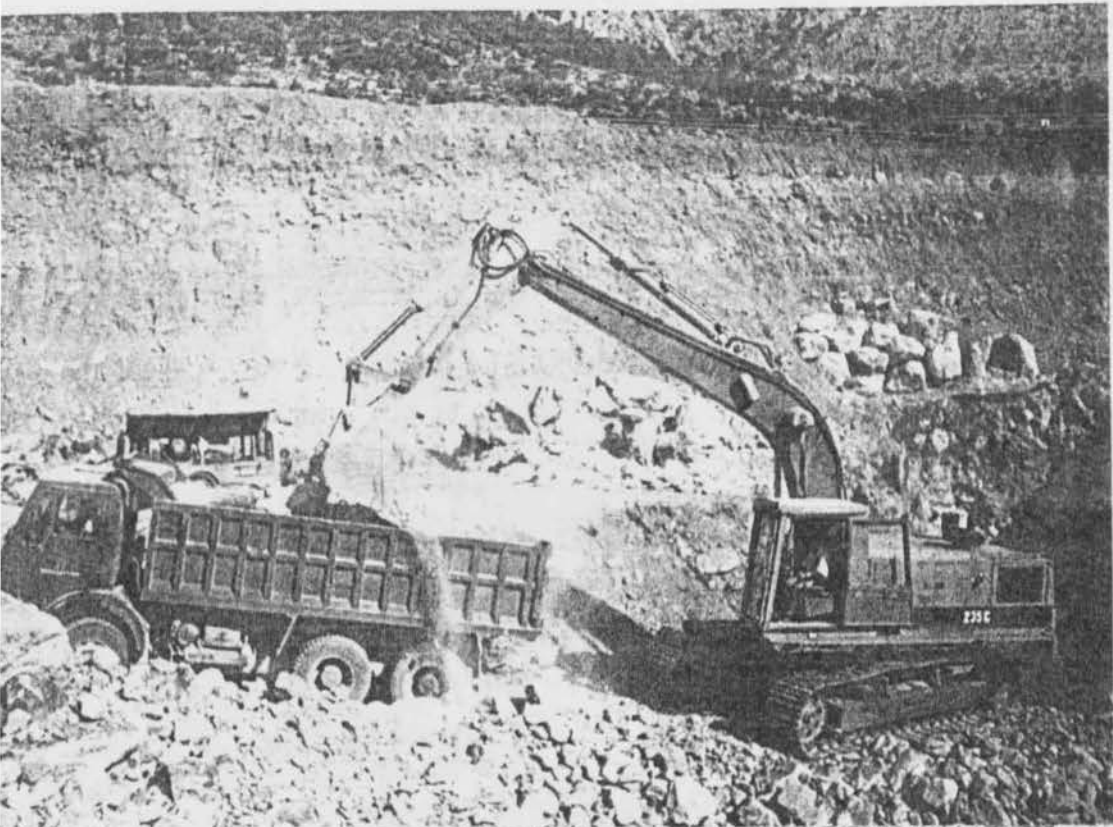
1. Κομπρεσέρ που τροφοδοτεί Γεωτρύπανο με πεπιεσμένο αέρα για τη διάνοιξη διατηρημάτων, για τοποθέτηση εκρηκτικών και εκσκαφείας-τσάπα.
2. Αρχικές εκσκαφές με εκρηκτικά. Διάνοιξη ανοικτού ορύγματος.
3. Αρχικό στάδιο εκσκαφών (Γεωτρύπανο, Τσάπα, Προωθητής γαιών).
4. Ανοικτό όρυγμα. Σήμανση εκσκαφής περιμέτρου εισόδου σήραγγας.
5. Σήμανση εκσκαφής περιμέτρου εισόδου σήραγγας και επένδυση κατακόρυφων πρηνών ορύγματος με οπλισμούς και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.
6. Έναρξη διάτρησης περιγράμματος σήραγγας για την έμπηξη-πάκτωση σωλήνων προπορείας.
7. Επένδυση πρηνών ανοικτού ορύγματος με κατακόρυφους μεταλλικούς σωληνωτούς πασσάλους, πλέγμα σιδηρού οπλισμού, εγκάρσιους οριζόντιους ελκυστήρες και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.
8. Αρχή εισόδου σήραγγας. Διακρίνονται οι σωλήνες προπορείας, οι κατακόρυφοι πάσσαλοι και το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.
9. Έναρξη εκσκαφής σήραγγας.
10. Επένδυση με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μετώπου εκσκαφής και περιγράμματος σήραγγας.
11. Αποκάλυψη, κατά την εκσκαφή, σωλήνων προπορείας. Φαίνονται τα τοξωτά πλαίσια.
12. Εκσκαφή μετώπου με ροή υπόγειων υδάτων από διάτρημα γεωτρυπάνου.
13. Διακρίνεται κεφαλή σύνδεσης σωλήνα προπορείας με μηχανή ενέματος.
14. Ευρήματα. Ρήγματα μεταξύ των πετρωμάτων, σπηλαιοειδείς χώροι με σταλακτίτες και σταλαγμήτες.
15. Γεωτρύπανα κατά την εργασία τους εντός της σήραγγας και σήμανση, στο μέτωπο εκσκαφής, των σημείων διάνοιξης οπών διά την έμπηξη σωλήνων προπορείας.
16. Επένδυση με γεωϋφασμα. Διακρίνεται φορείο-ικρίωμα εργασίας.
17. Γεωϋφασμα επένδυσης και αναμεικτήρας-αντλία ενέματος.
18. Στηρίγματα γεωϋφάσματος και κατασκευή οπλισμών τελικής επένδυσης θόλου σήραγγας.
19. Έναρξη κατασκευής, στο ανοικτό όρυγμα, τελικού τμήματος σήραγγας. Διακρίνονται ξυλότυπος, οπλισμοί ποδός θεμελίου τελικού τμήμ. σήραγγας, κινητός μεταλλότυπος σκυροδέτησης τελικής επένδυσης και ικρίωμα εργασίας.
20. Ικρίωμα εργασίας.
21. Εσωτερικό σήραγγας, ικρίωμα εργασίας και μεταλλότυπος σκυροδέτησης τελικής επένδυσης σήραγγας.
22. Χώρος πρό εισόδων σήραγγας. Διακρίνονται silos τσιμέντου και συστήματα εξαερισμού σήραγγας κατά τη διάρκεια των εργασιών.

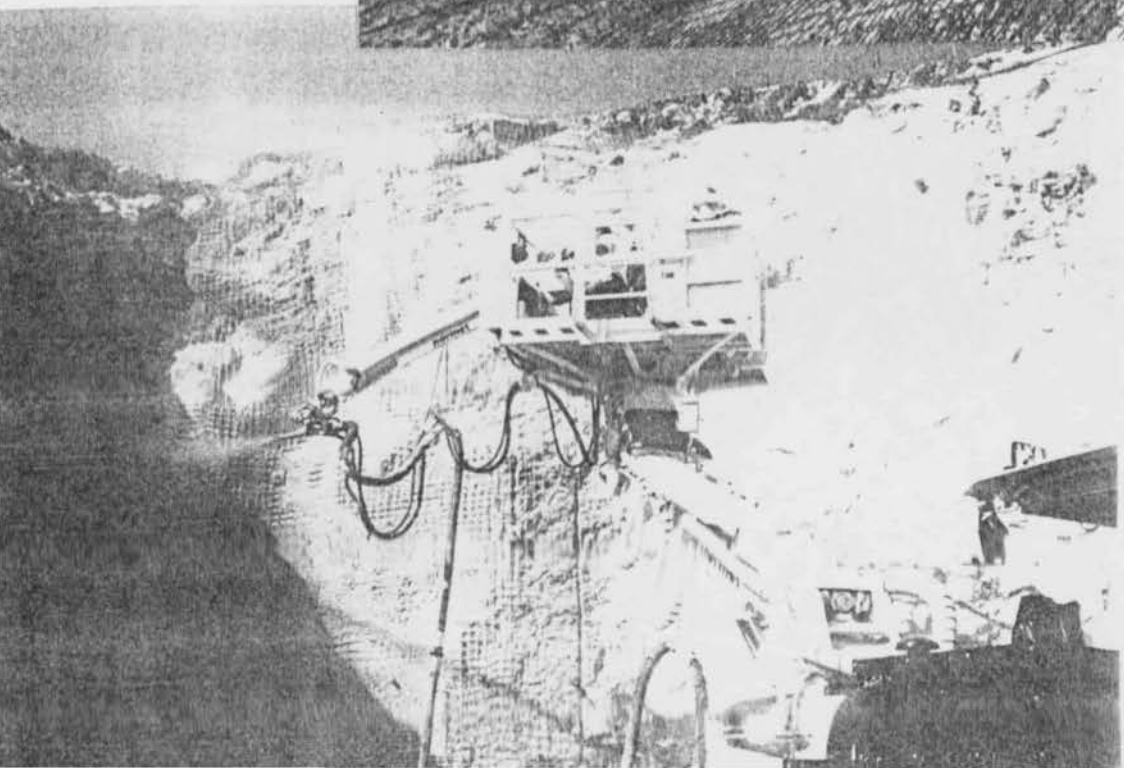
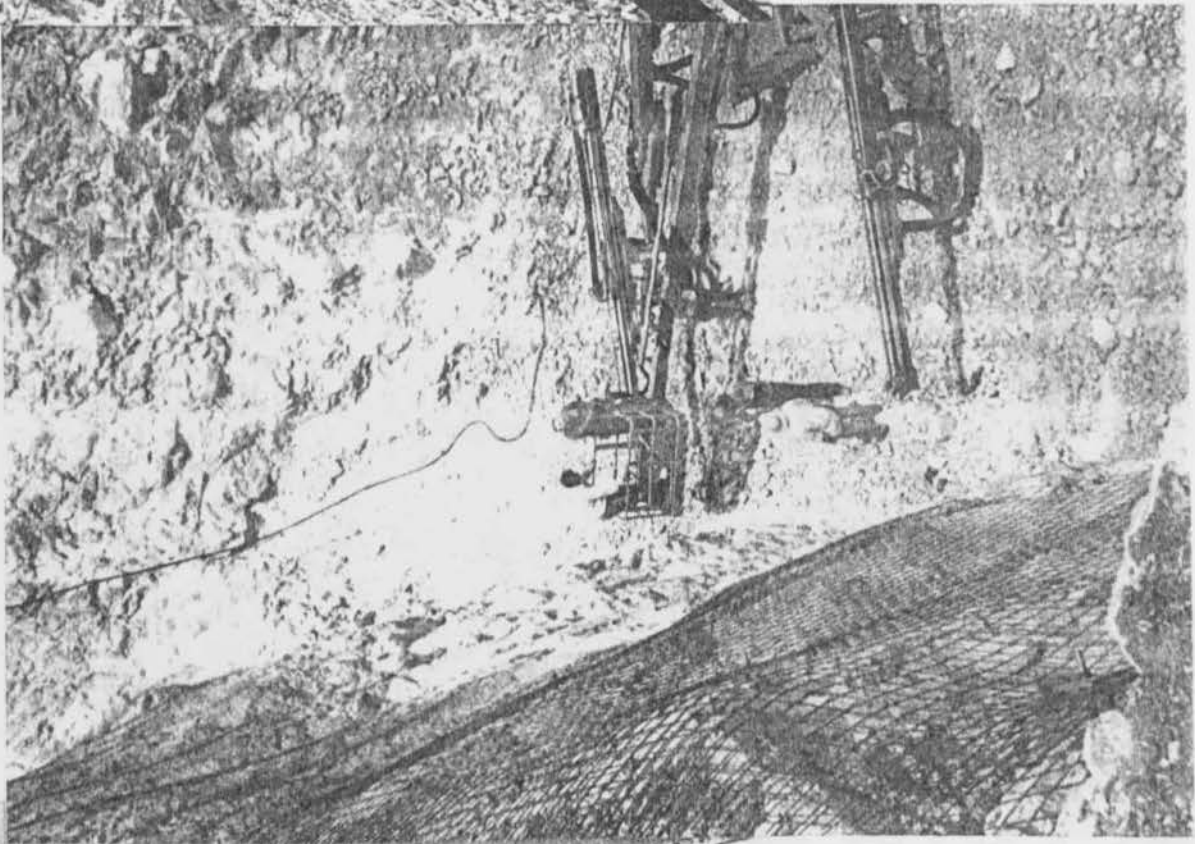
23. Χώρος προ εισόδων σήραγγας. Διακρίνεται ο μεταλλότυπος.
24. Μεταλλότυπος. Διακρίνεται ο οπλισμός πέρατος σήραγγας (στομίου) και ακολούθως ημιτελής ο μανδύας.
25. Κατασκευή τελικής στεφάνης στομίου σήραγγας.
26. Τελική μορφή στομίου σήραγγας με, προ αυτής, εργαζόμενα μηχανήματα οδοποιΐας για τη διάστρωση-συμπήκνωση υπόβασης οδοστρώματος.
27. Σωλήνες και φρεάτια στο δάπεδο της σήραγγας για τη συλλογή-απορροή υδάτων.
28. Τελική μορφή εσωτερικού μανδύα σήραγγας.

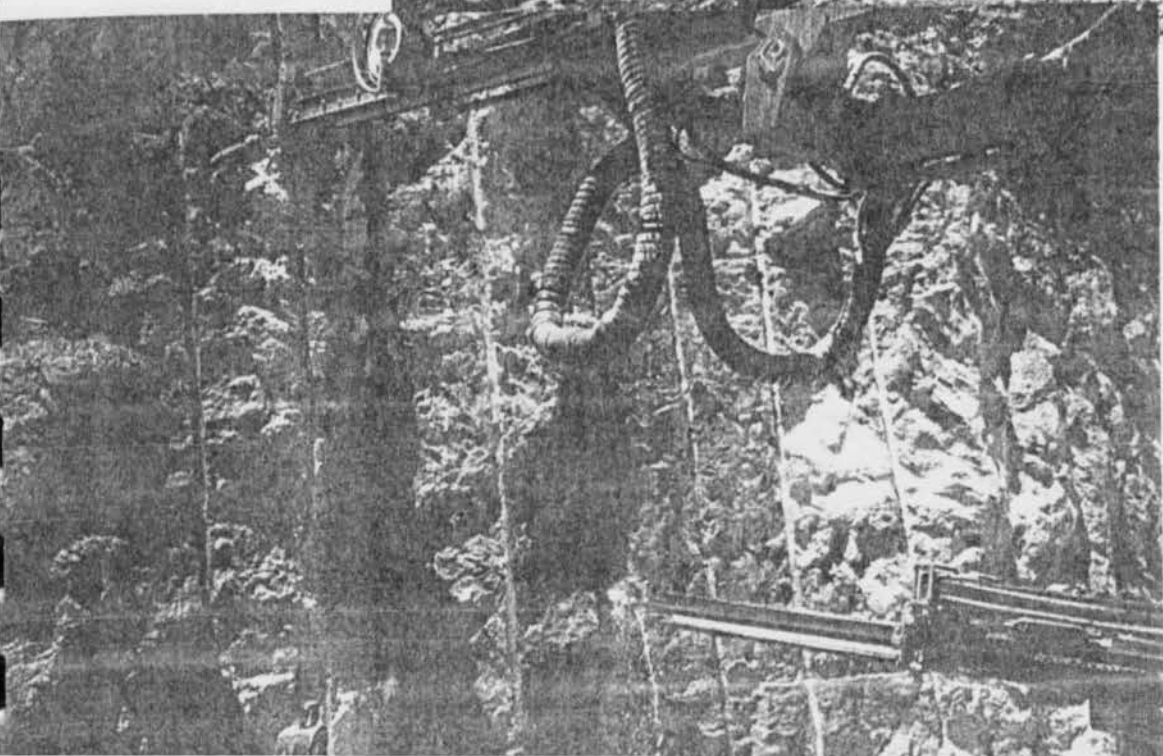
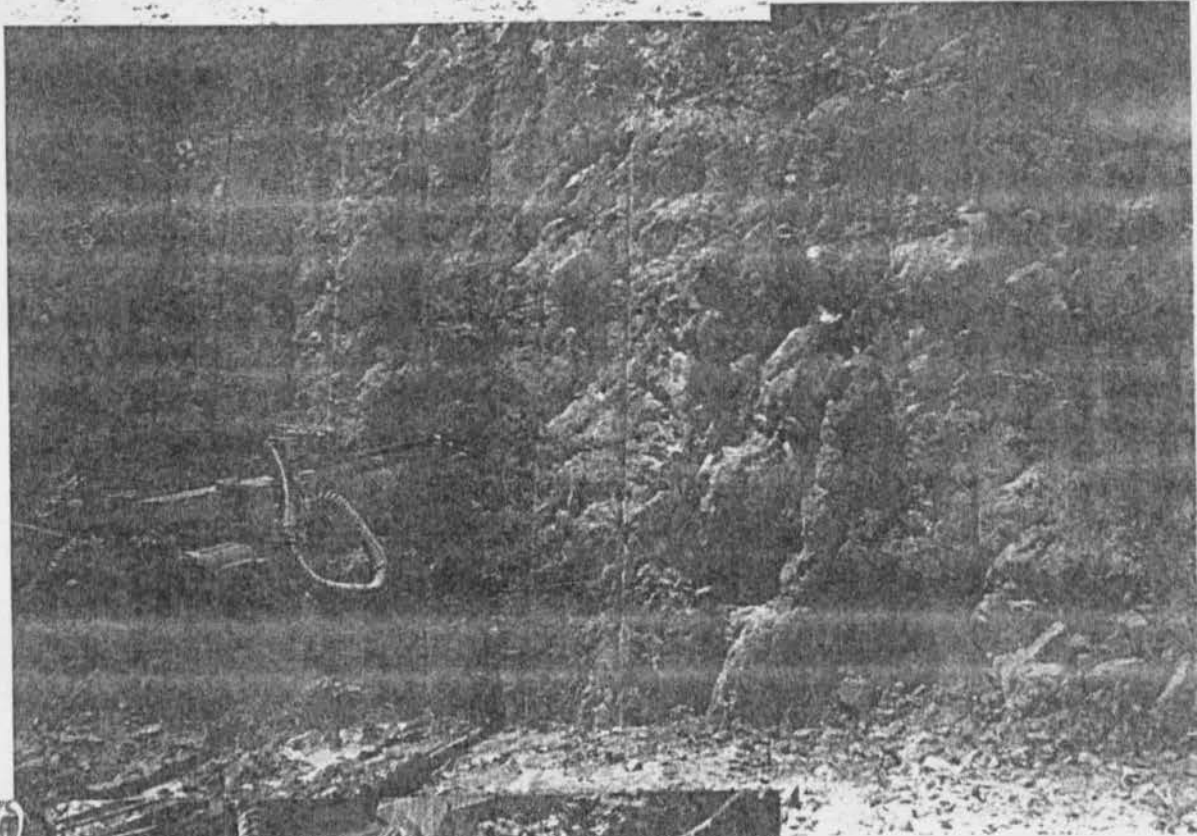
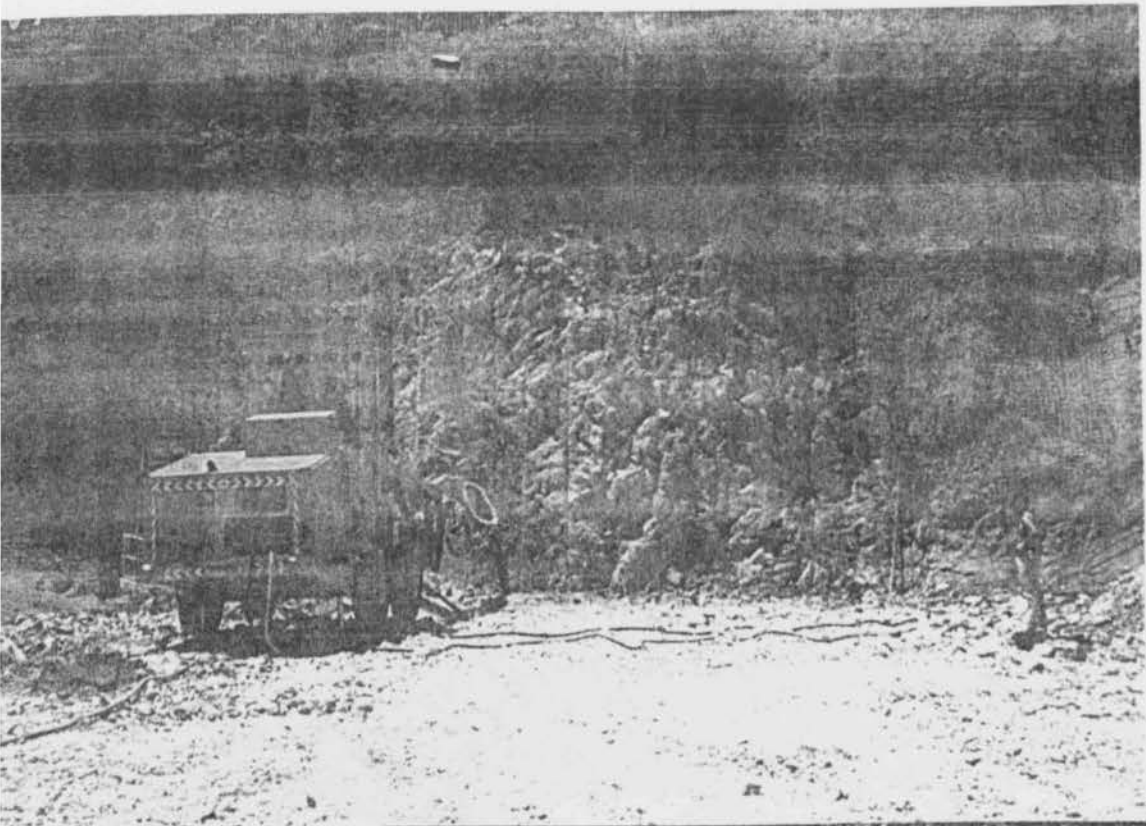


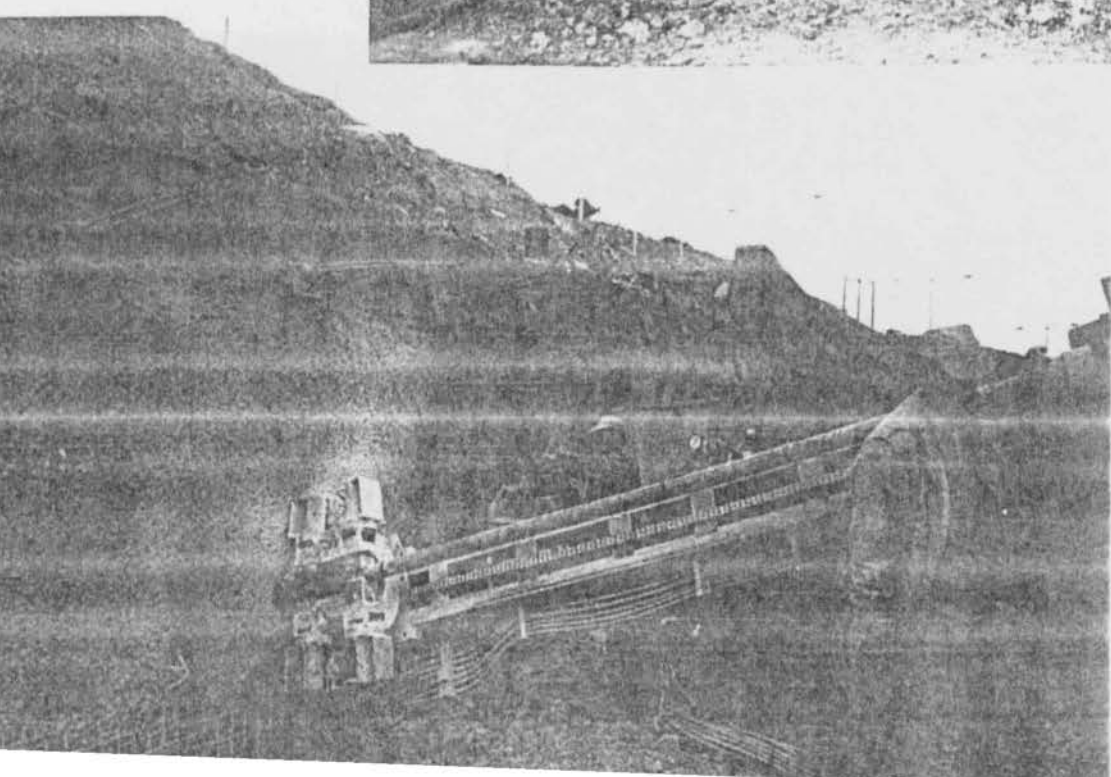
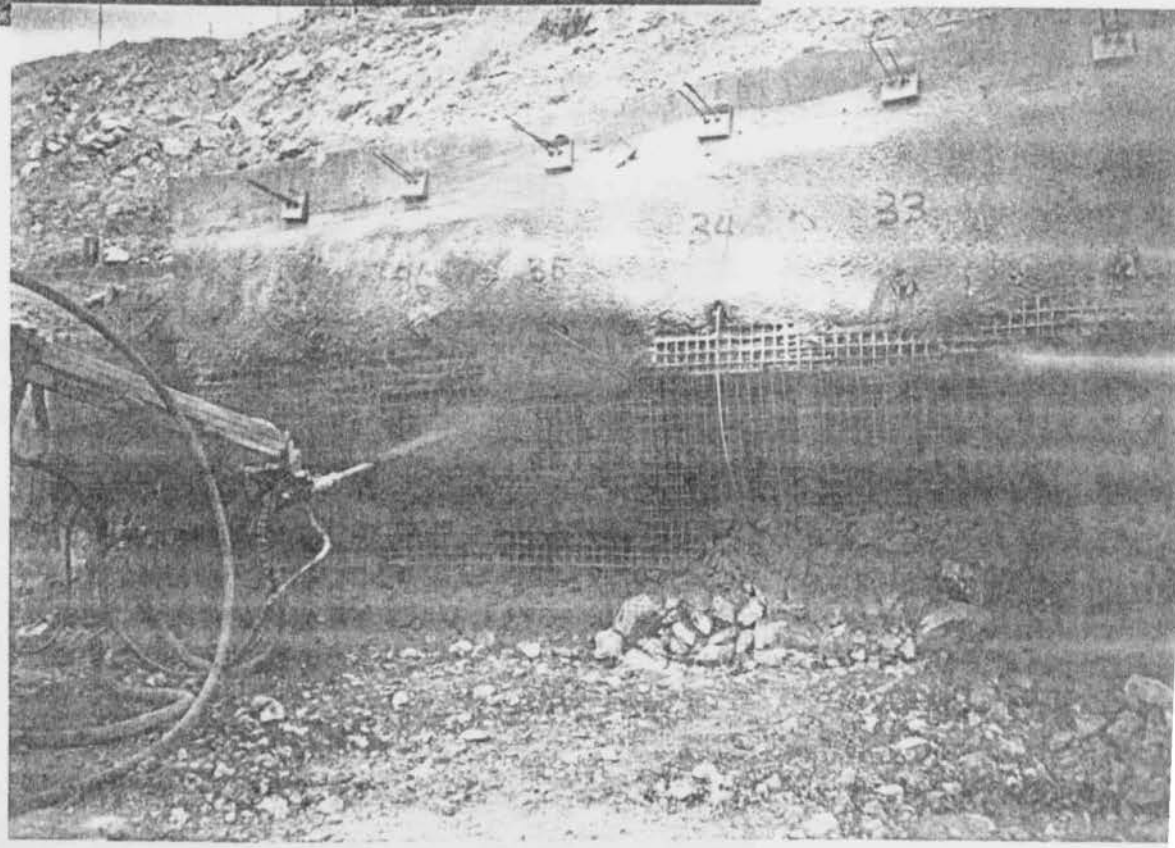
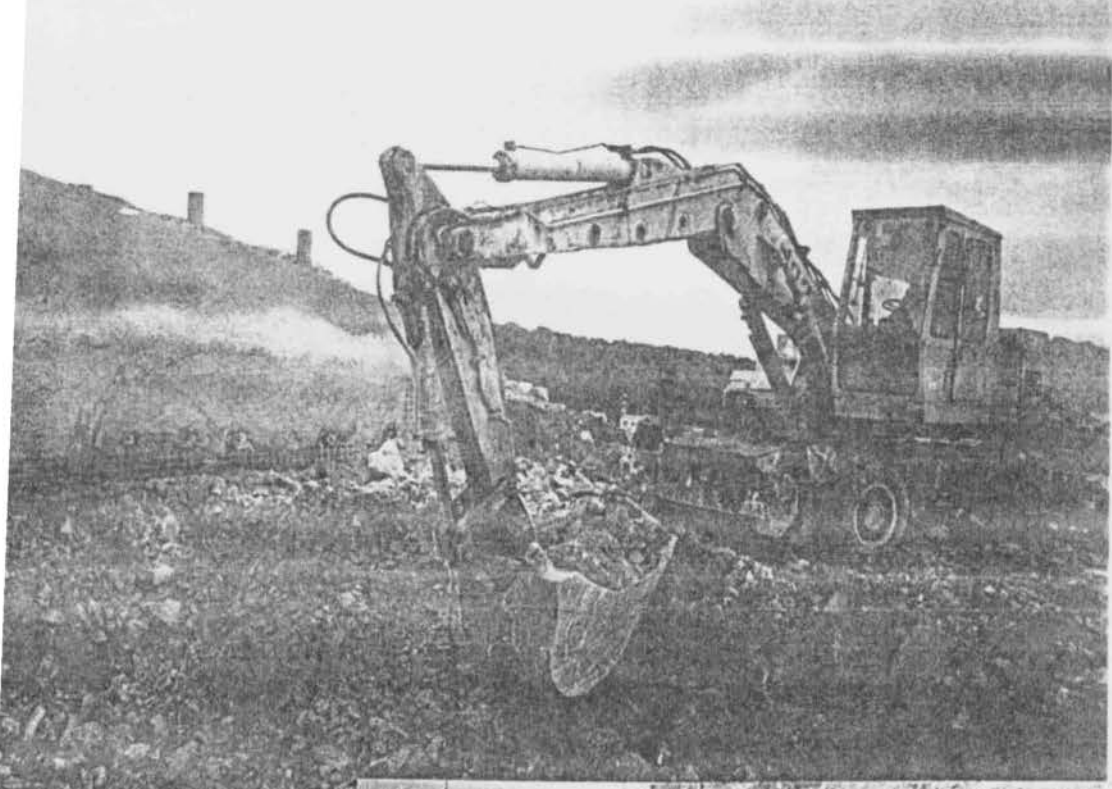


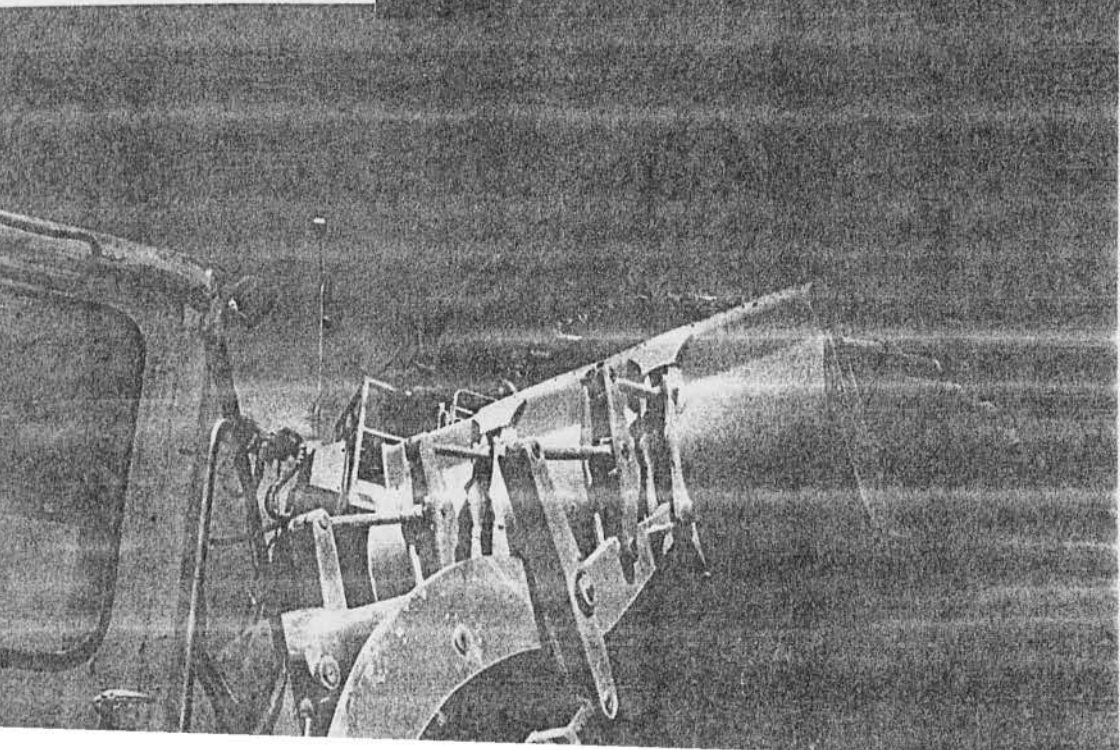
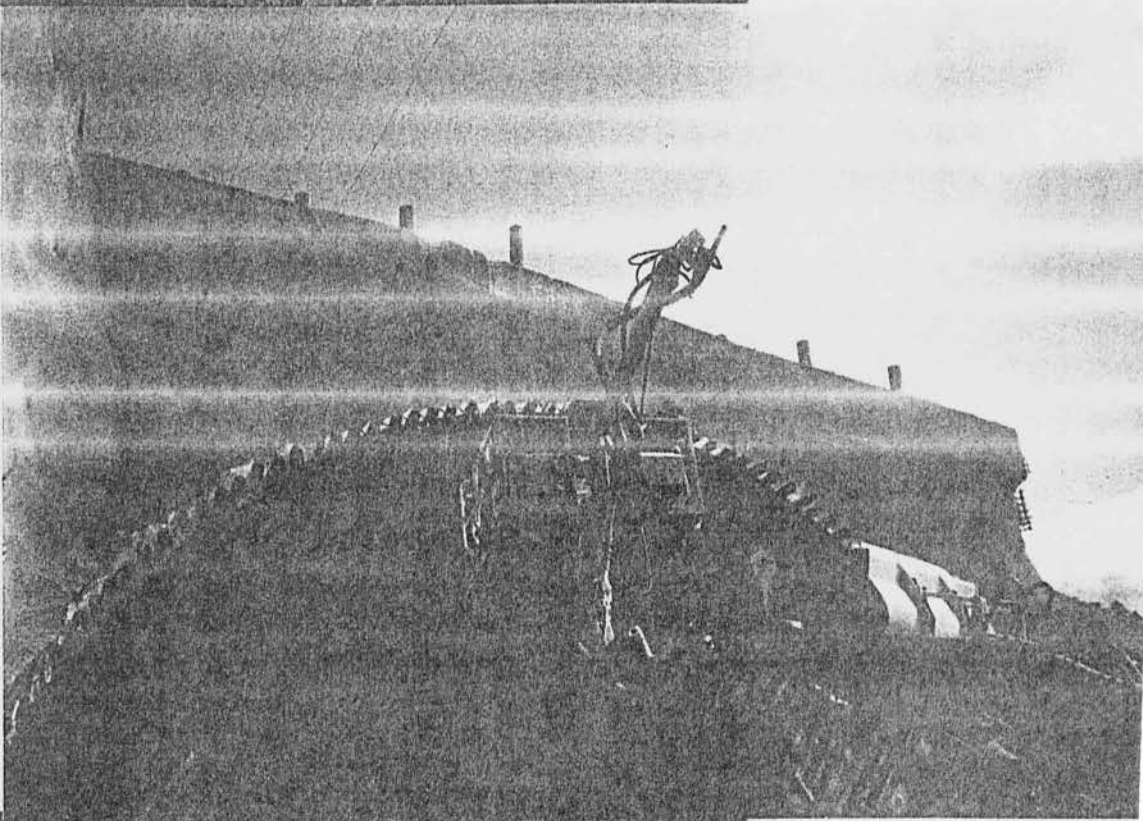


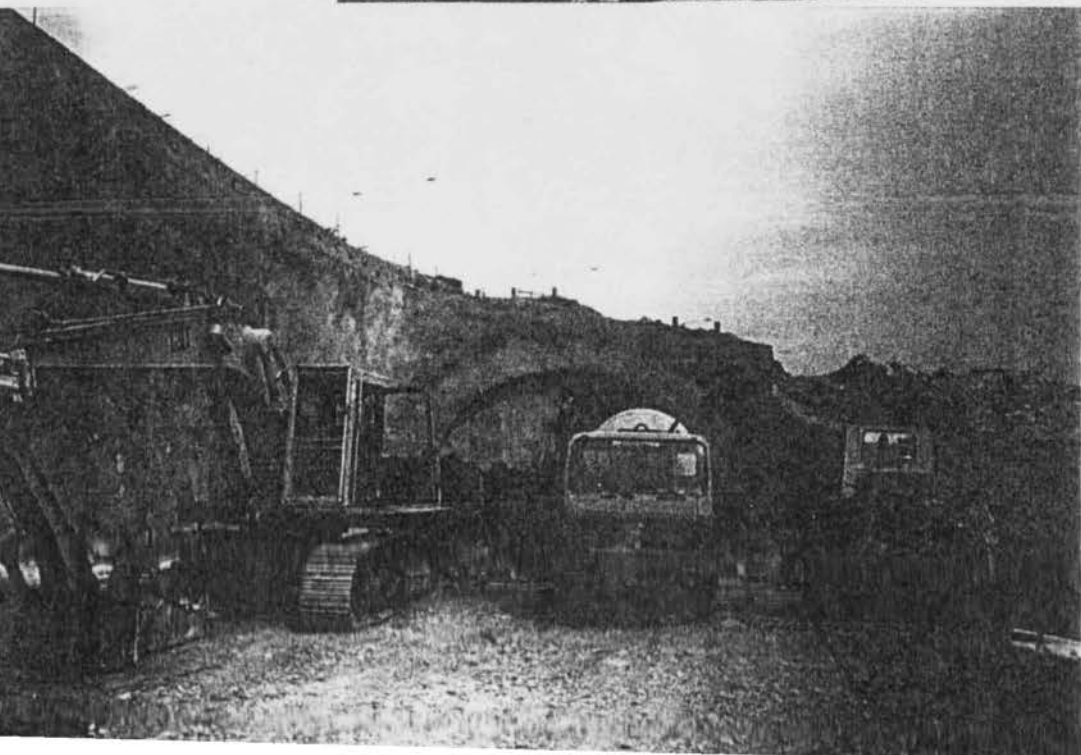
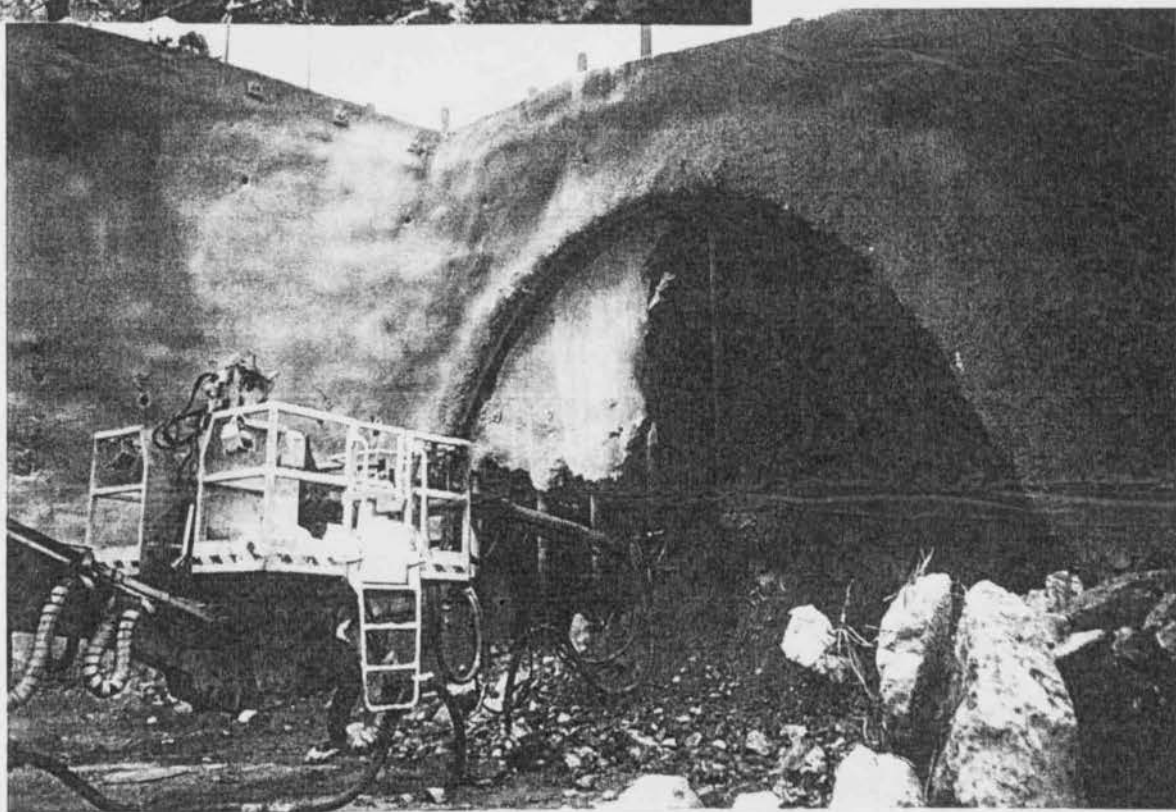
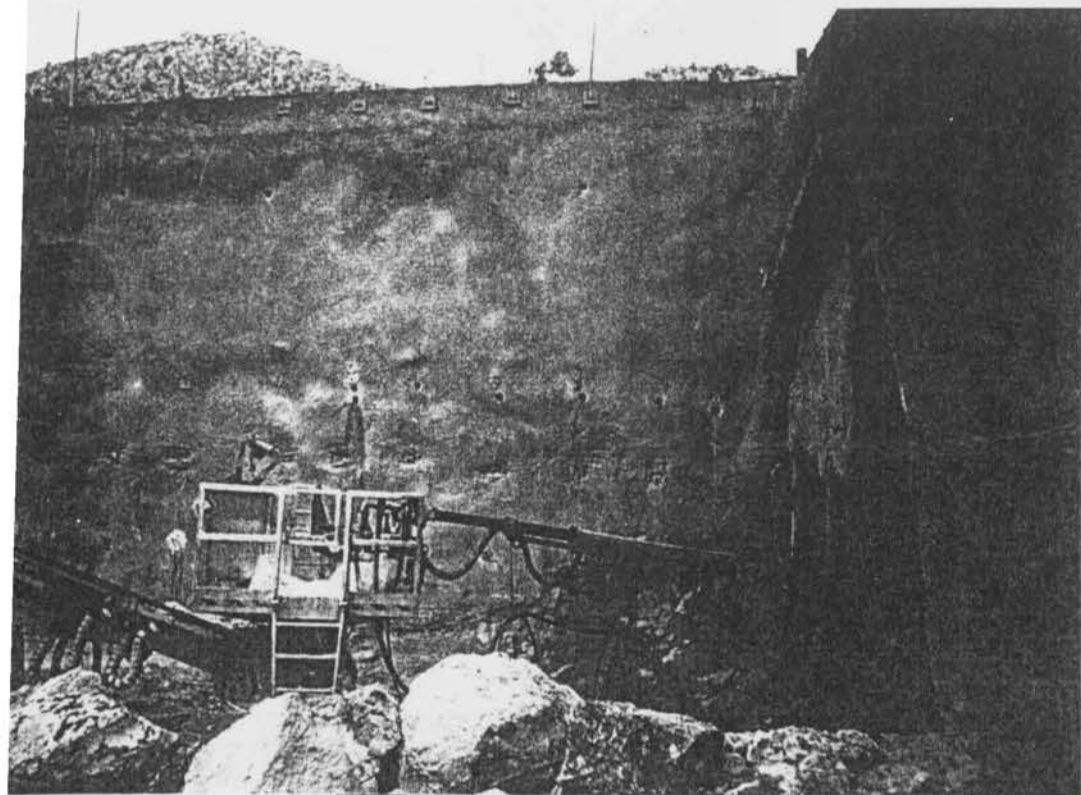


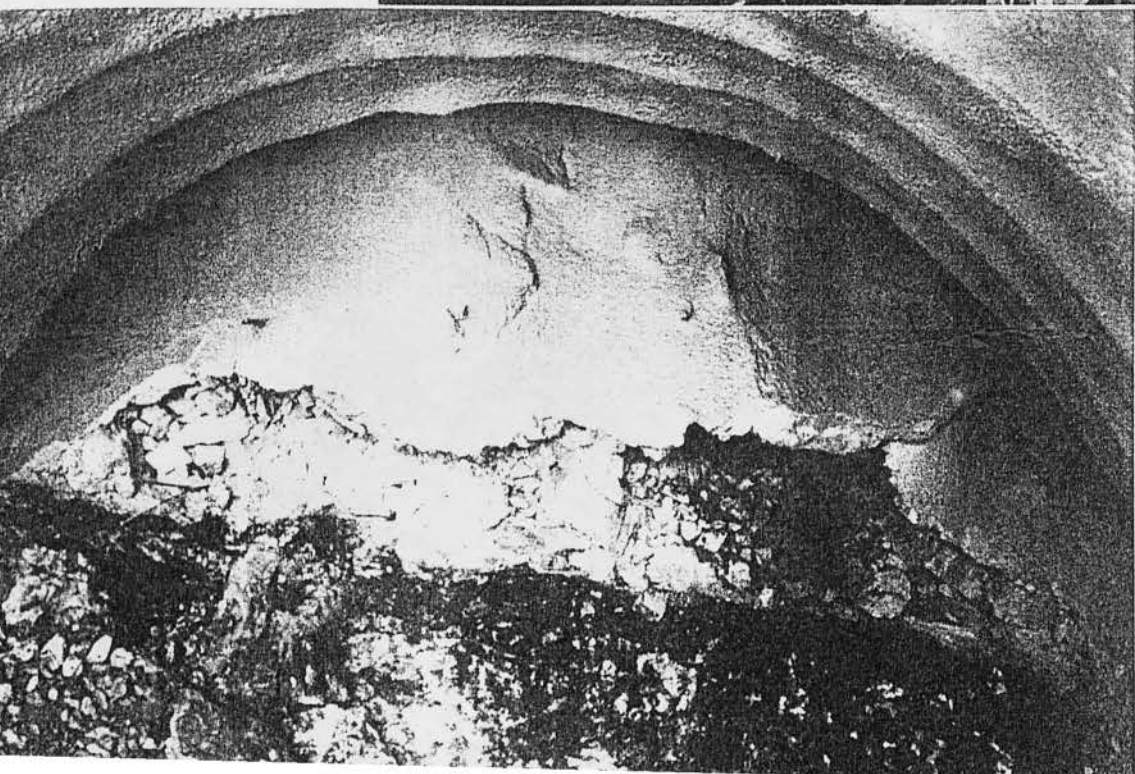
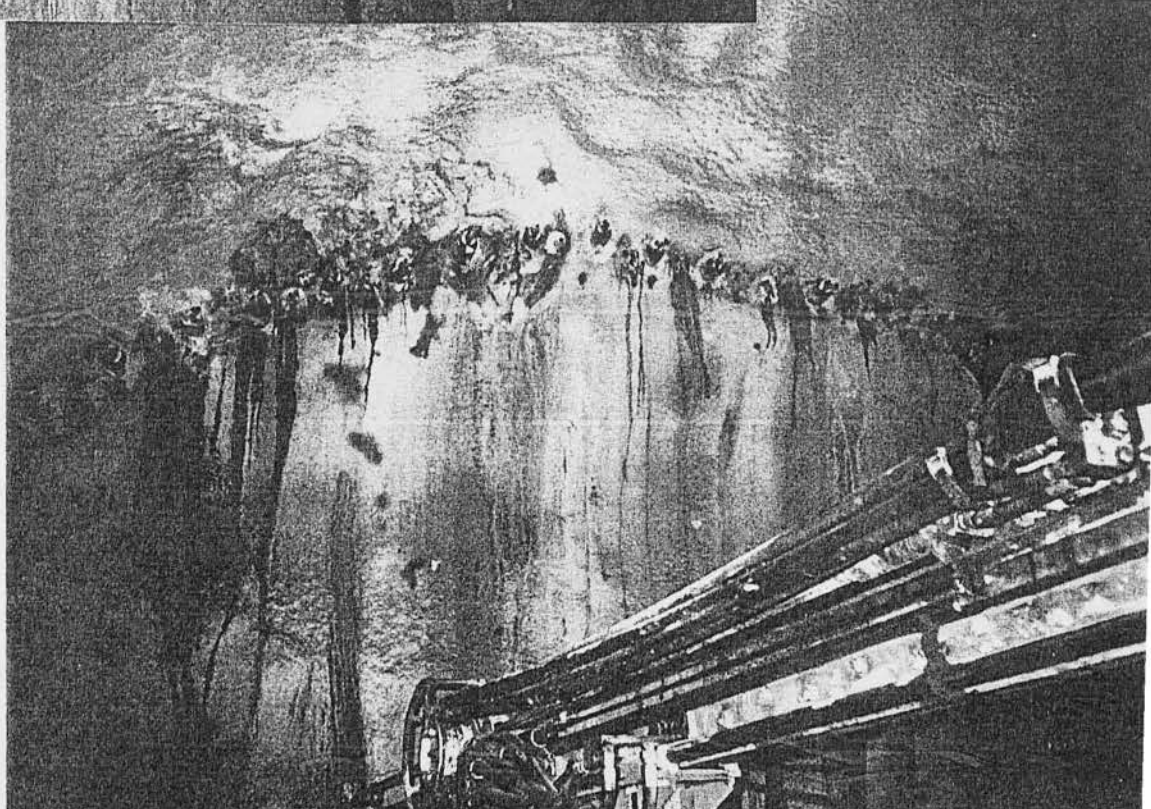


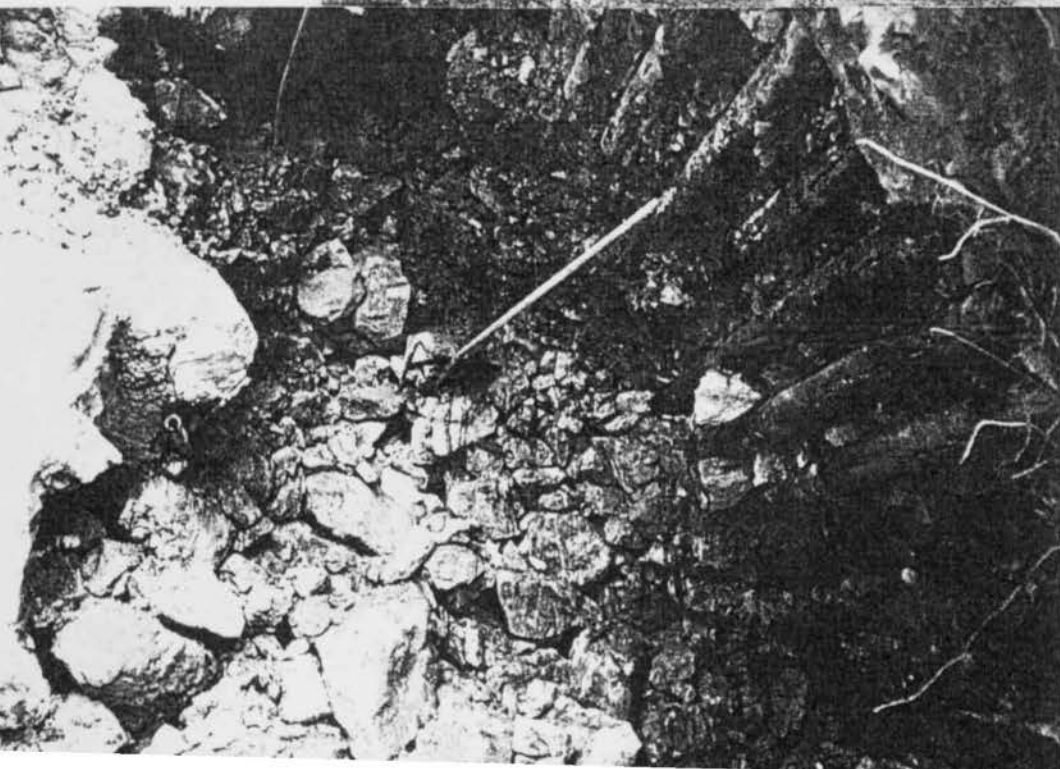


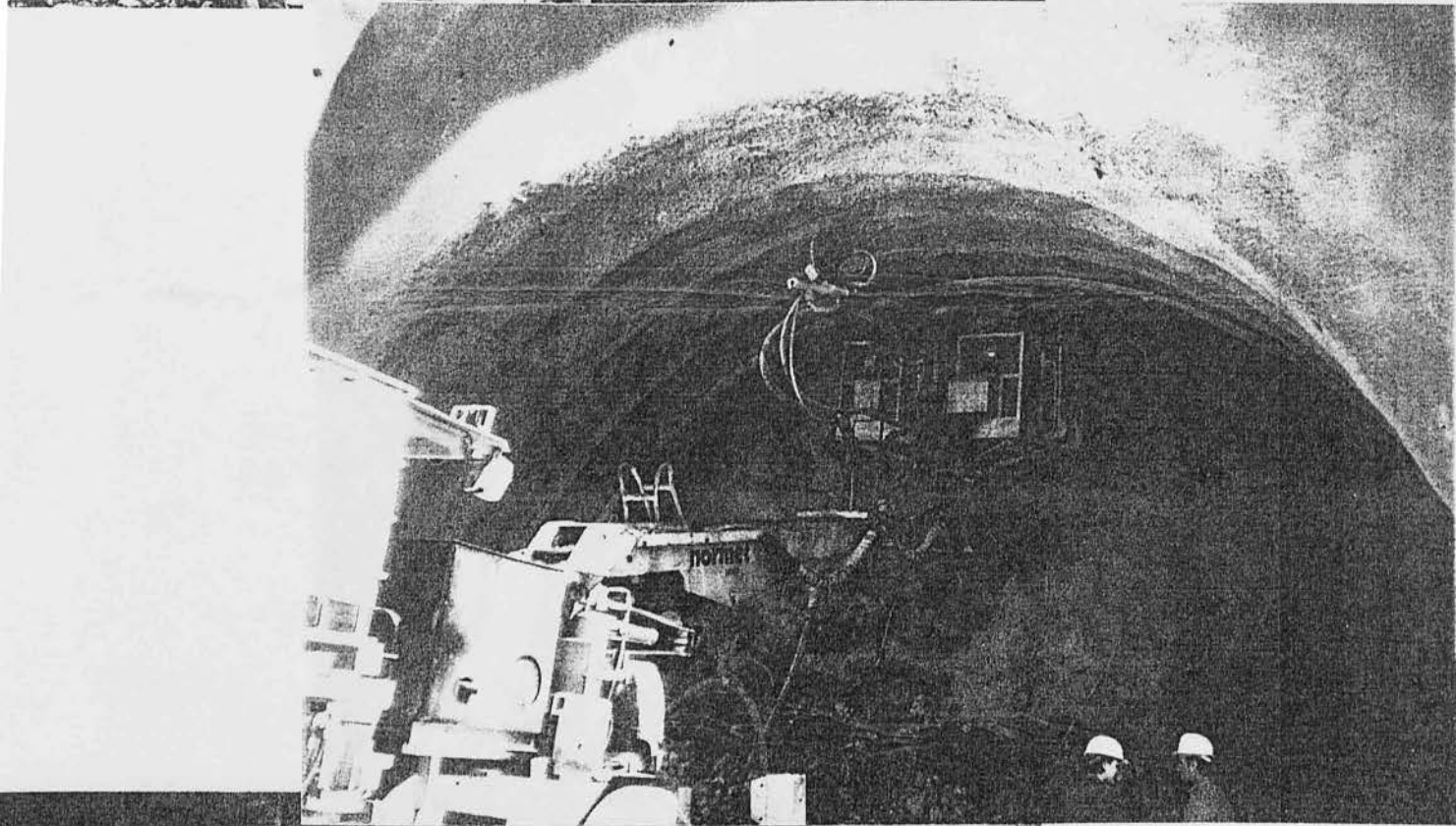
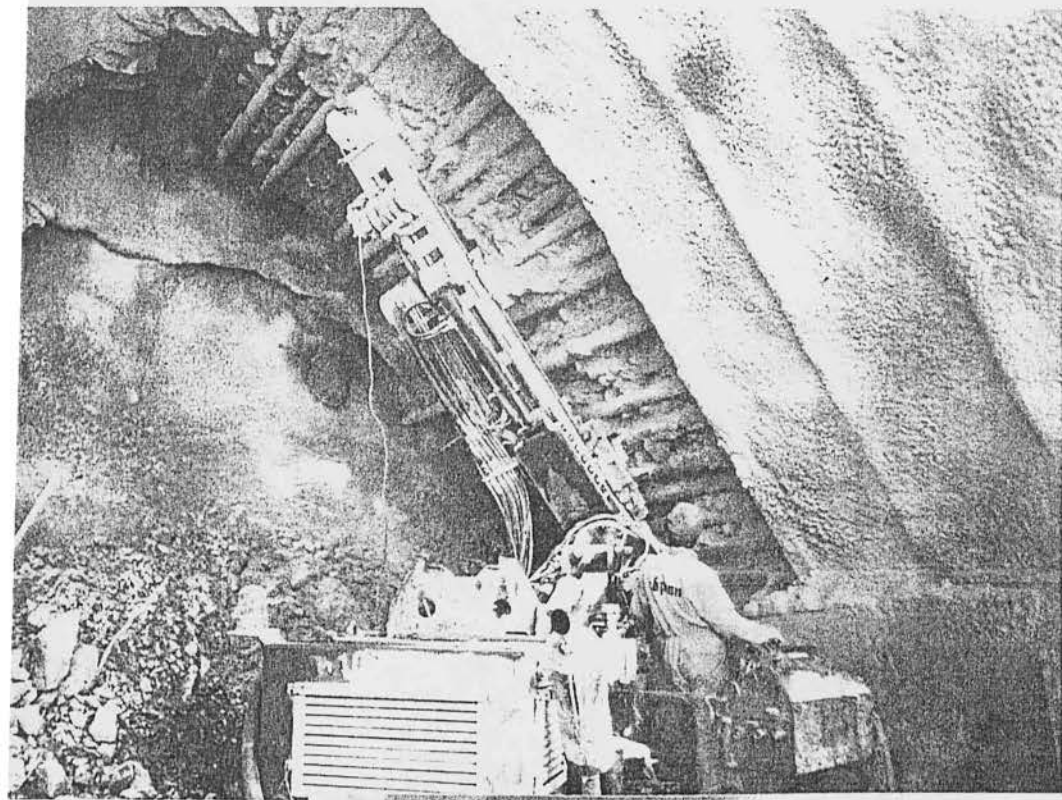


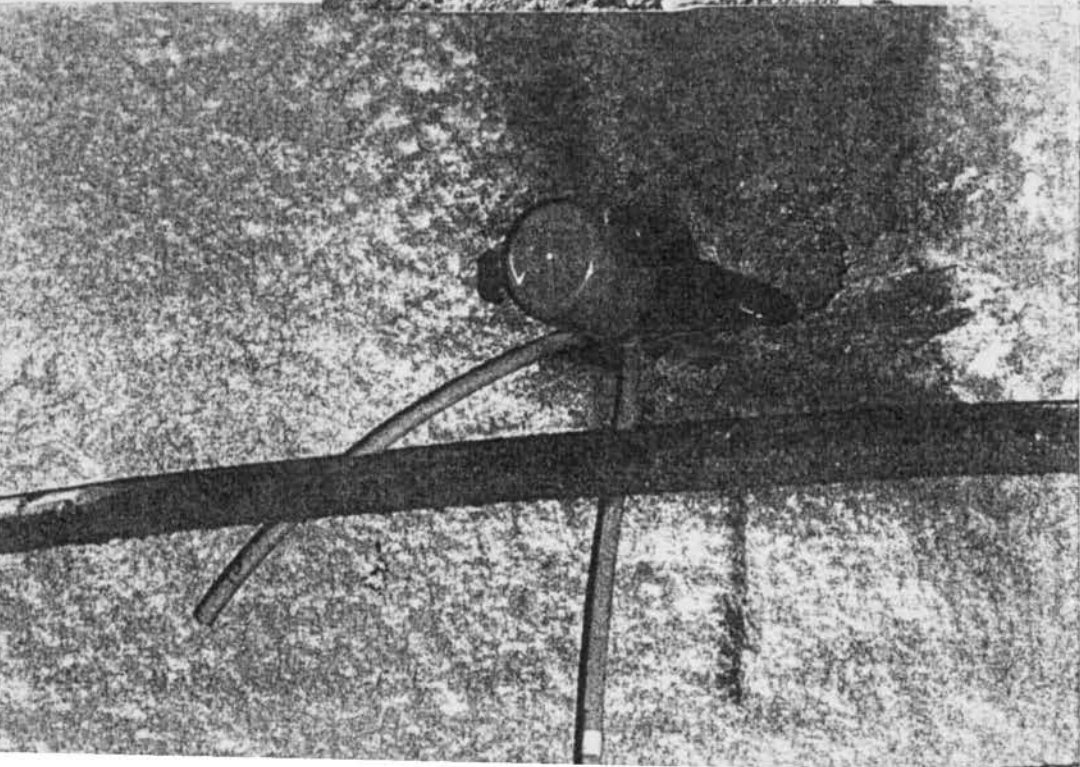
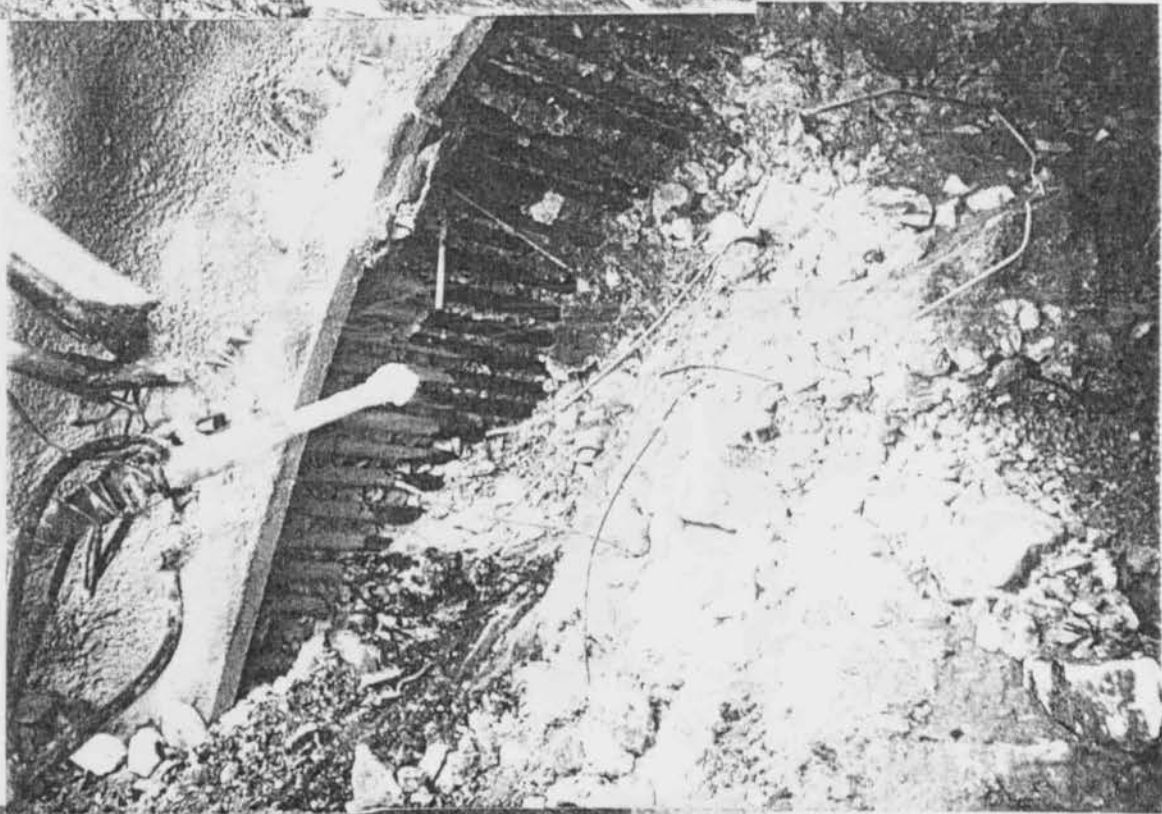
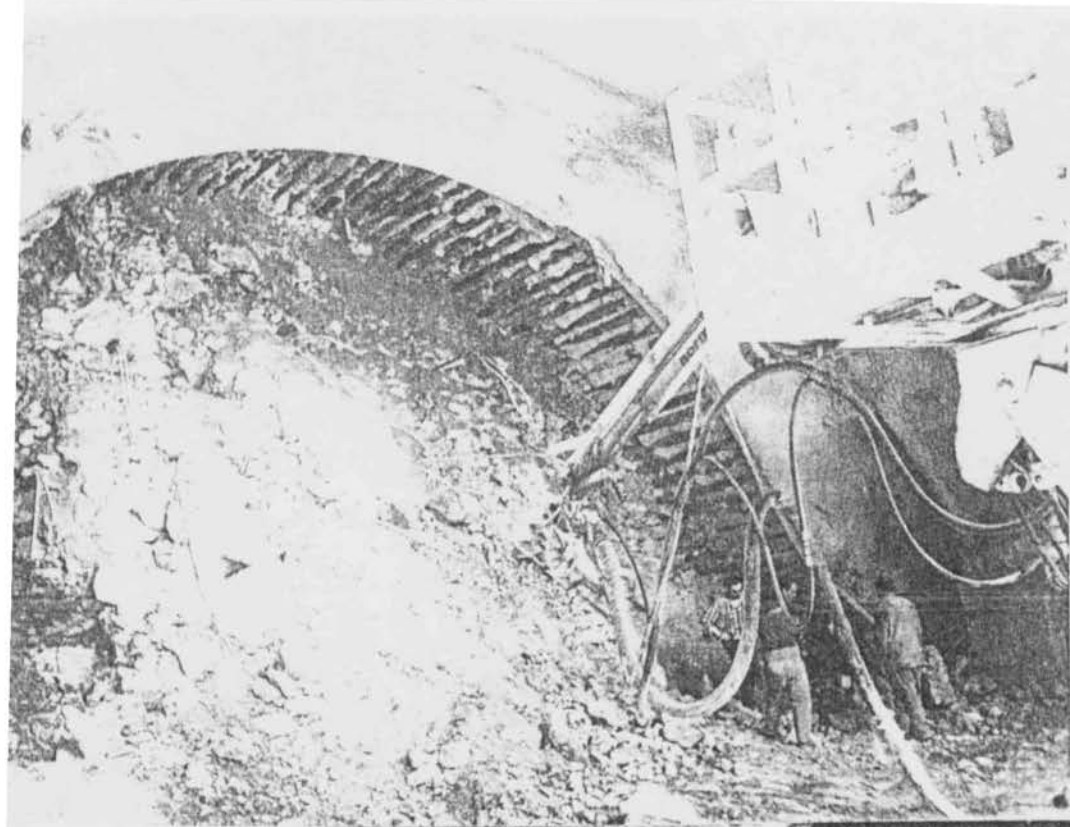


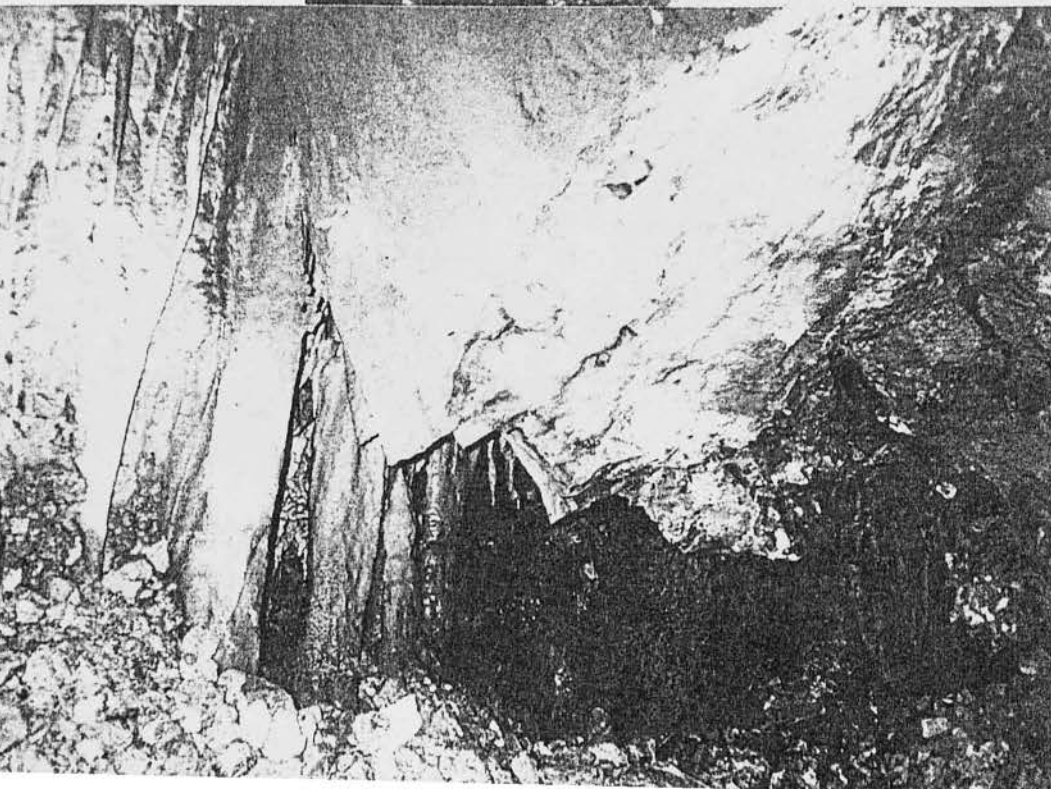
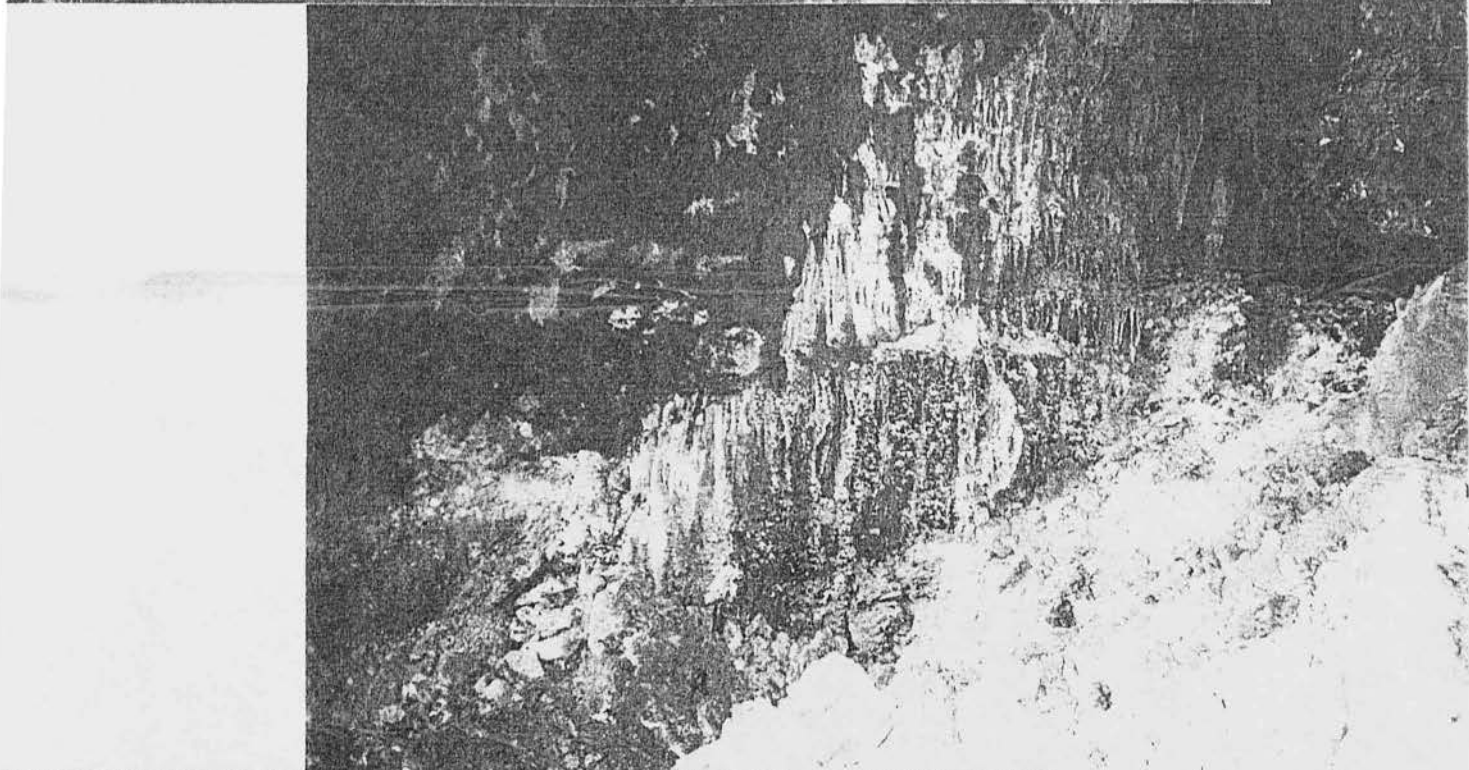
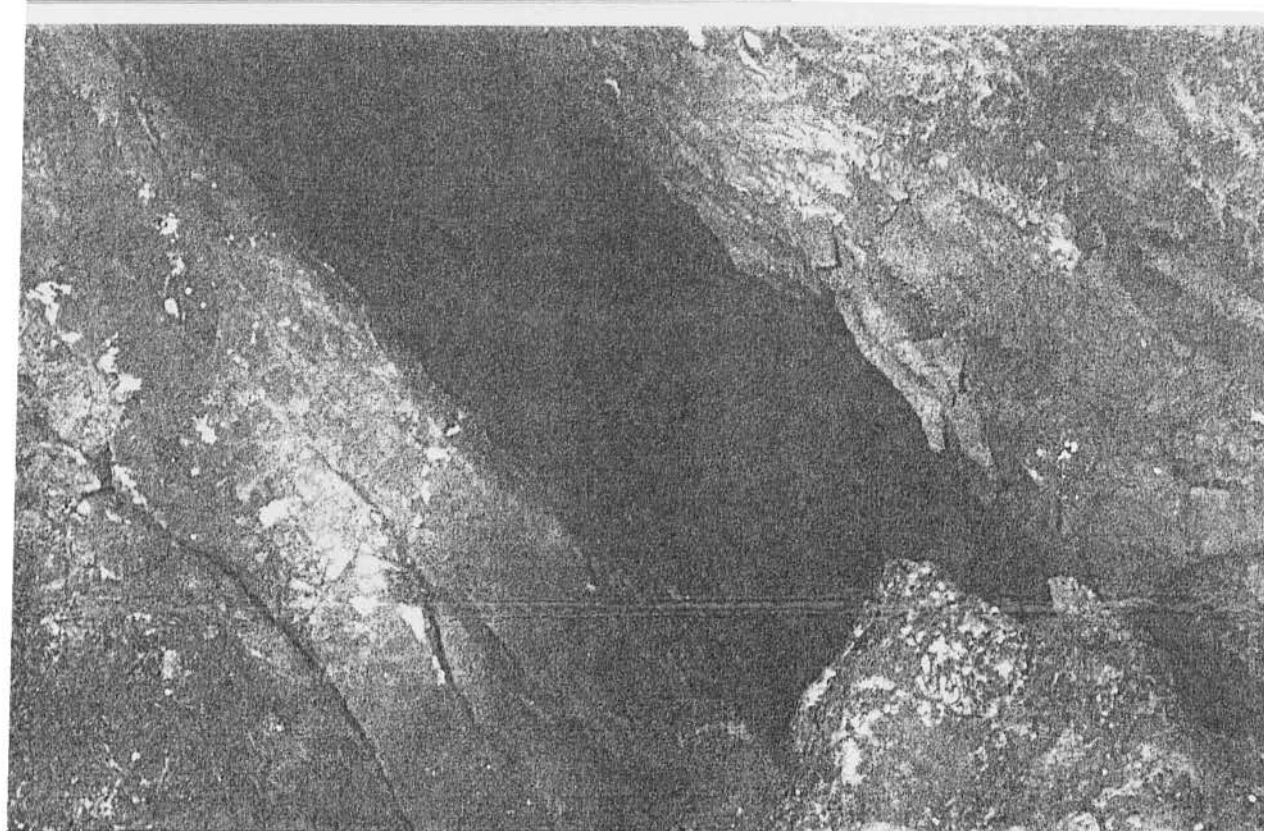


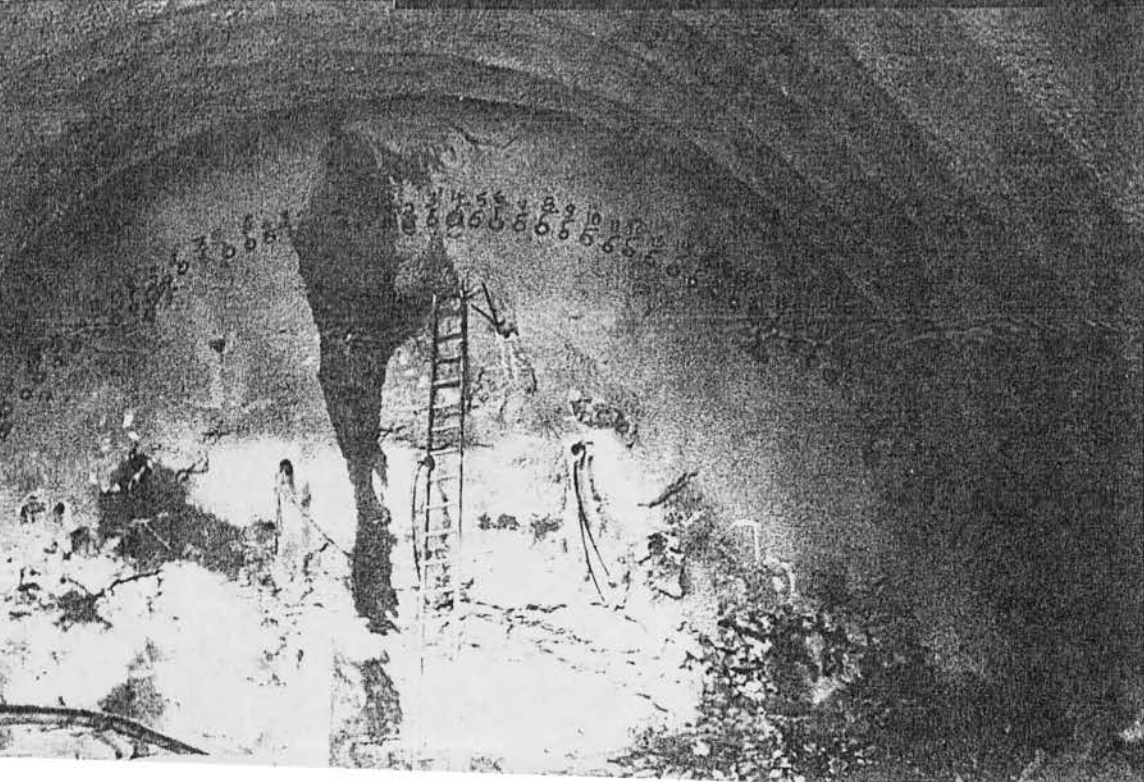
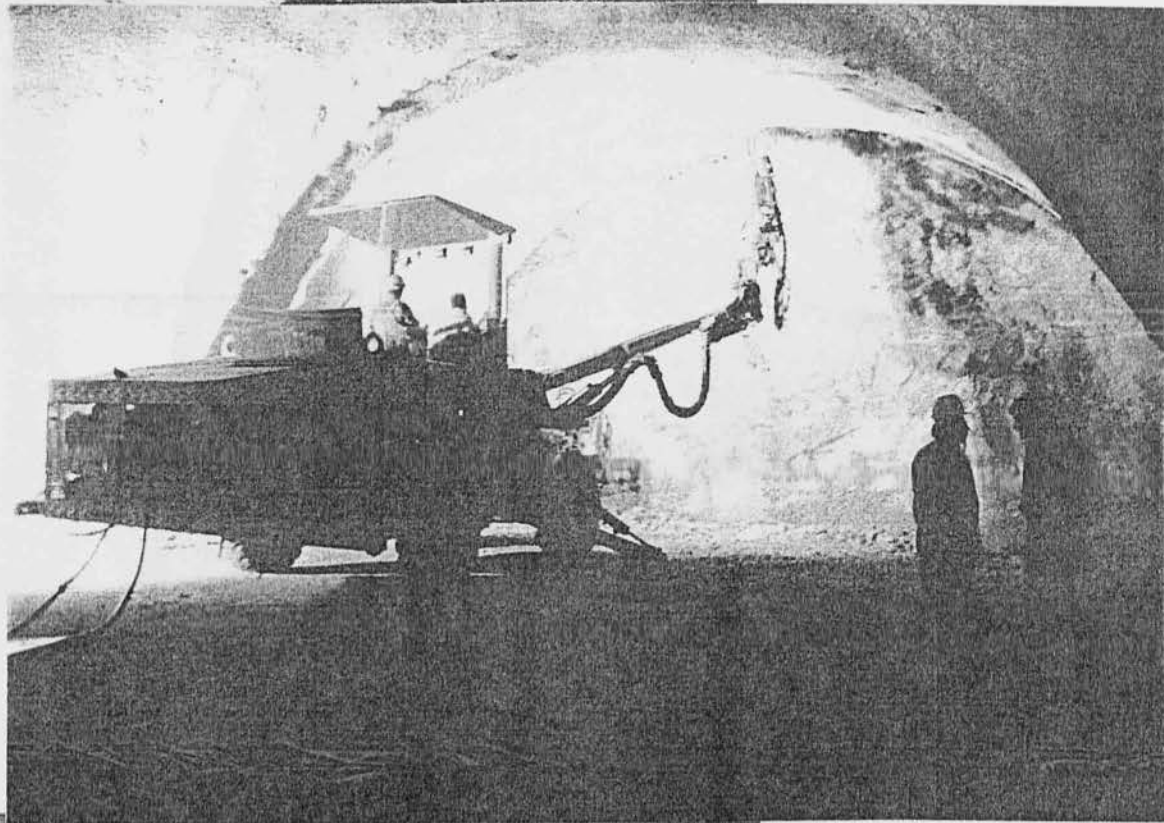
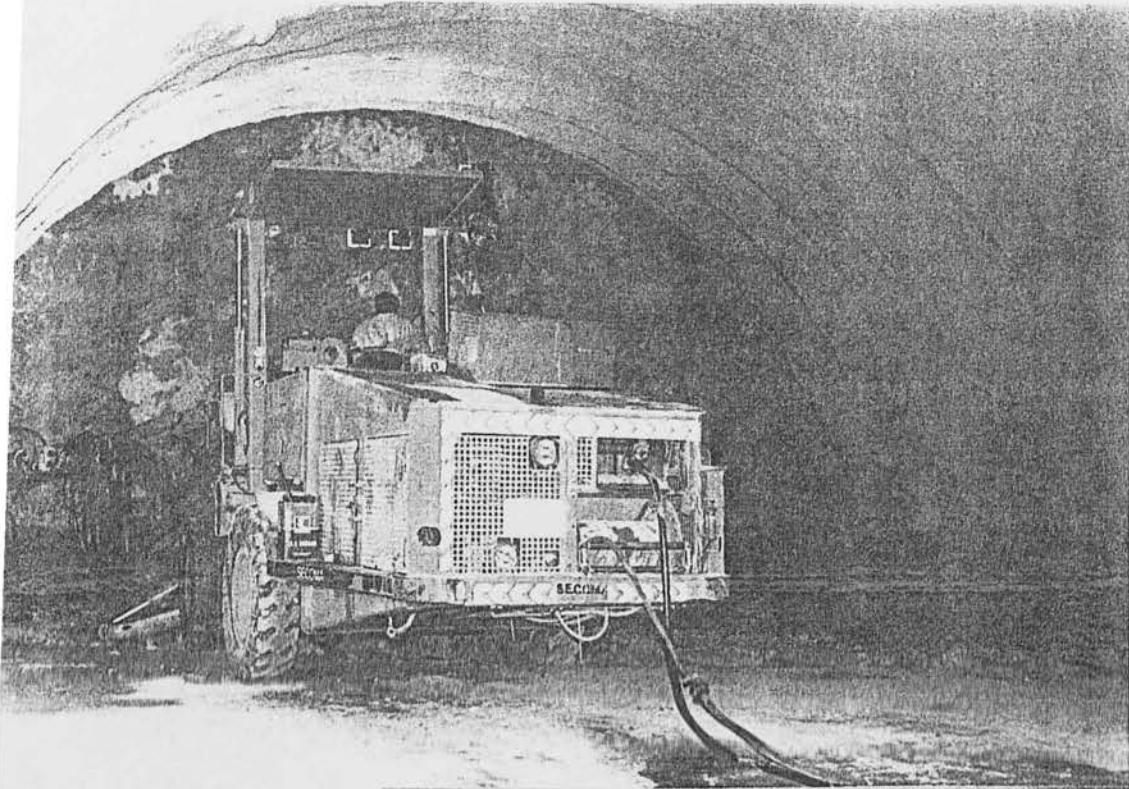


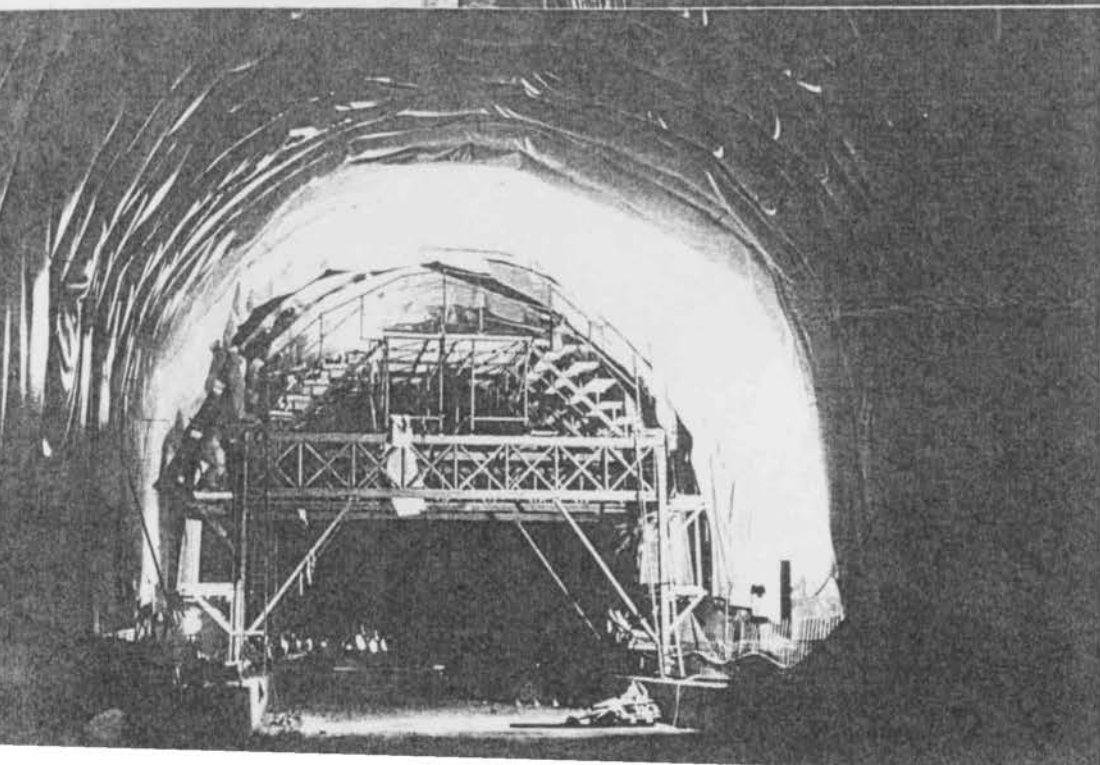
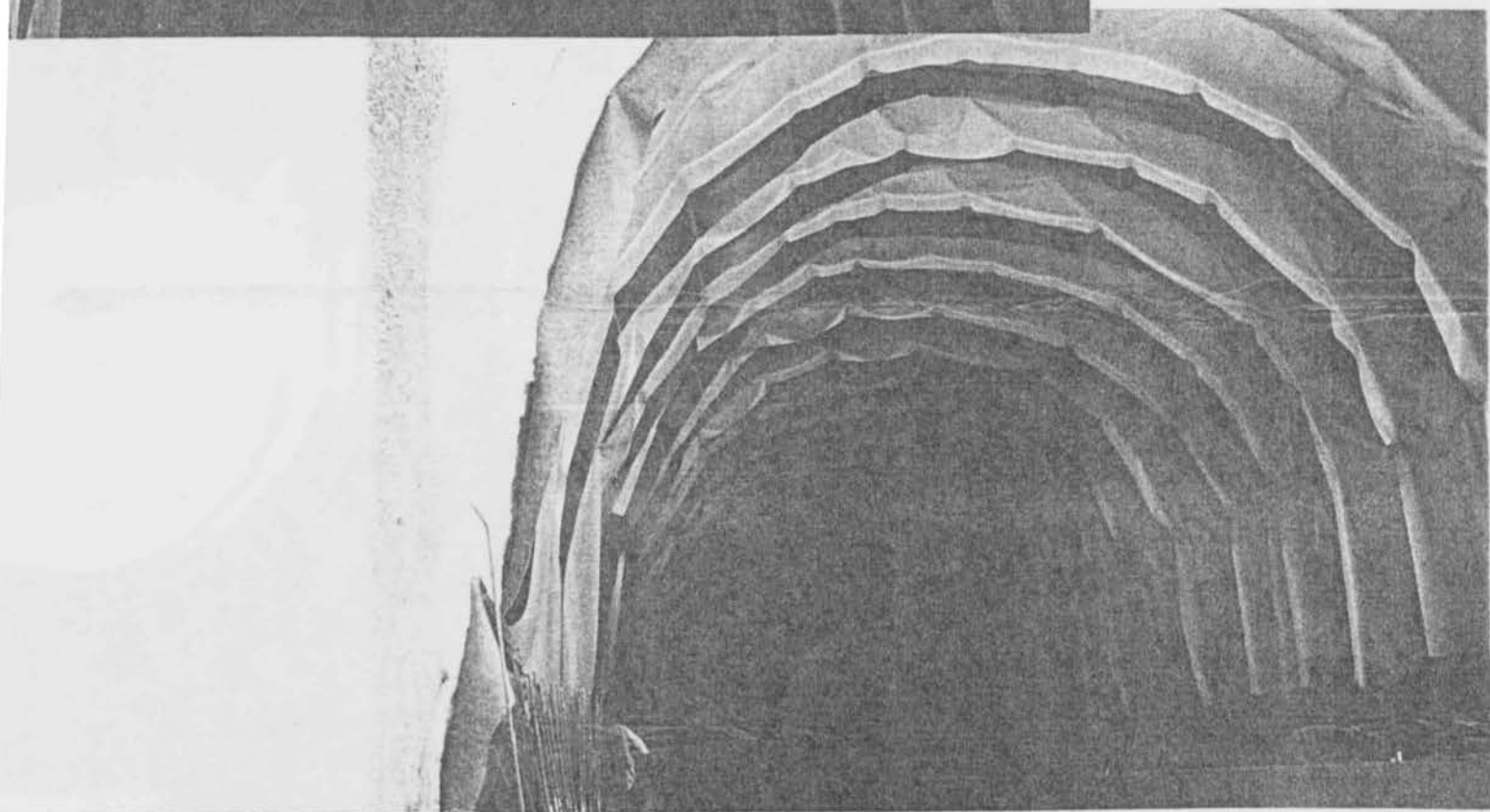
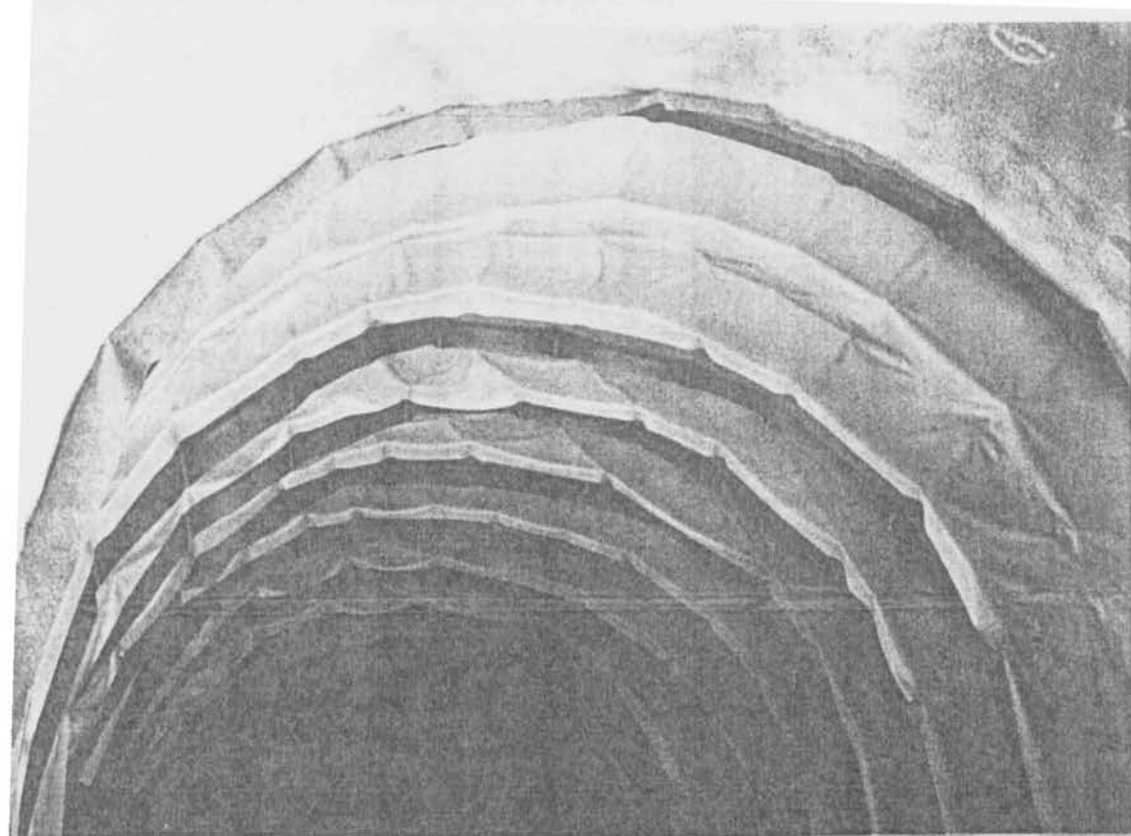


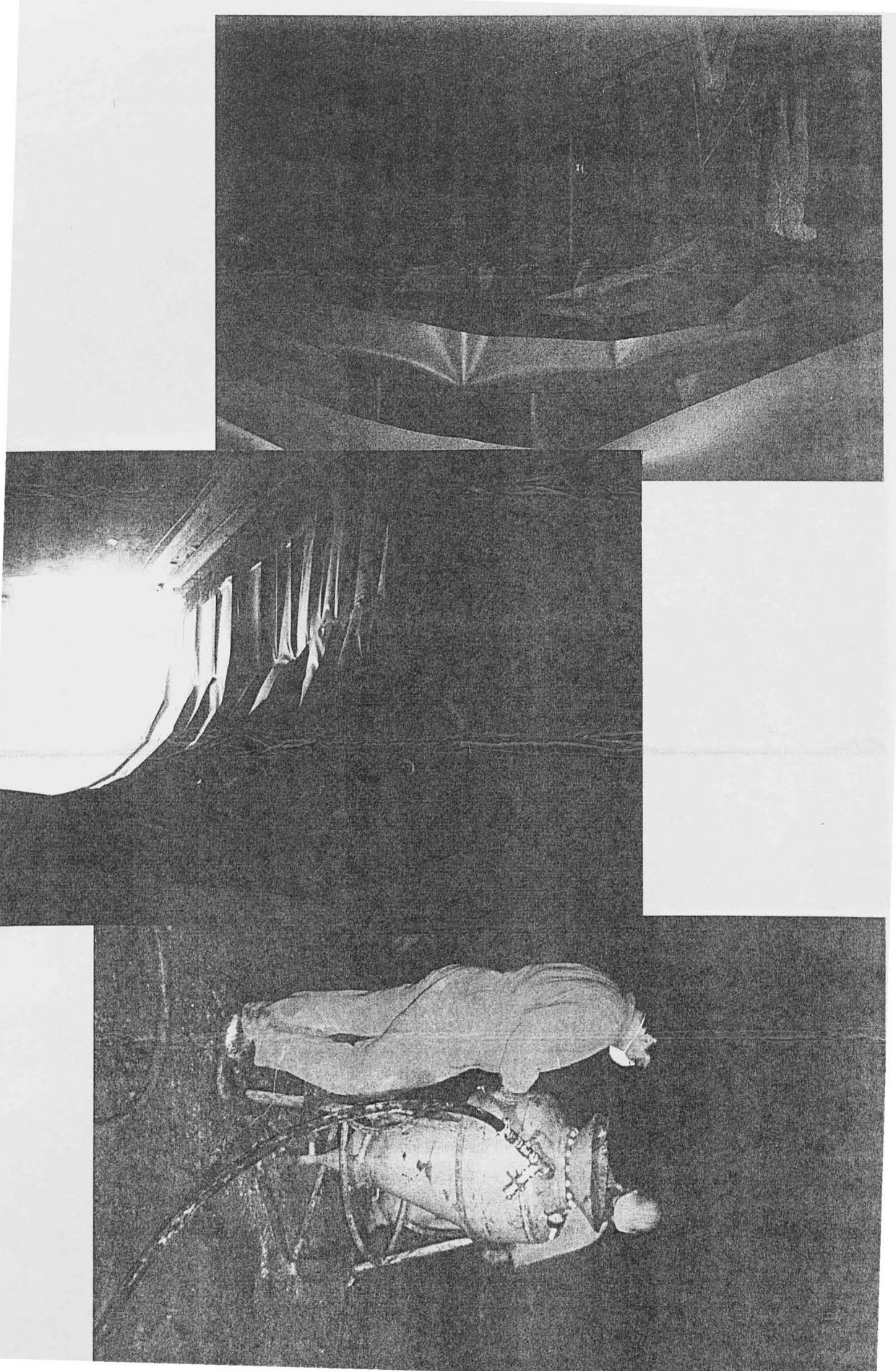


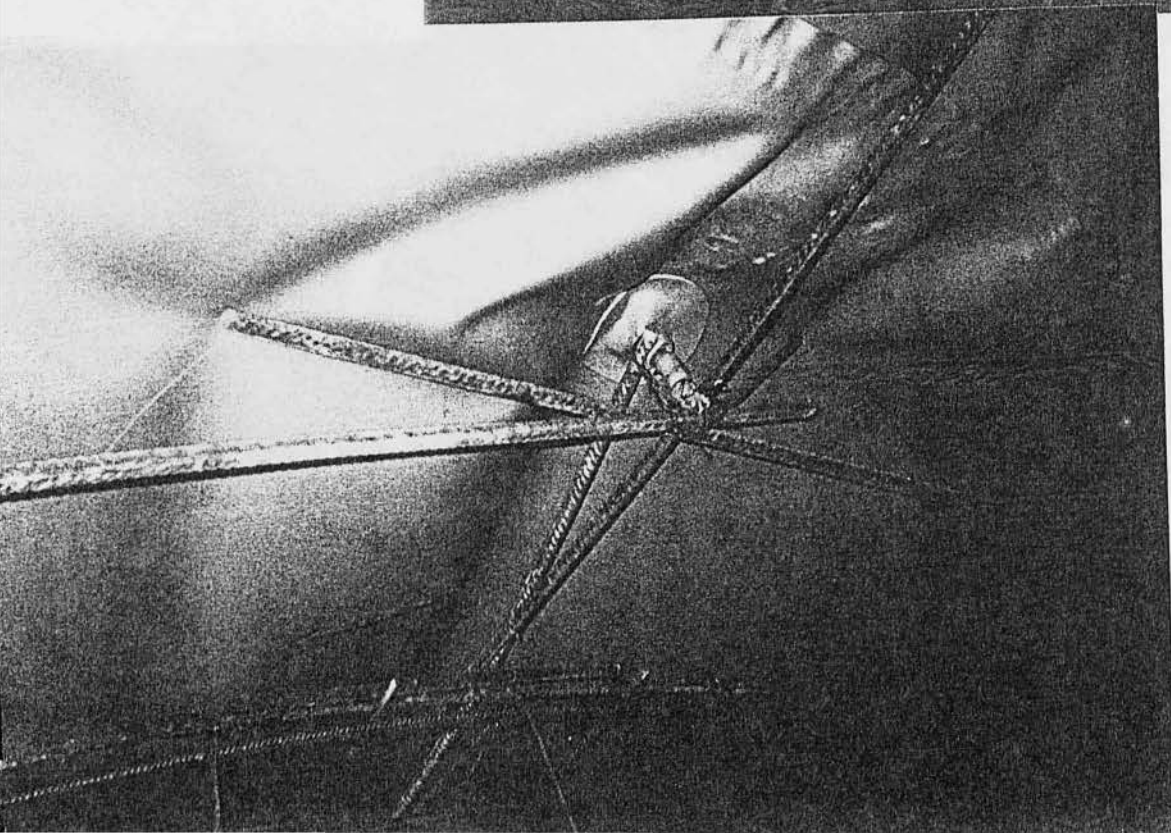
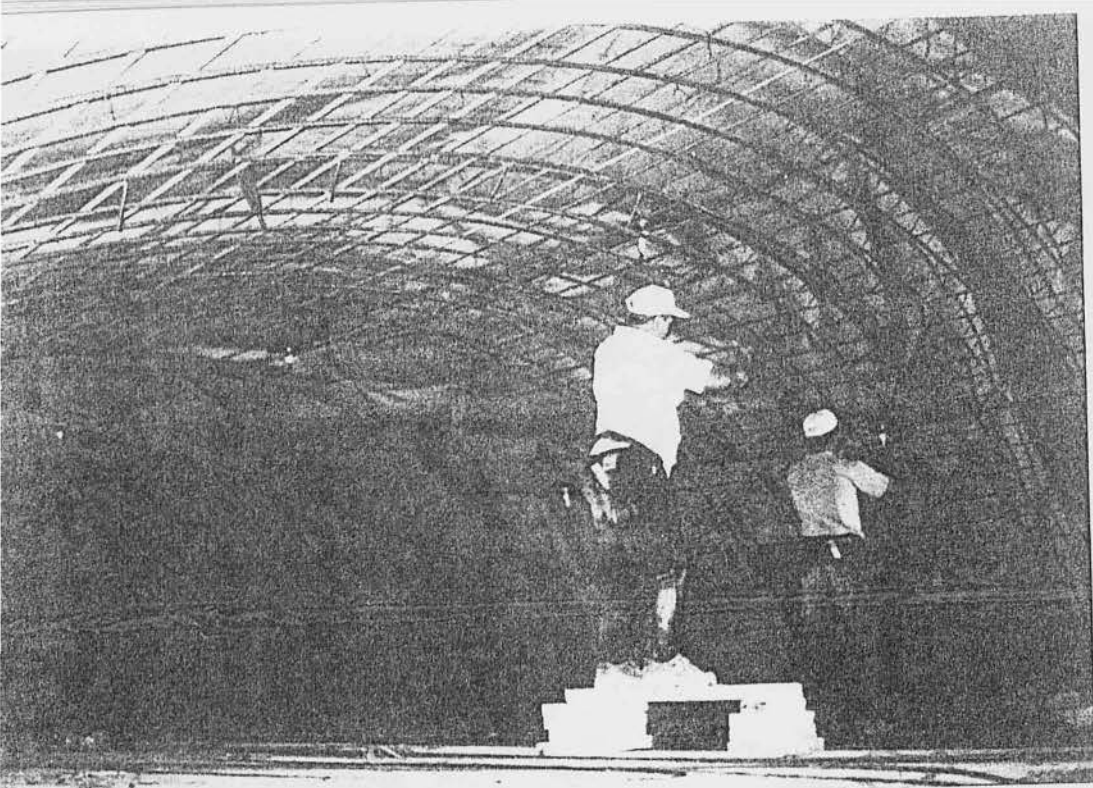


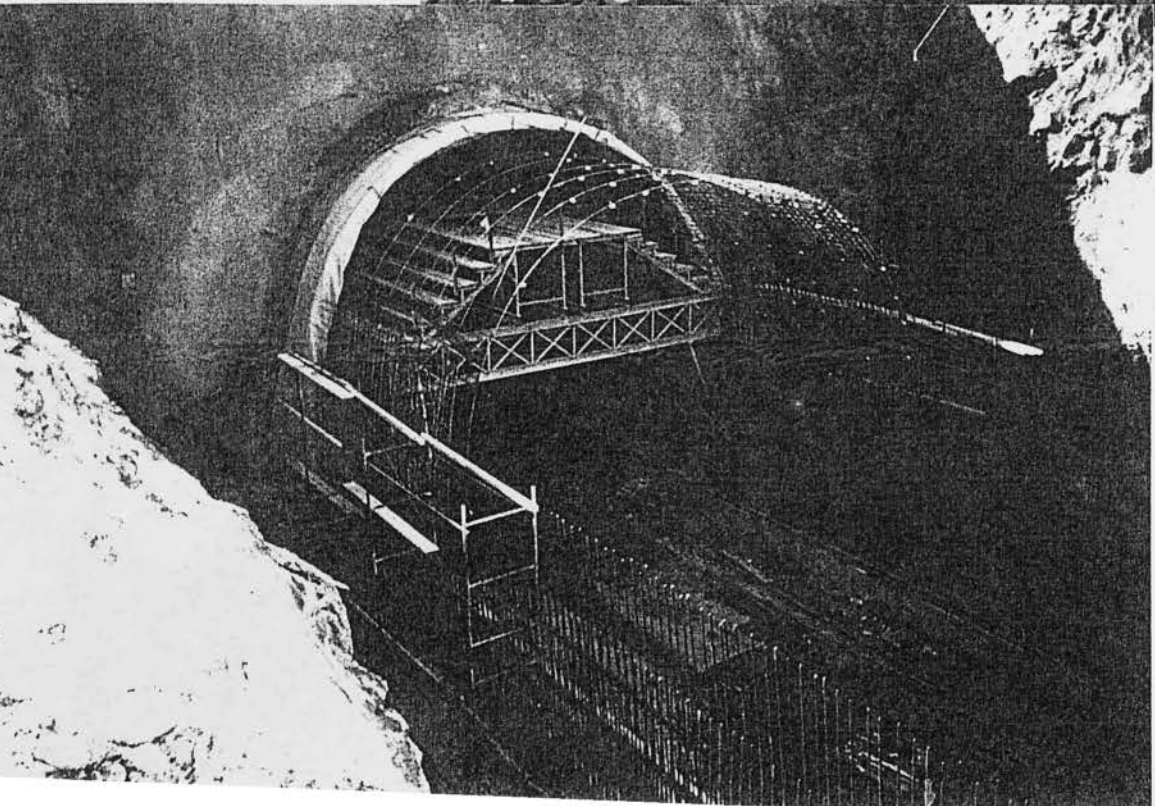
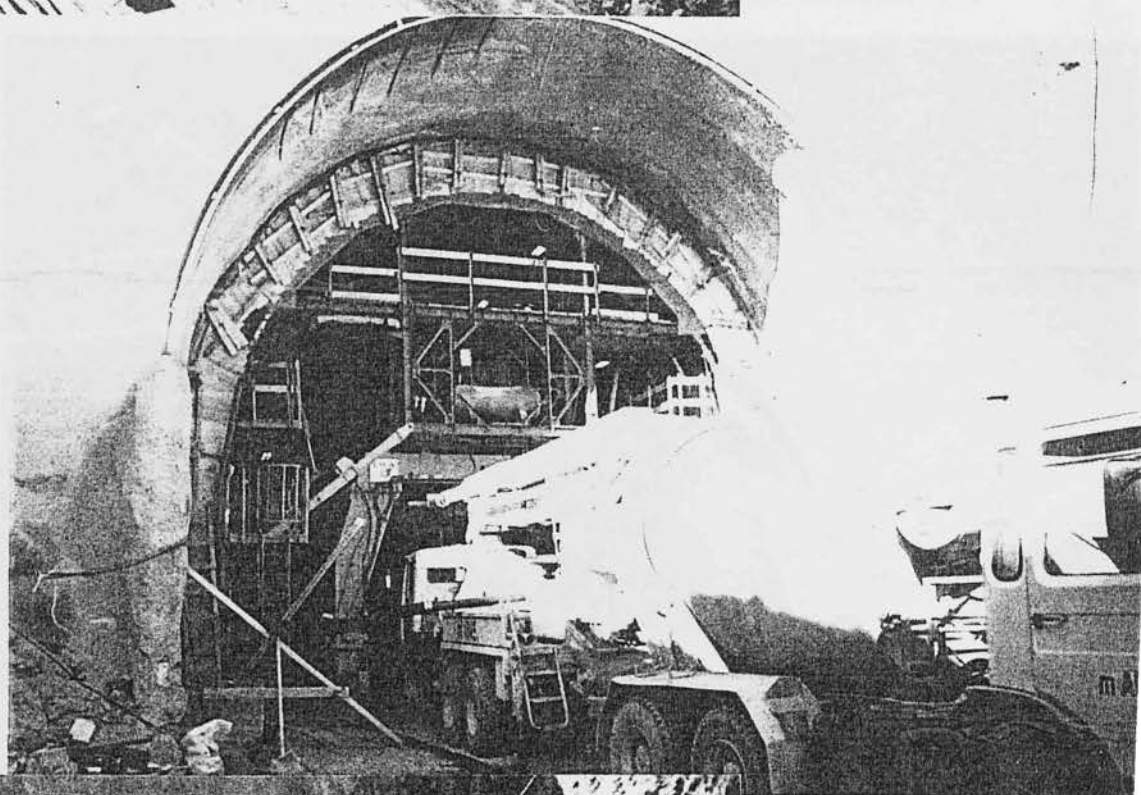


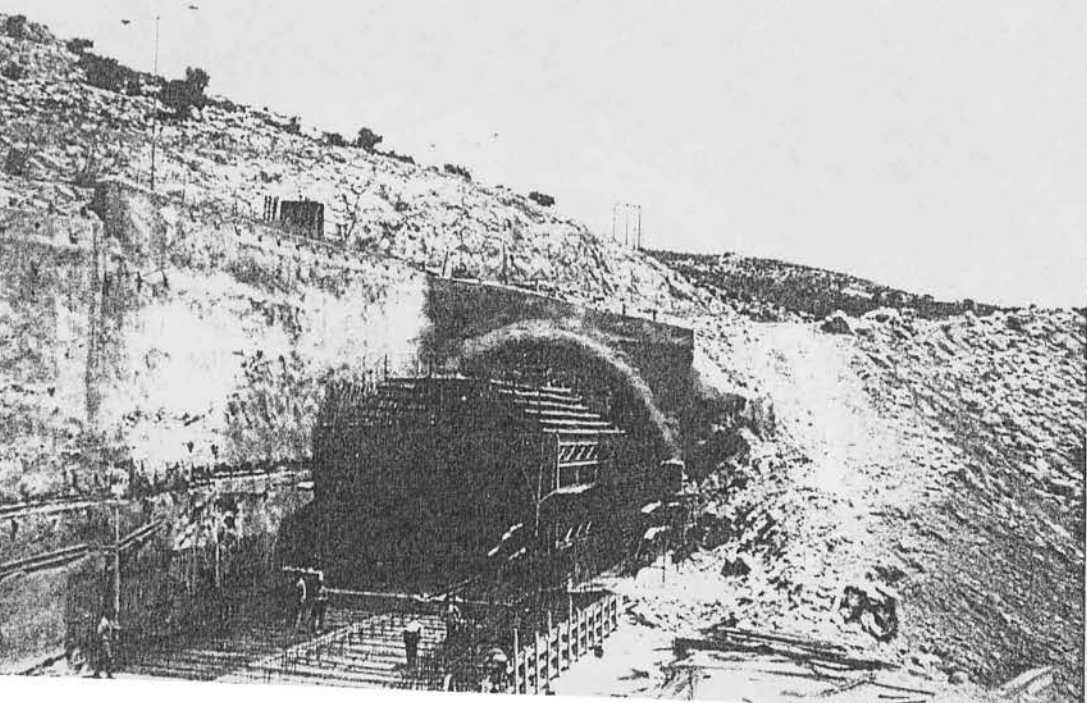
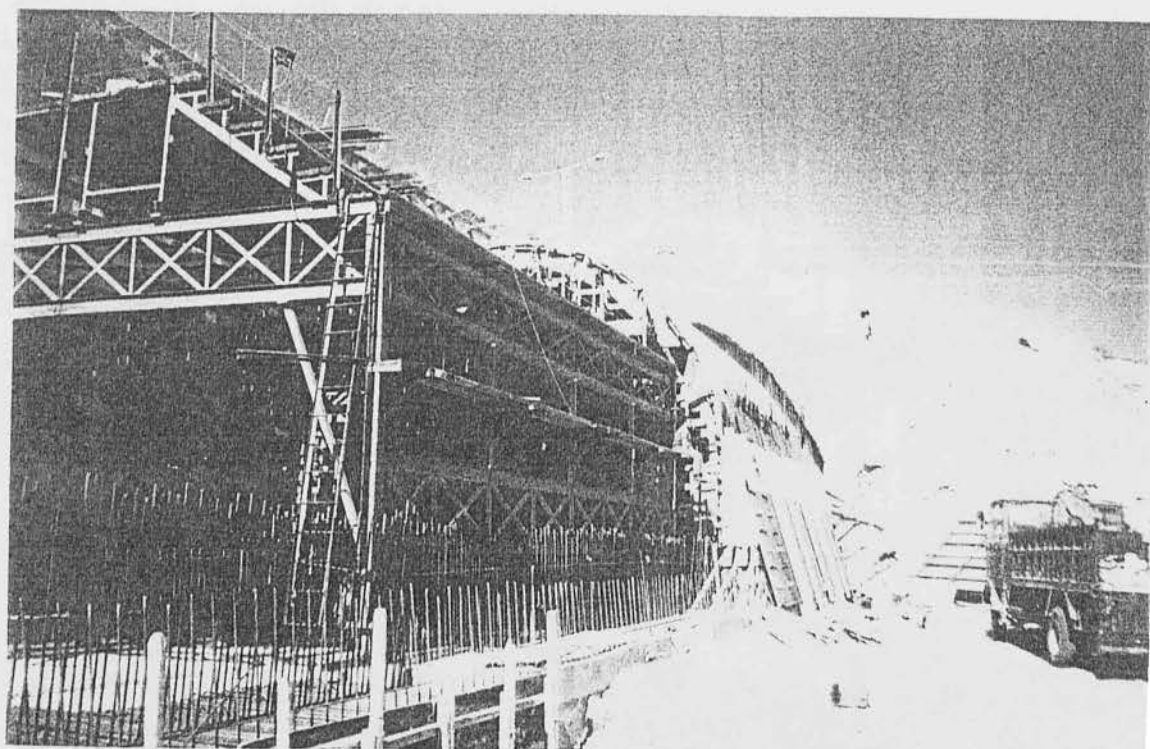
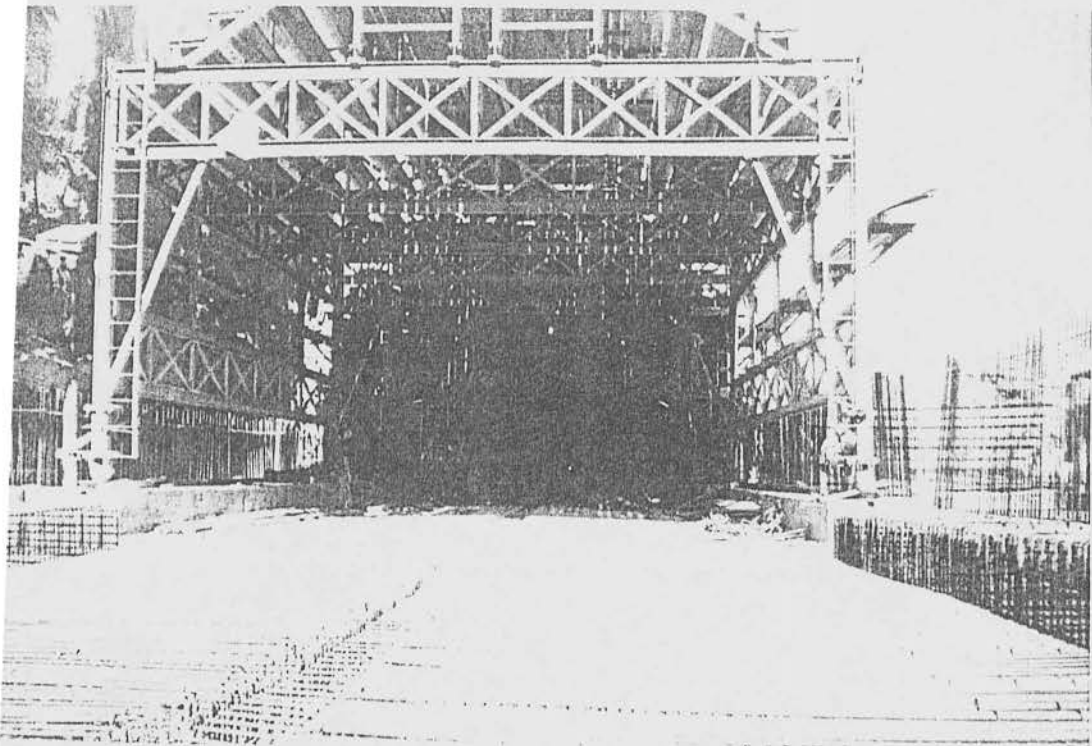


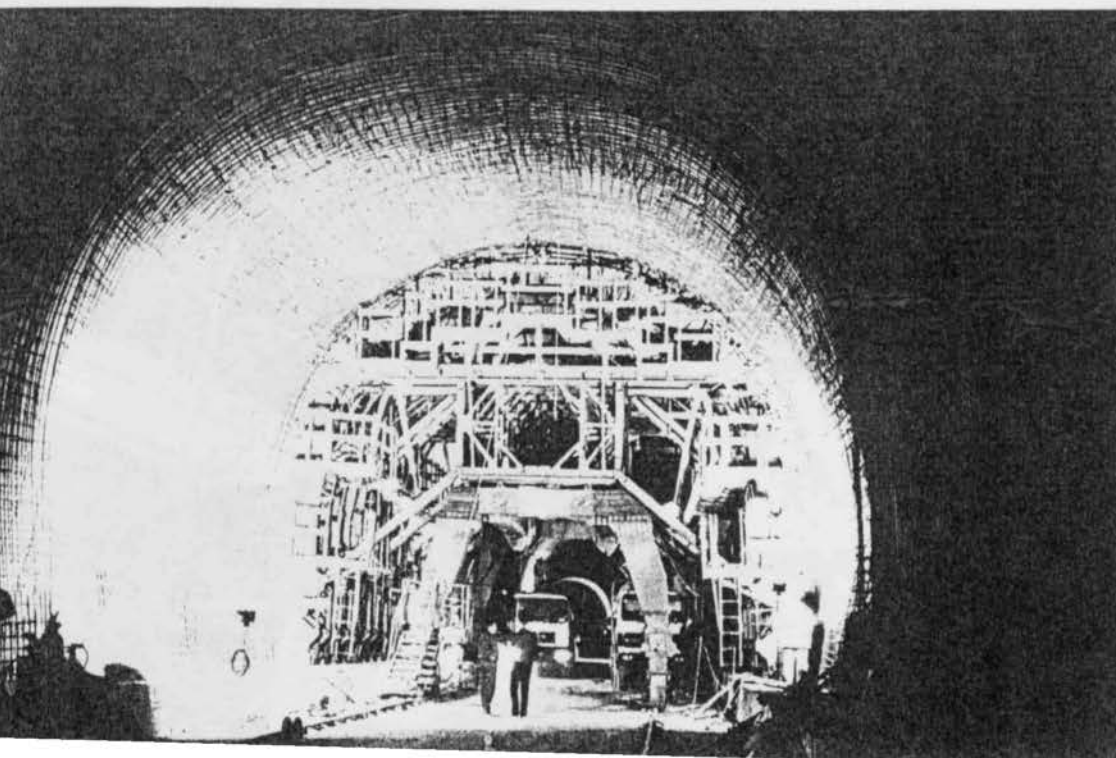
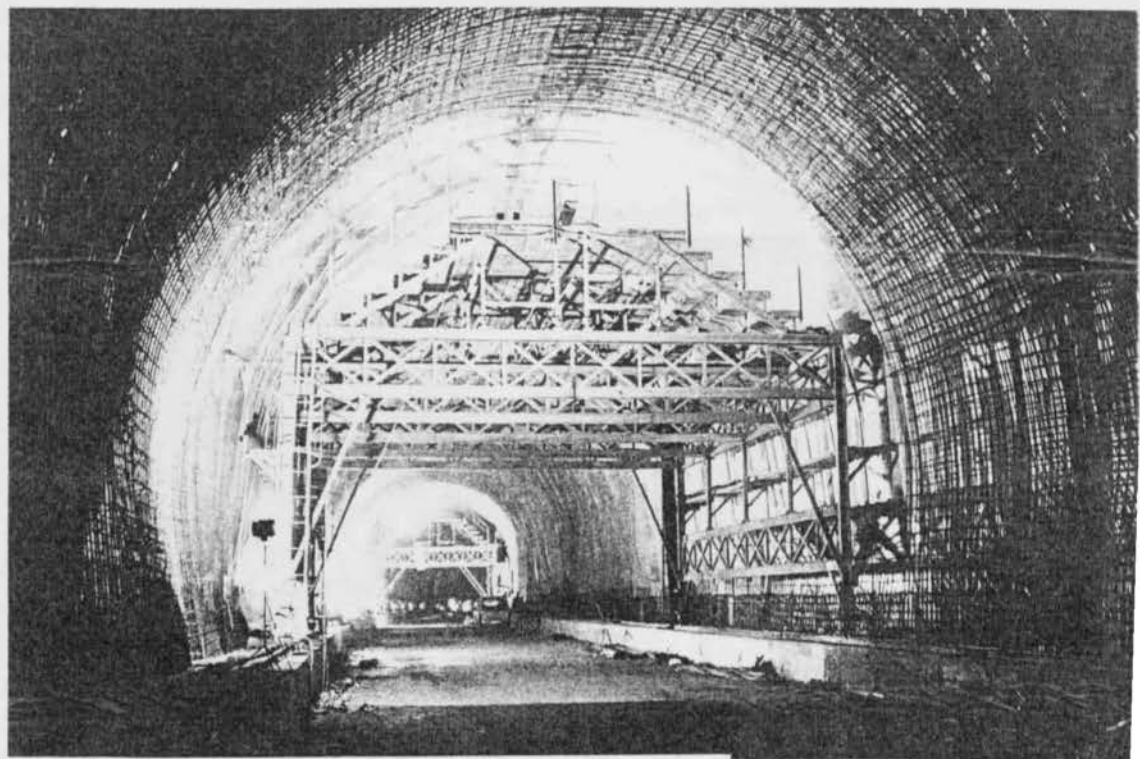
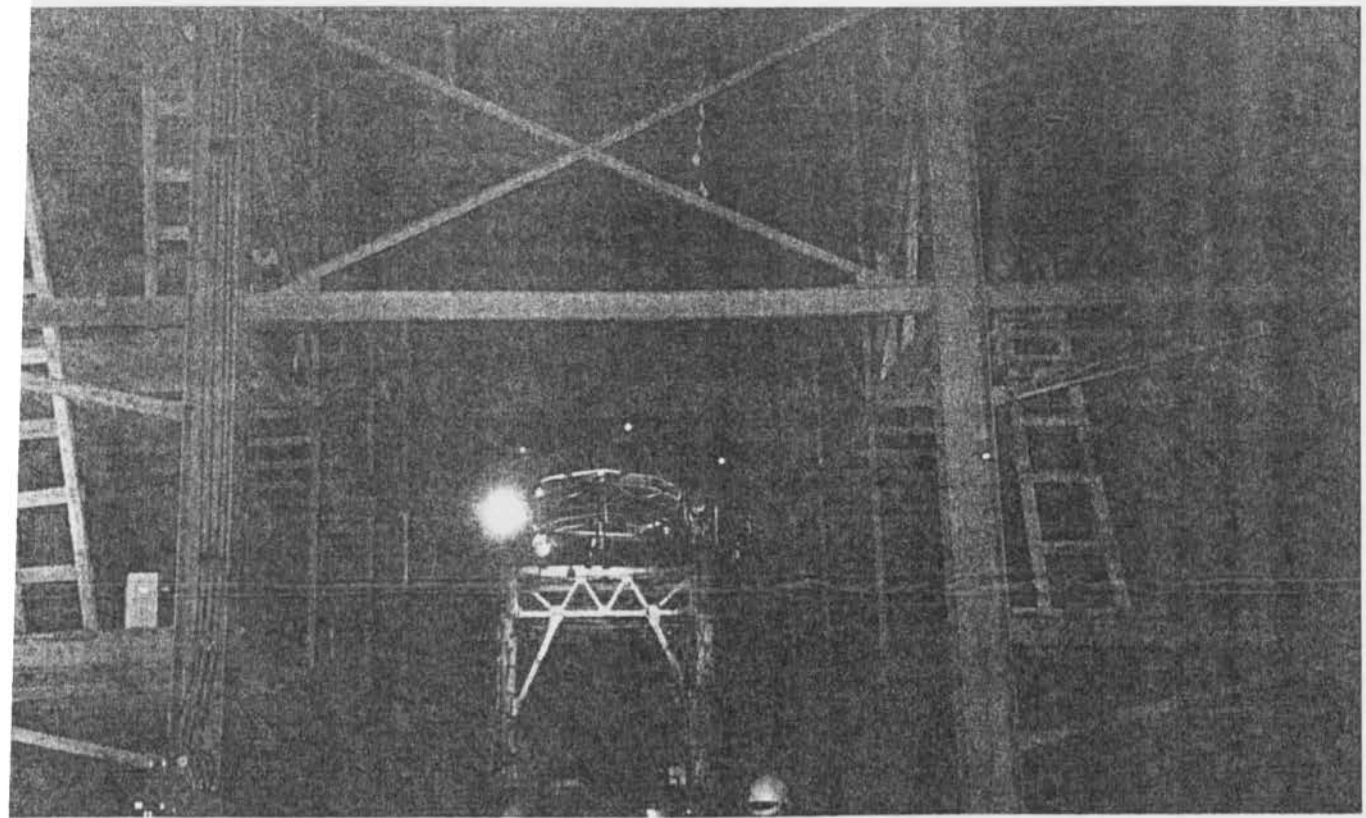


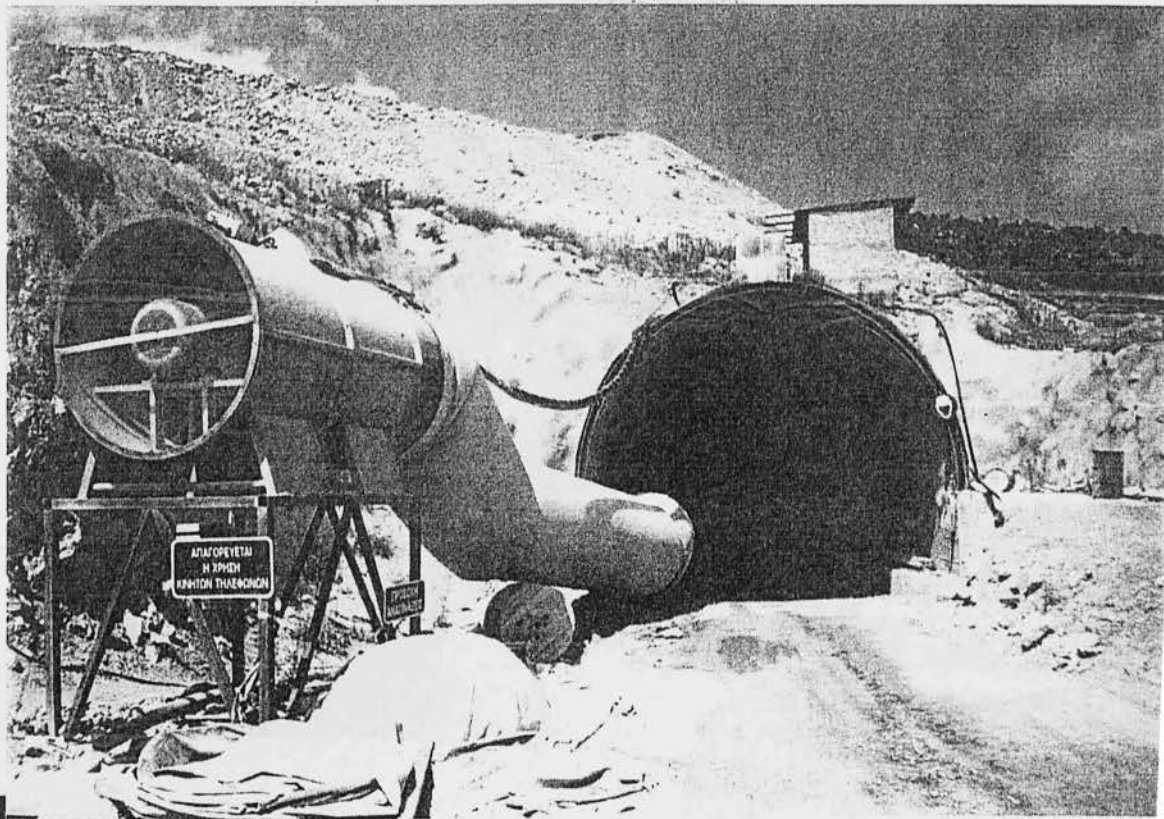


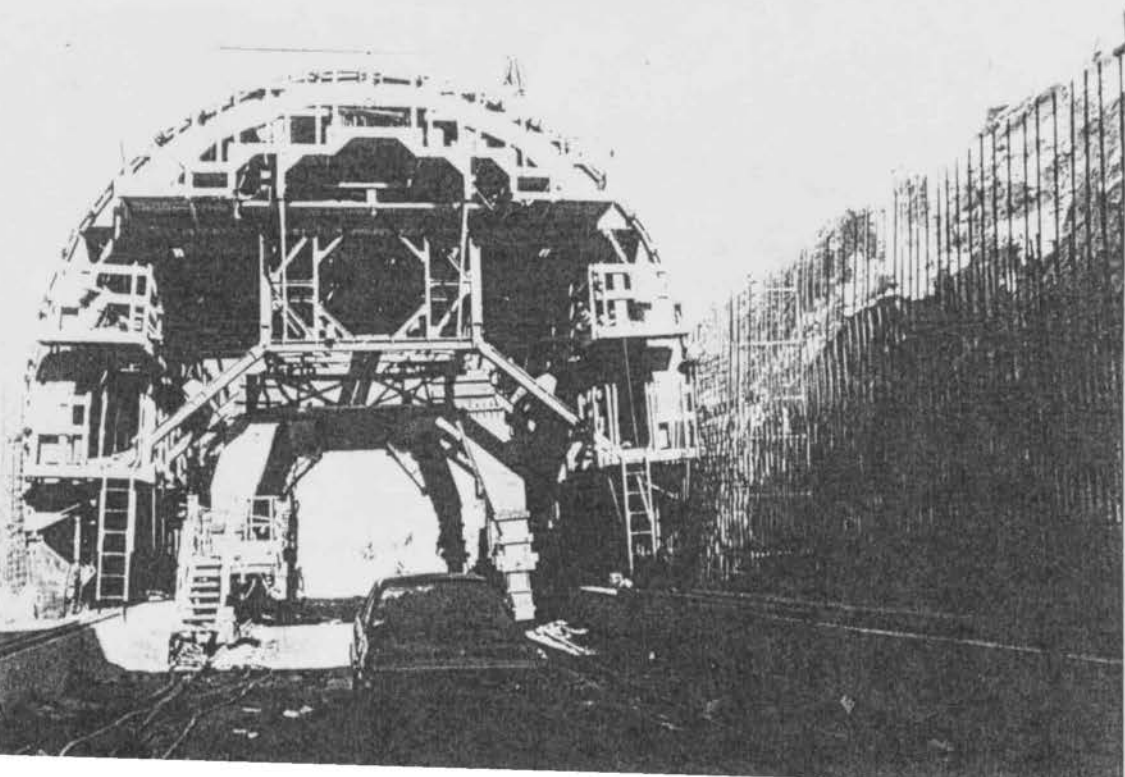
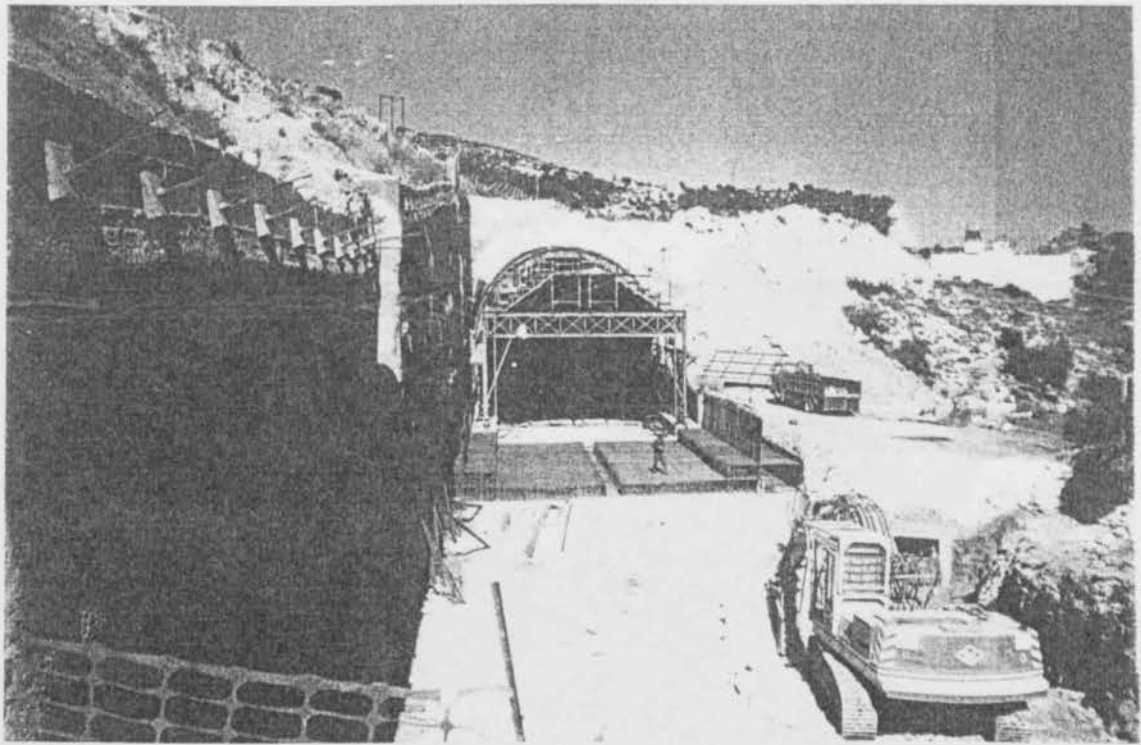


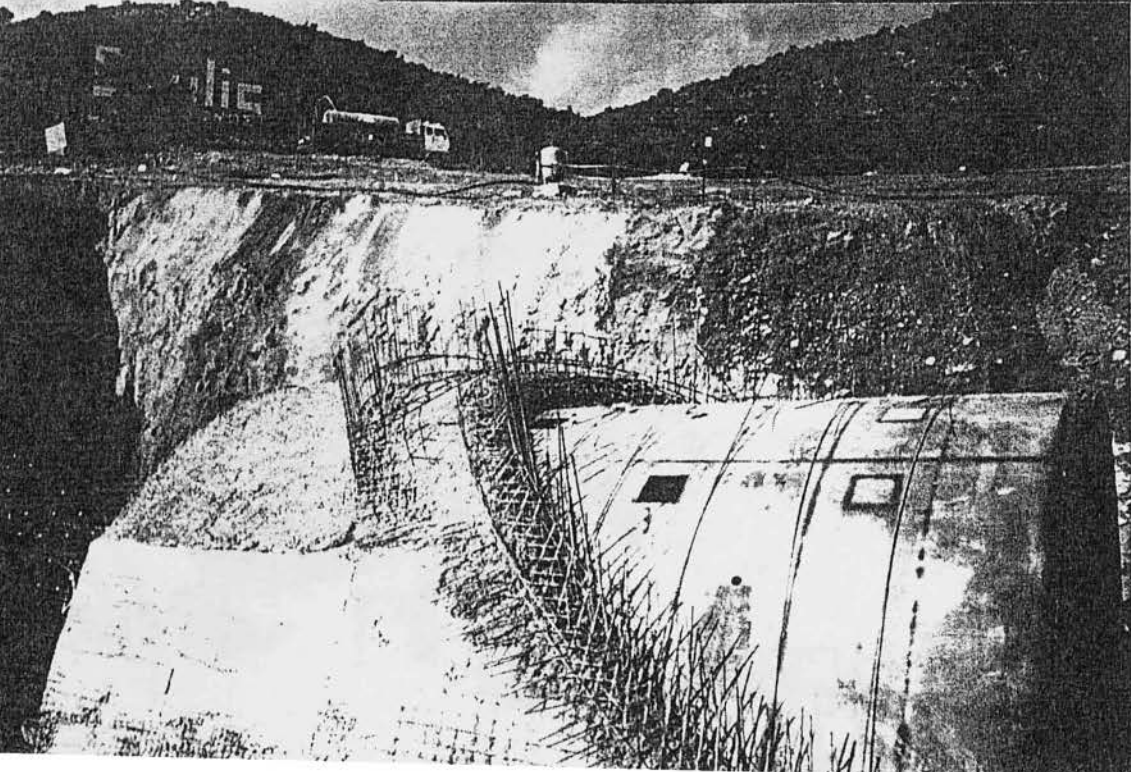
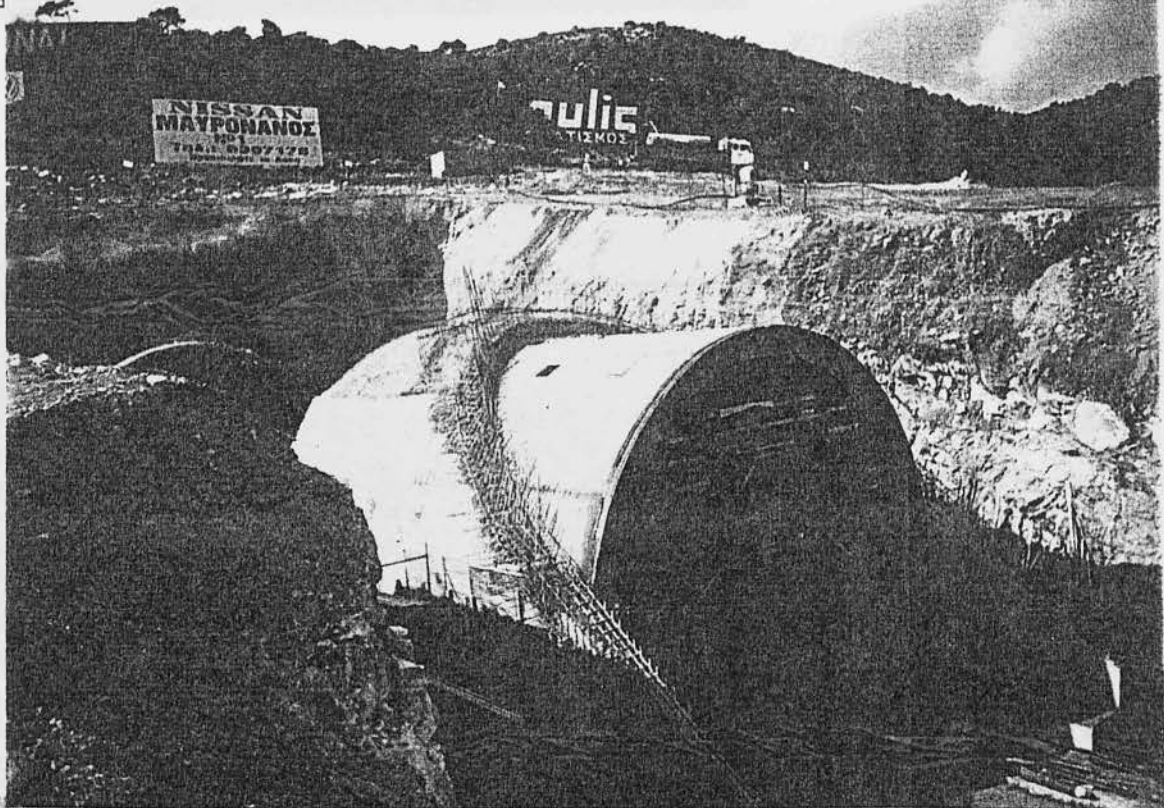
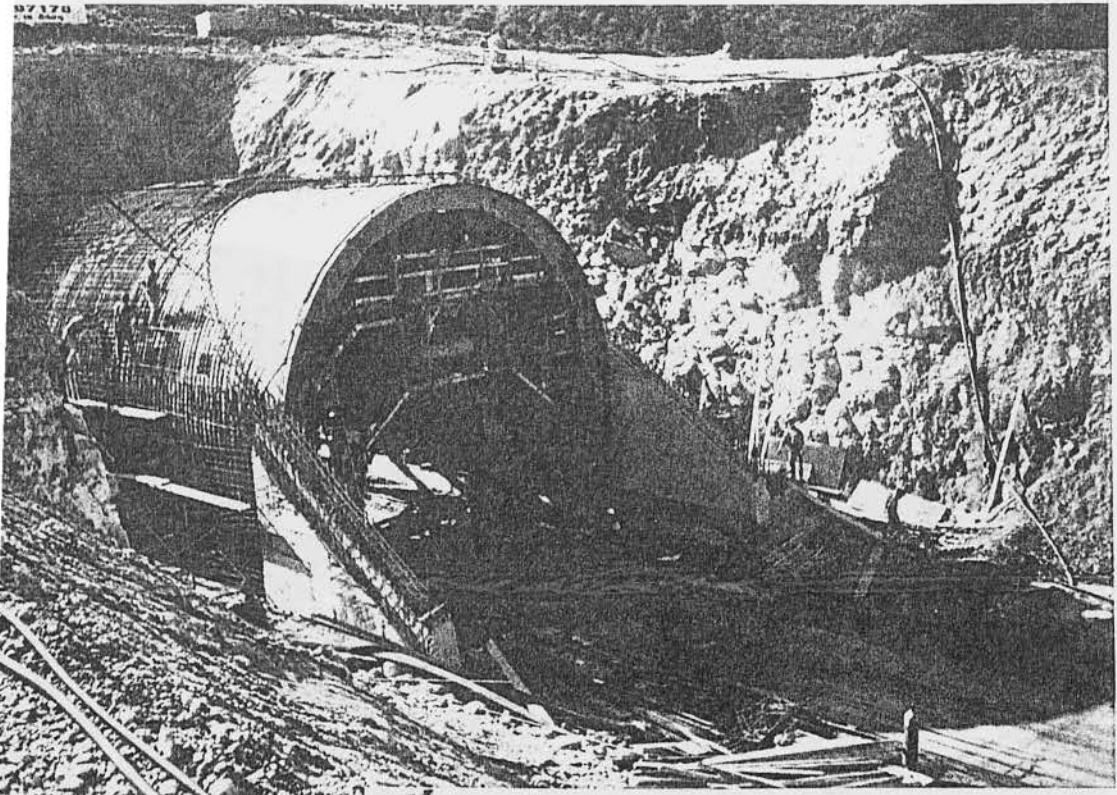






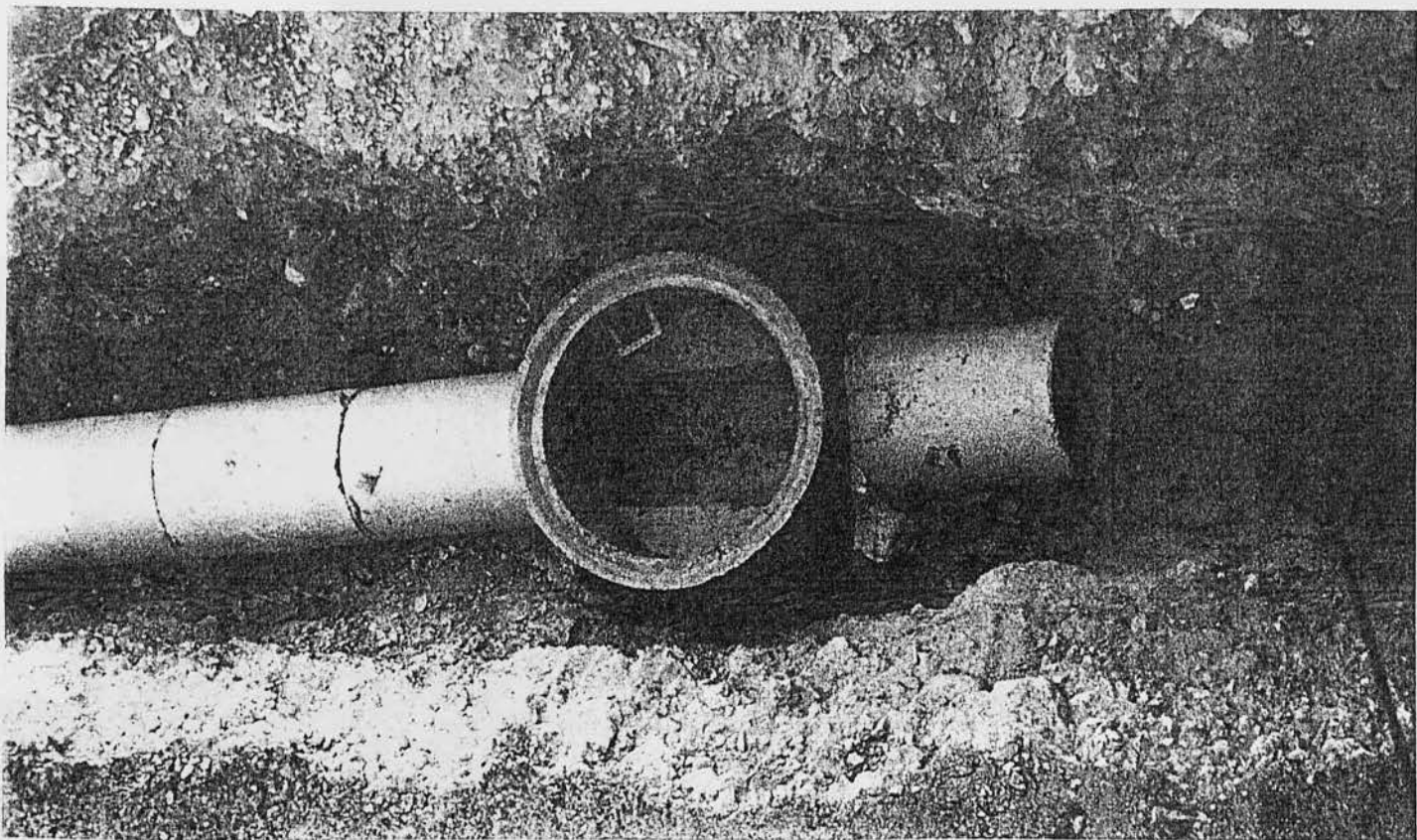
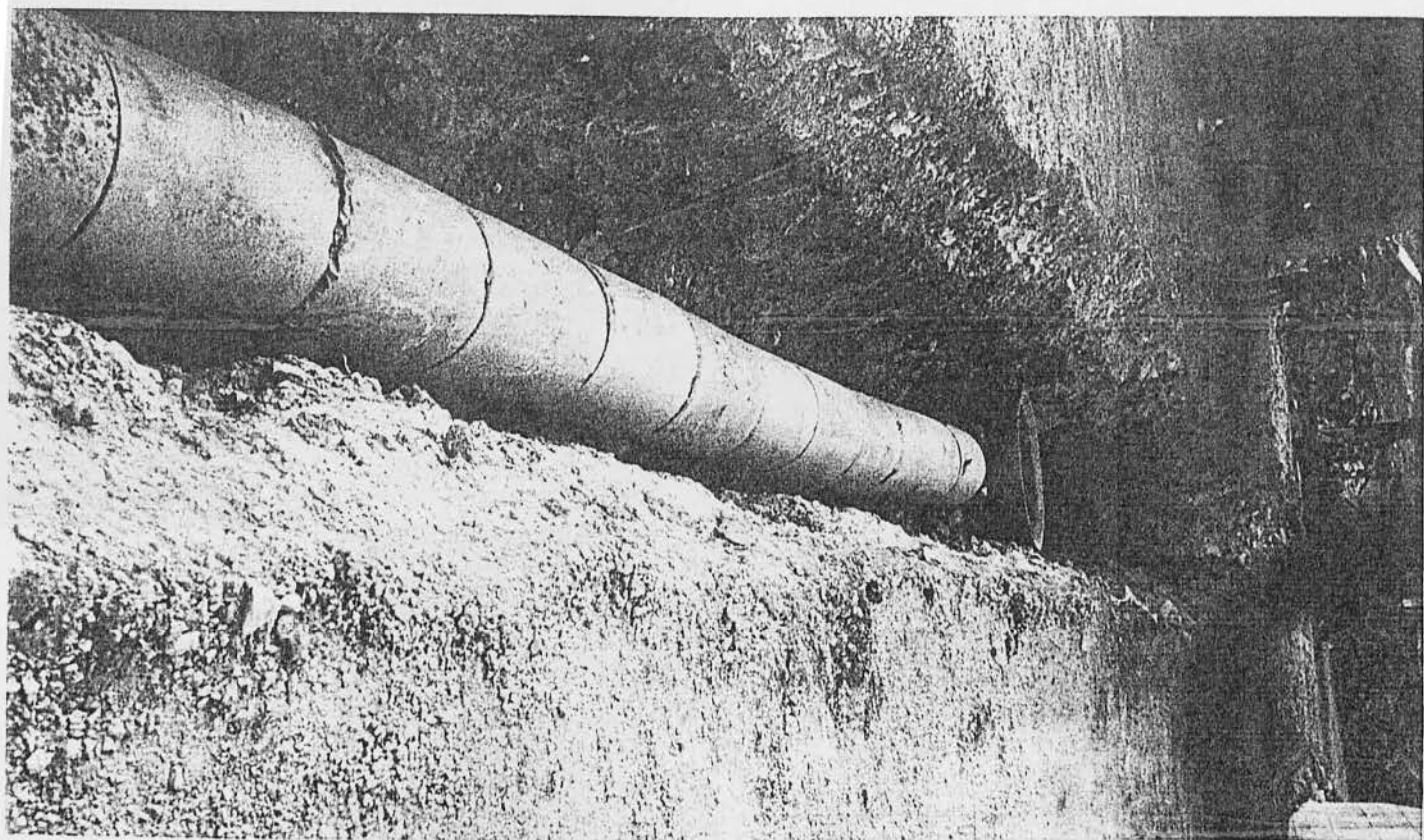


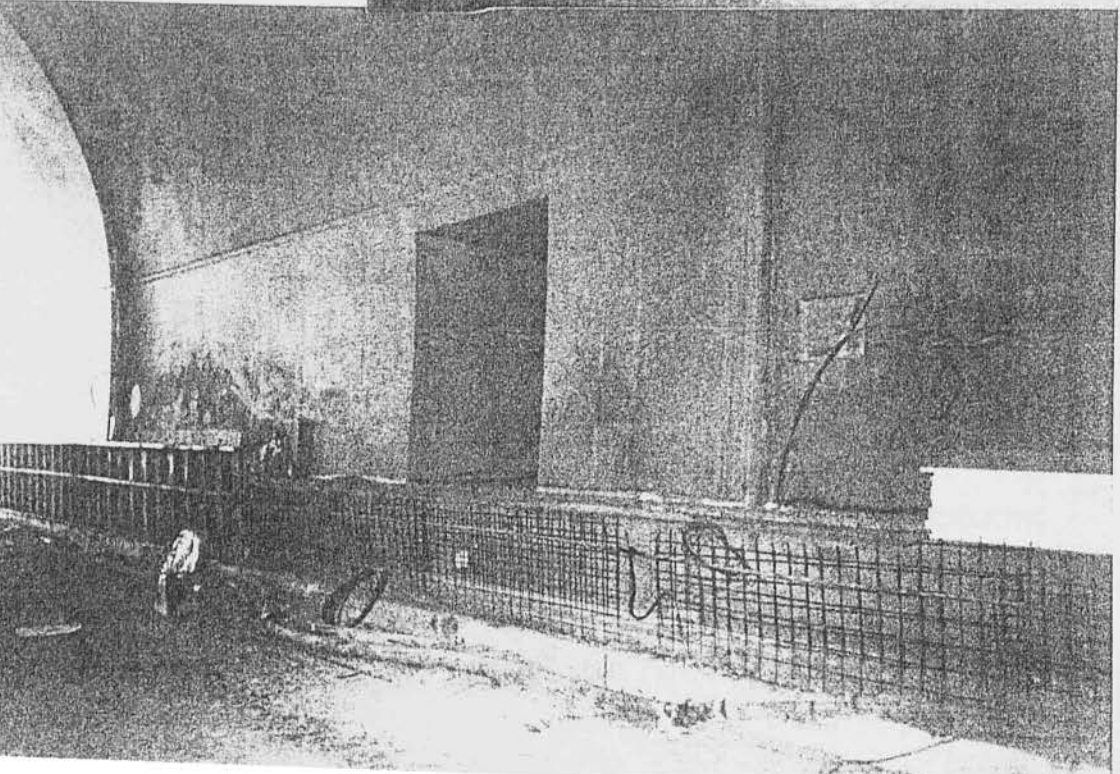
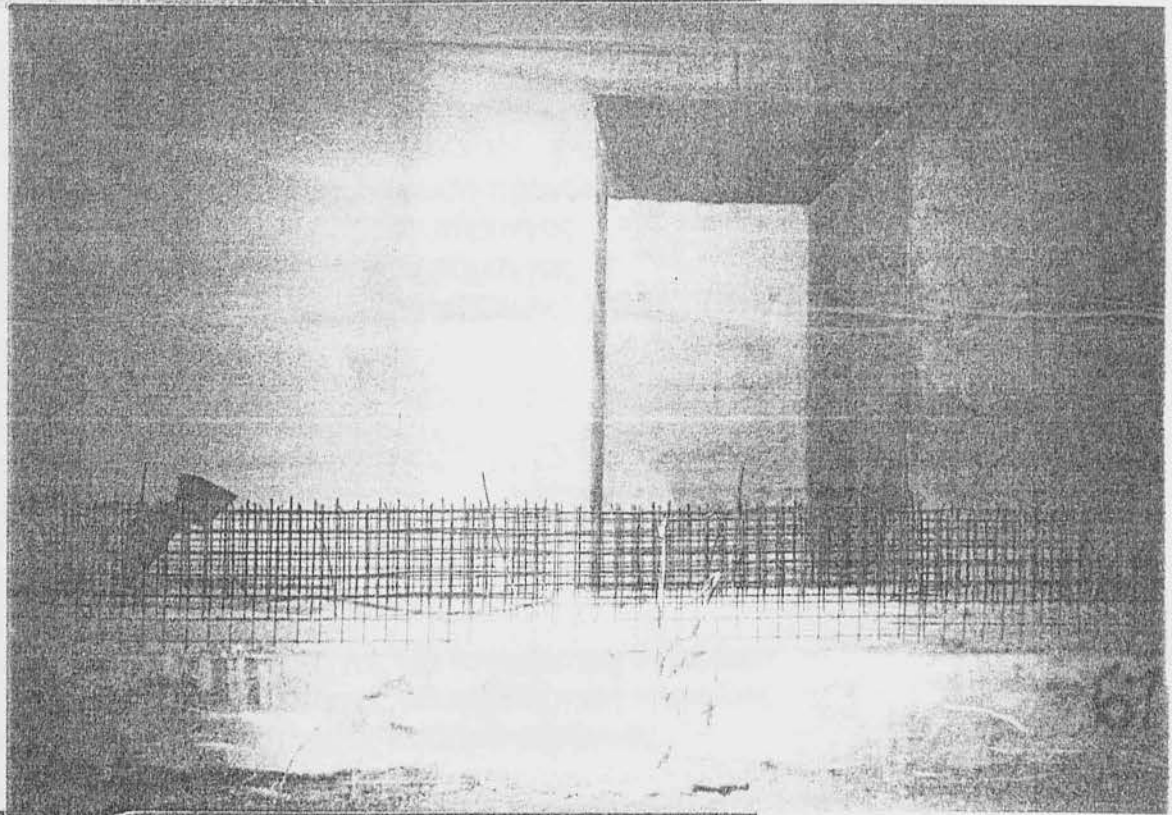








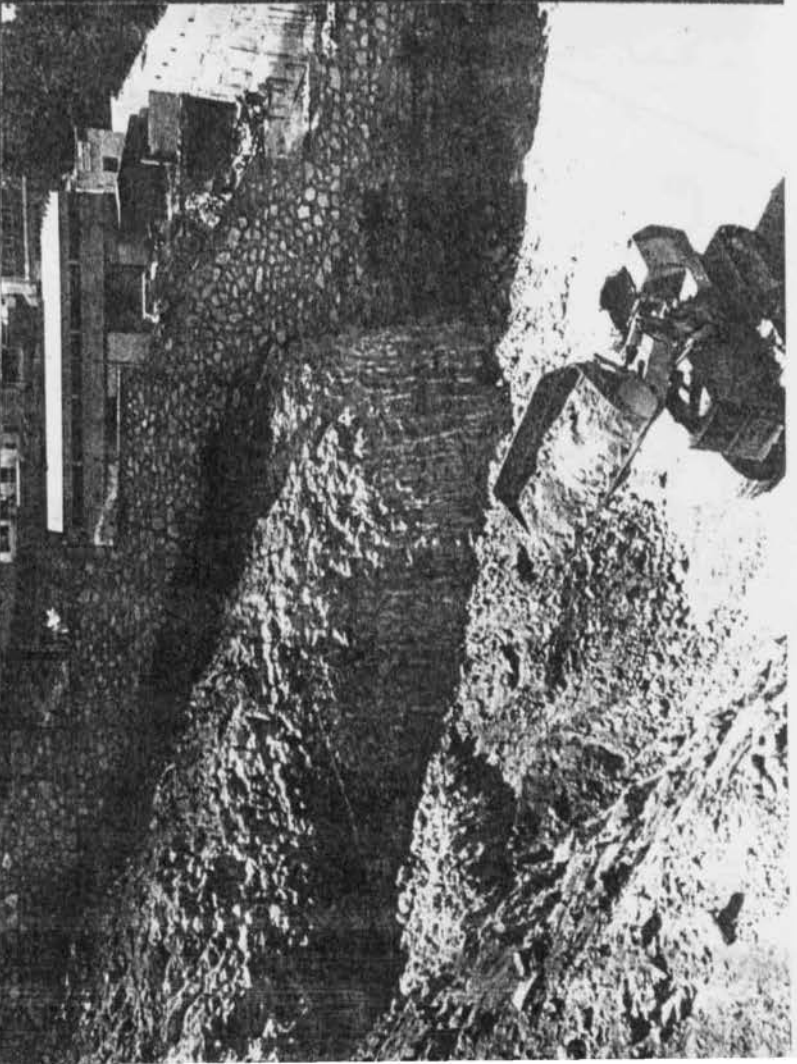
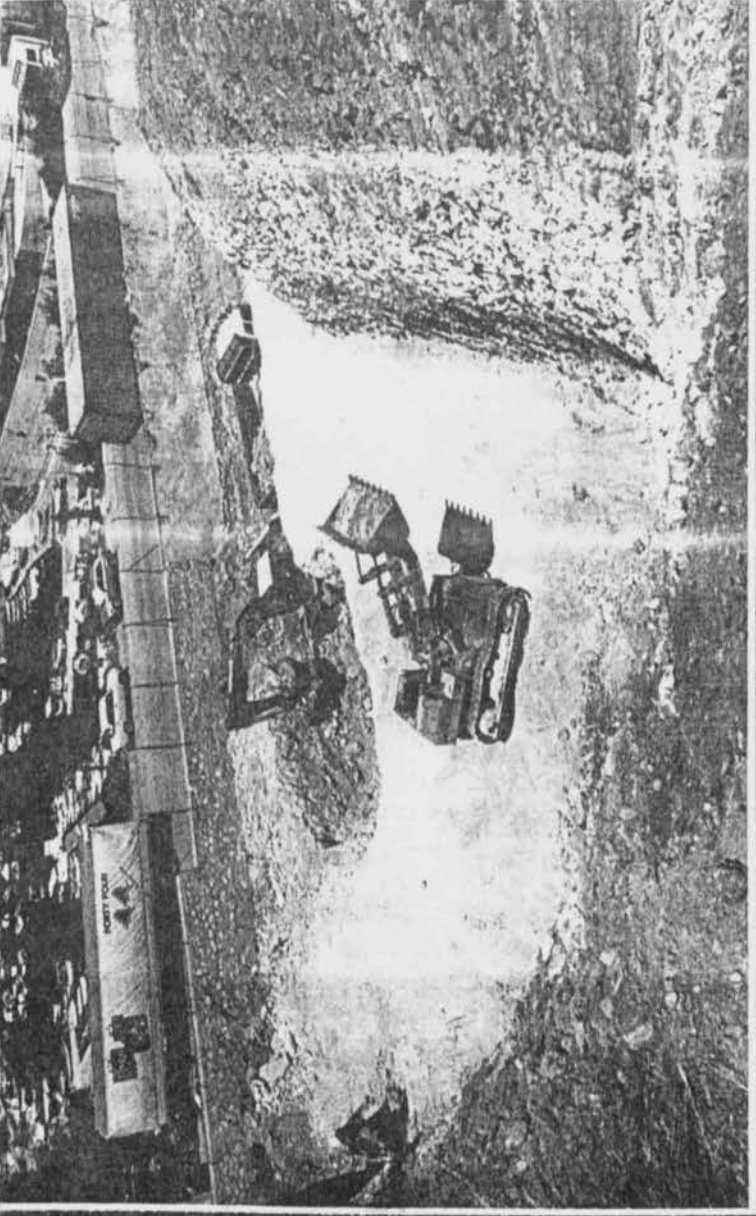


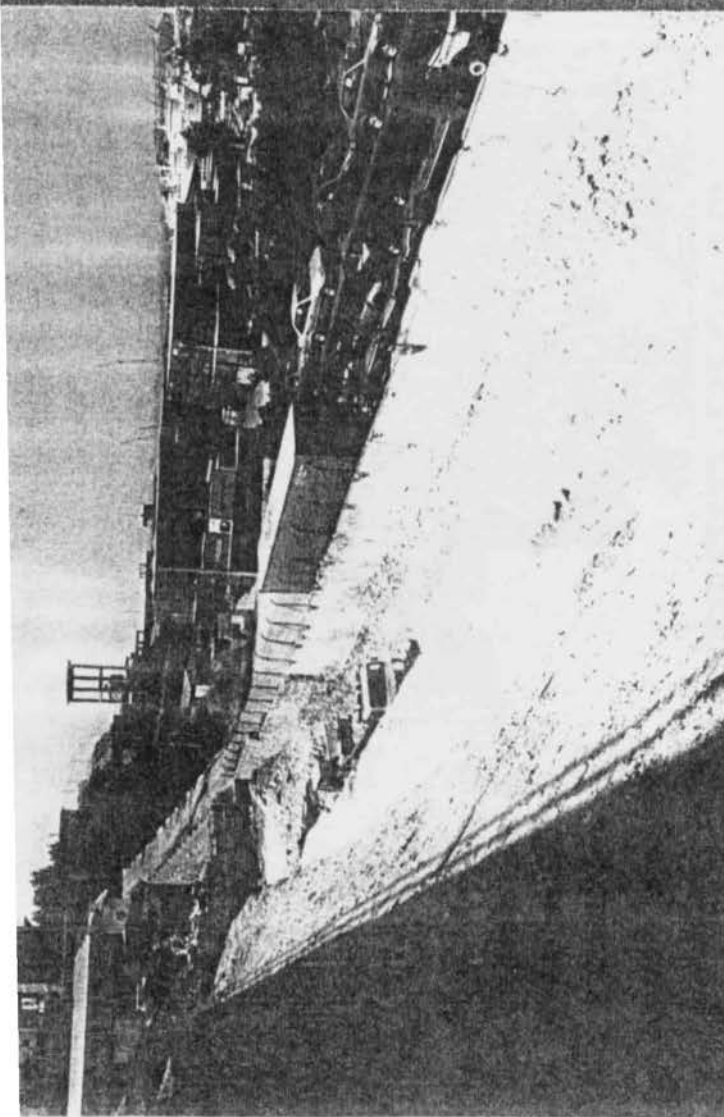
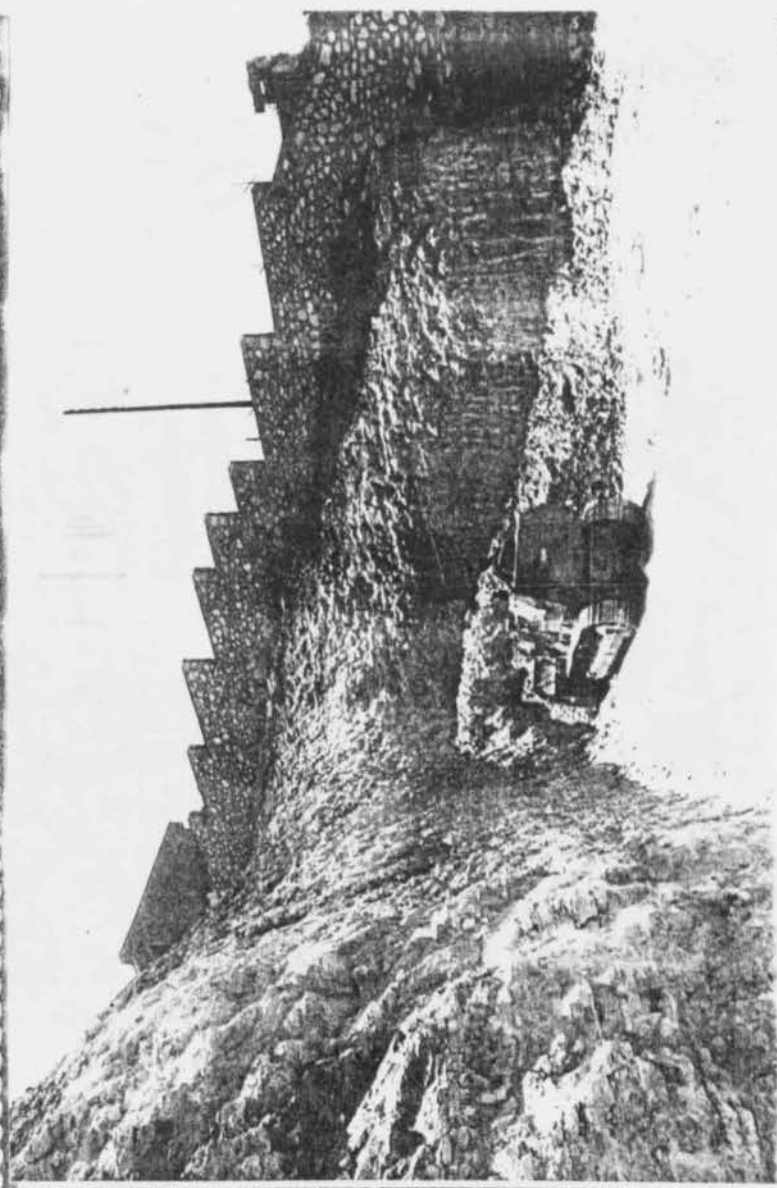


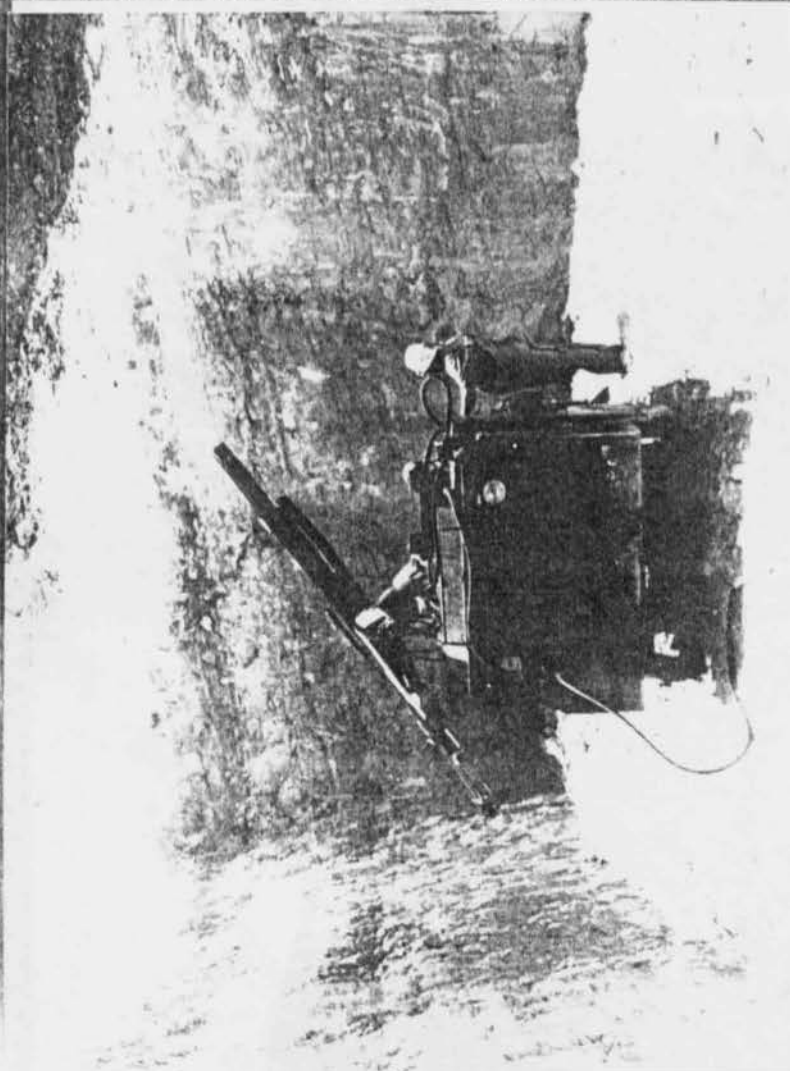
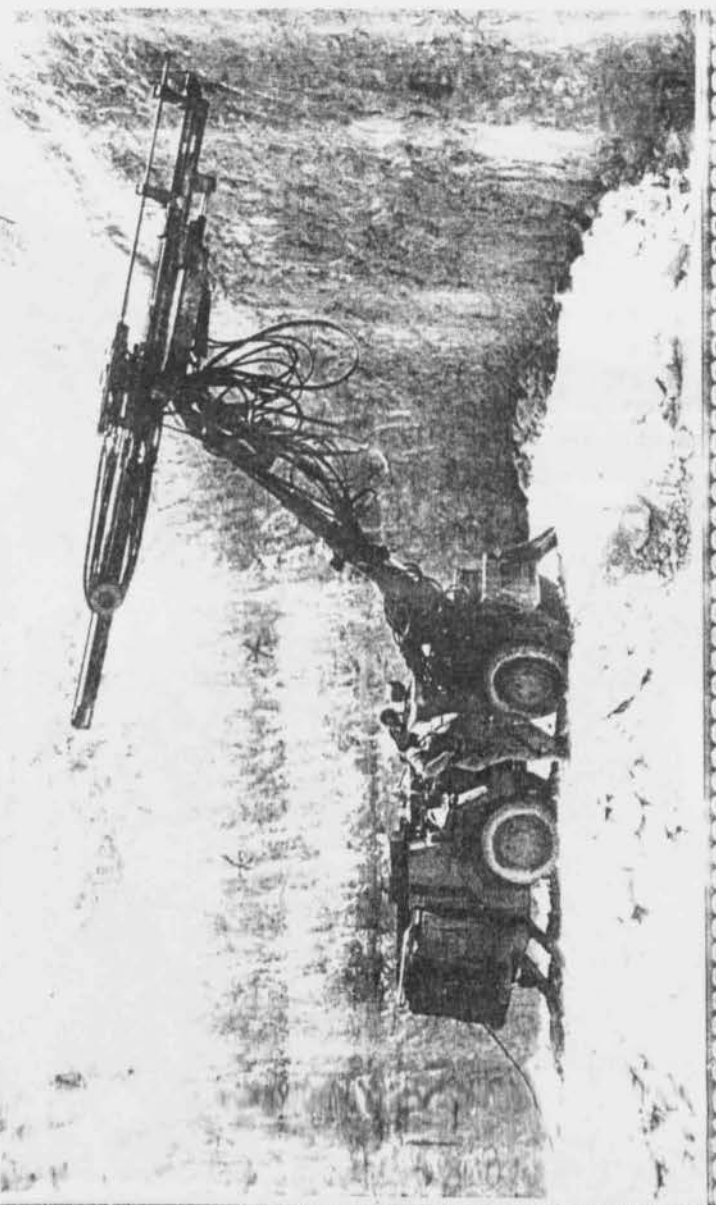
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΙΧΘΥΟΣΚΑΛΑΣ

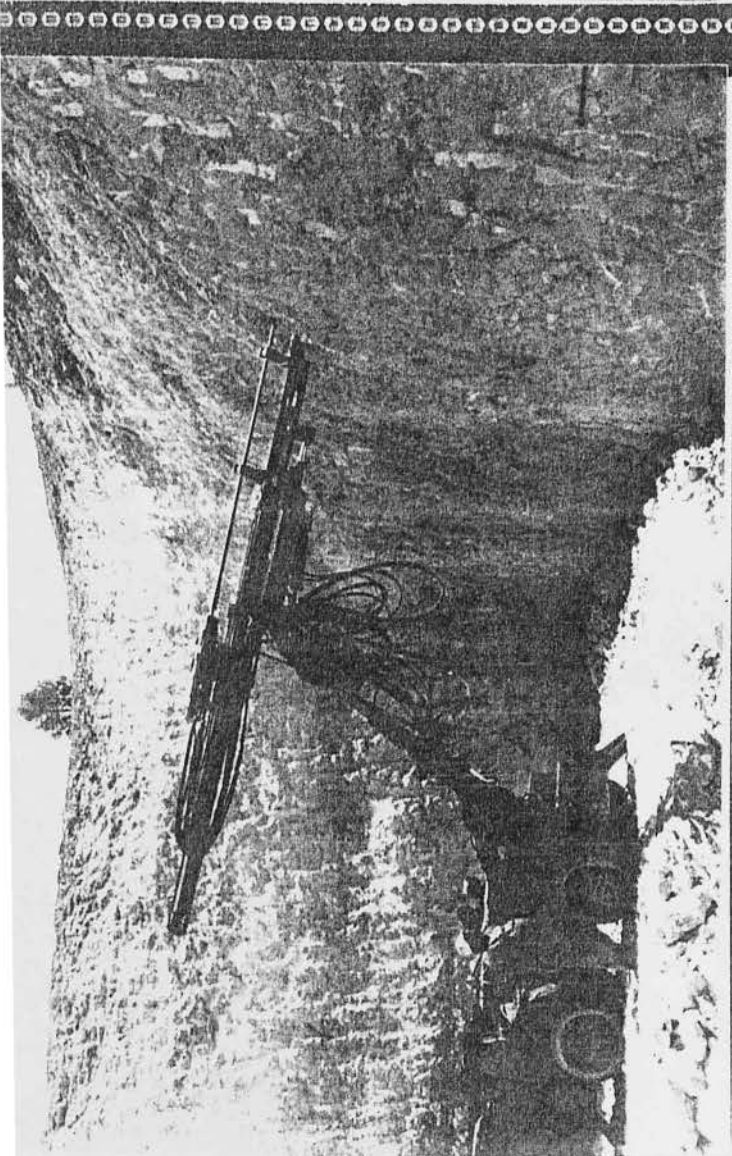
ΤΙΤΛΟΙ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

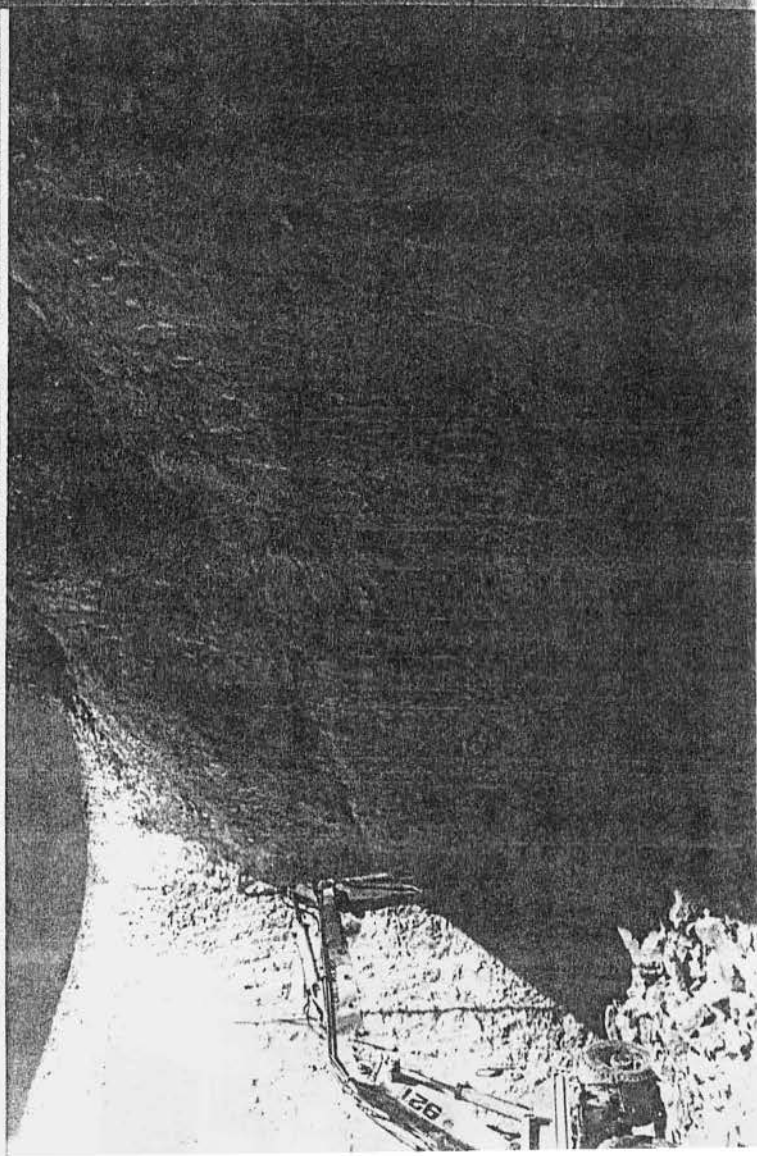
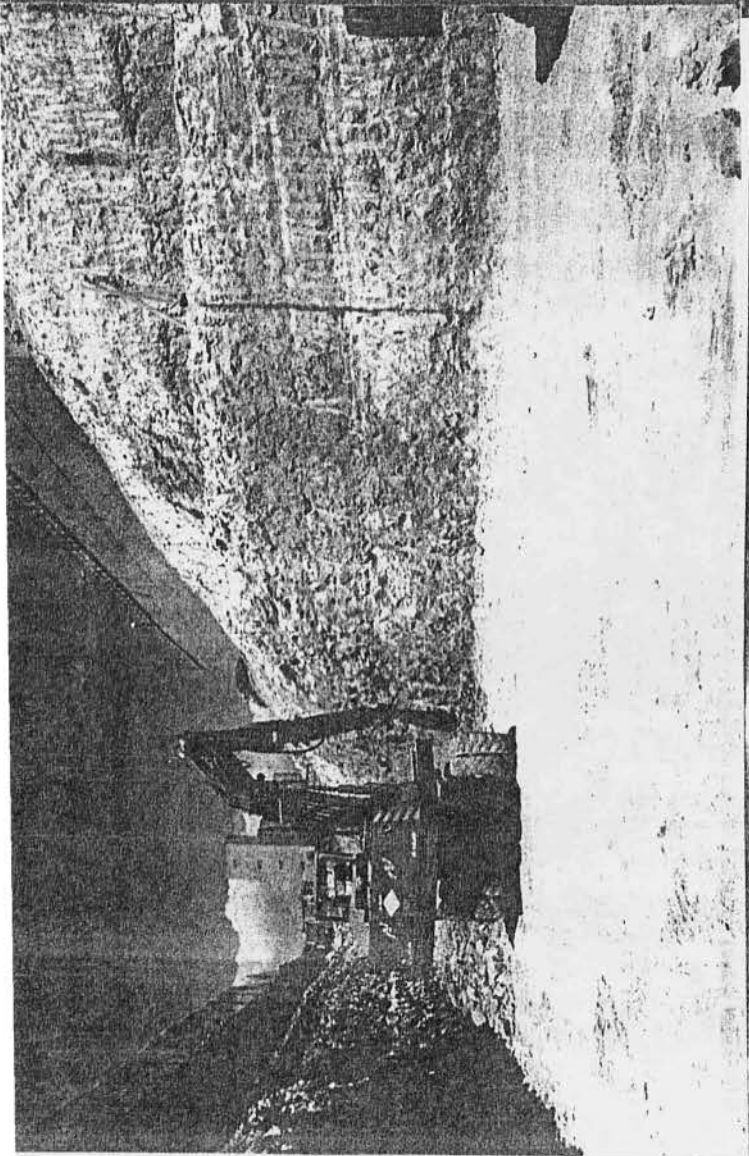
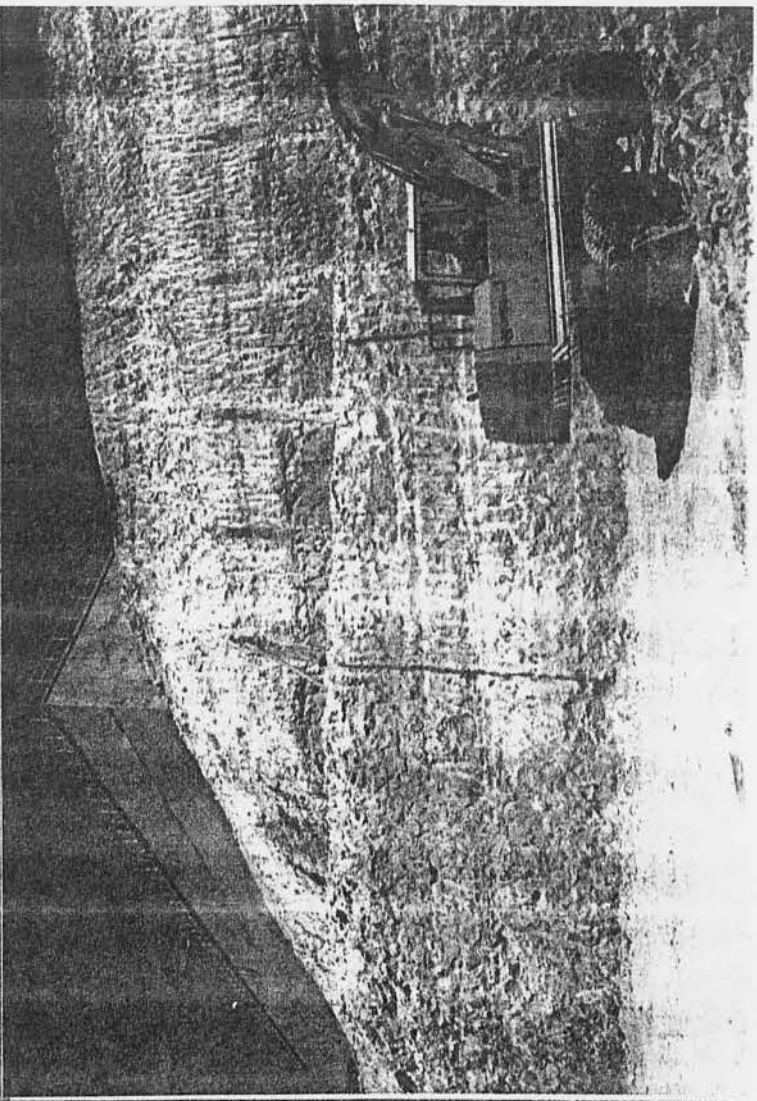
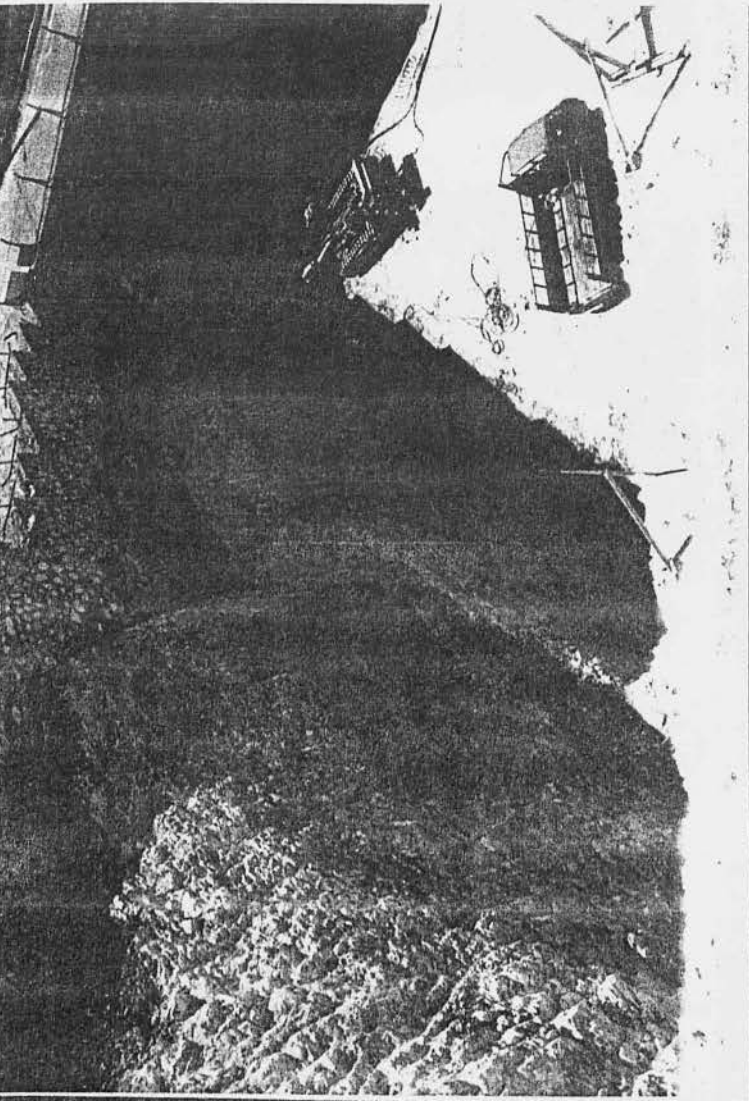
1. Εκσκαφή ράμπας πρόσβασης και διαμόρφωση πρανών μετώπου εισόδου σήραγγας.
2. Εκσκαφή ράμπας πρόσβασης.
3. Διάτρηση οπών αγκυρίων υποστήριξης πρανών μετώπου εισόδου σήραγγας.
4. Διάτρηση οπών αγκυρίων.
5. Εκσκαφή τελικής στάθμης και διαμόρφωση πρανών εισόδου σήραγγας.
6. Ενεμάτωση αγκυρίων πρανών εισόδου σήραγγας.
7. Ενεμάτωση αγκυρίων πρανών εισόδου σήραγγας.
8. Χάραξη θέσης και διεύθυνση διατρήσεων χ.δ.π. (χαλυβδινων δοκών προπορείας), (forepolling).
9. Διάτρηση χ.δ.π.
10. Τοποθέτηση και ενεμάτωση χ.δ.π.
11. Ενεμάτωση χ.δ.π.
12. Τοποθέτηση και ενεμάτωση χ.δ.π.
13. Ρήψη εκτοξευόμενου σκυροδέματος για υποστήριξη πρανών εισόδου σήραγγας.
14. Έμπηξη και ενεμάτωση χ.δ.π.
15. Πρώτη εκσκαφή μετώπου σήραγγας για τοποθέτηση πλαισίων.
16. Πρώτη εκσκαφή μετώπου σήραγγας για τοποθέτηση πλαισίων.
17. Τοποθέτηση πλαισίων υποστήριξης εισόδου σήραγγας.
18. Οπλισμός οροφής εισόδου.
19. Σκυροδέτηση οροφής του πρώτου μέτρου εκσκαφής.
20. Εκσκαφή μετώπου σήραγγας με μηχανικά μέσα.
21. Δοκιμή εξόλκευσης αγκυρίου με υδραυλικό γρύλο.
22. α. Φόρτωση προϊόντων εκσκαφής σήραγγας.
β. Σήραγγα.
γ. Σταθμός μετρήσεων συγκλίσεων σήραγγας.
23. Τελική μορφή σήραγγας (τμήμα εισόδου) με πρώτη στρώση οπλισμένου σκυροδέματος.
24. Μορφή υποστήριξης με αγκύρια.
25. α. Στόχος μέτρησης συγκλίσεως σήραγγας.
β. Εκσκαφή εξόδου σήραγγας.
26. Οπλισμός τελικής επένδυσης και κινητός μεταλλότυπος σκυροδέτησης τελικής επένδυσης.
27. Κινητός μεταλλότυπος σκυροδέτησης τελικής επένδυσης.
28. Λήψη καρτών σκυροδέματος και εκσκαφή εξόδου σήραγγας.

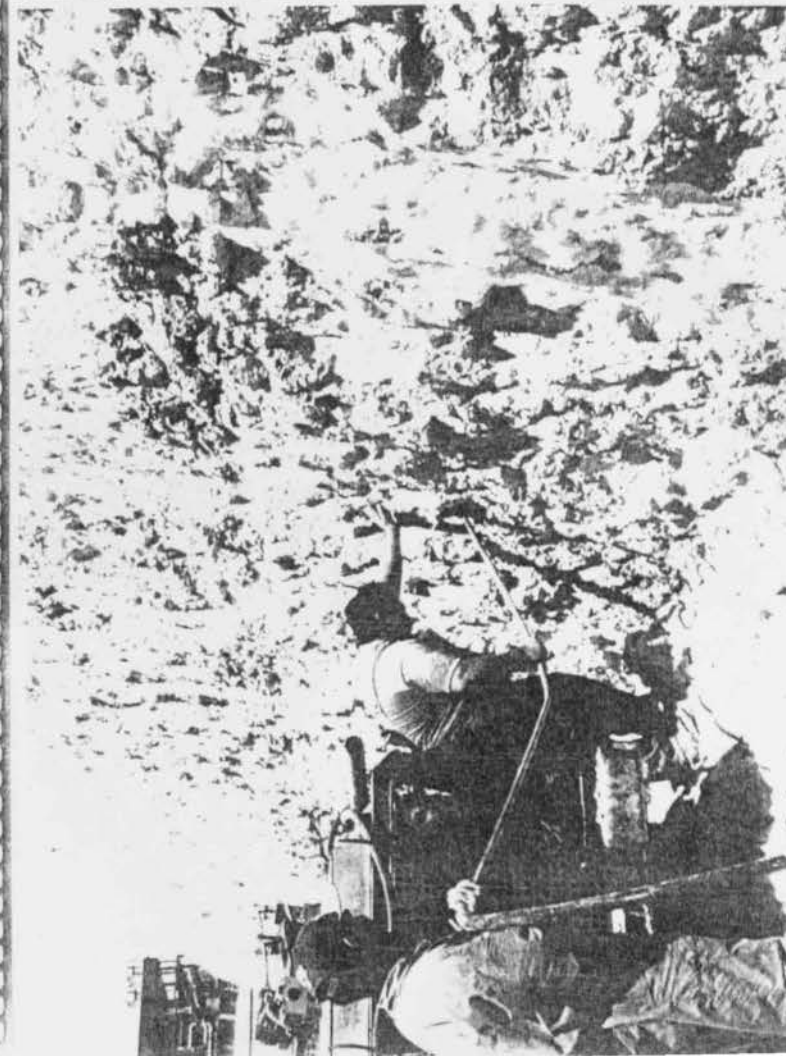
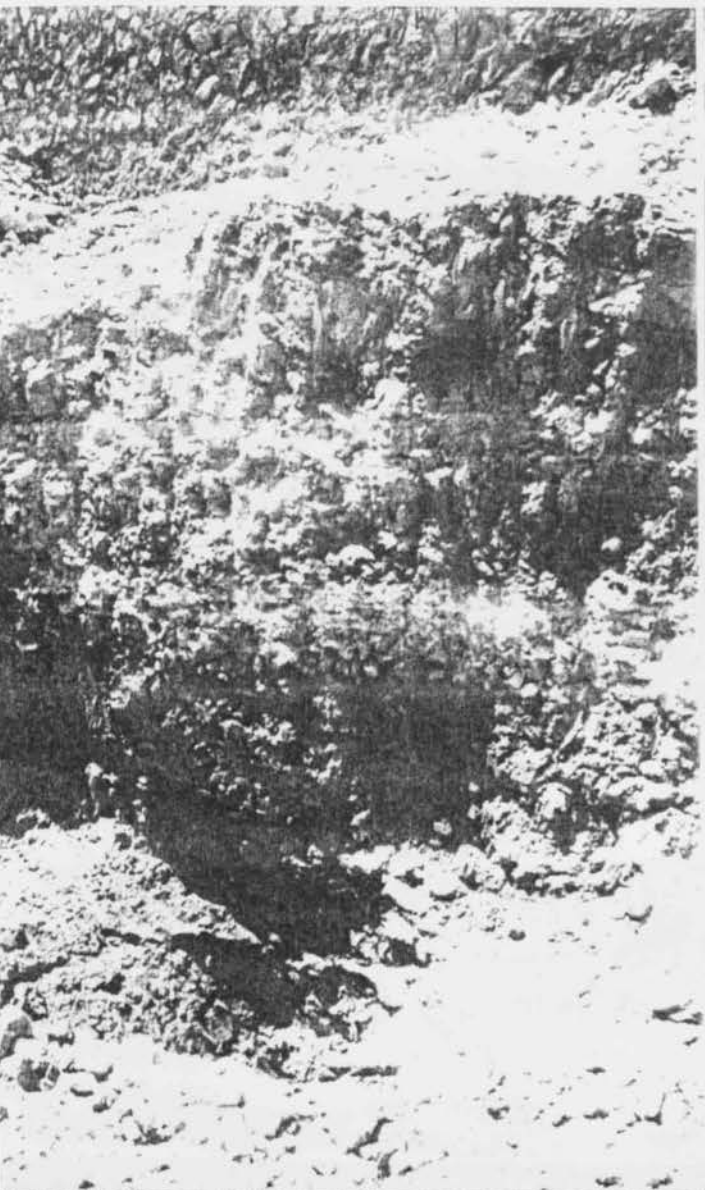


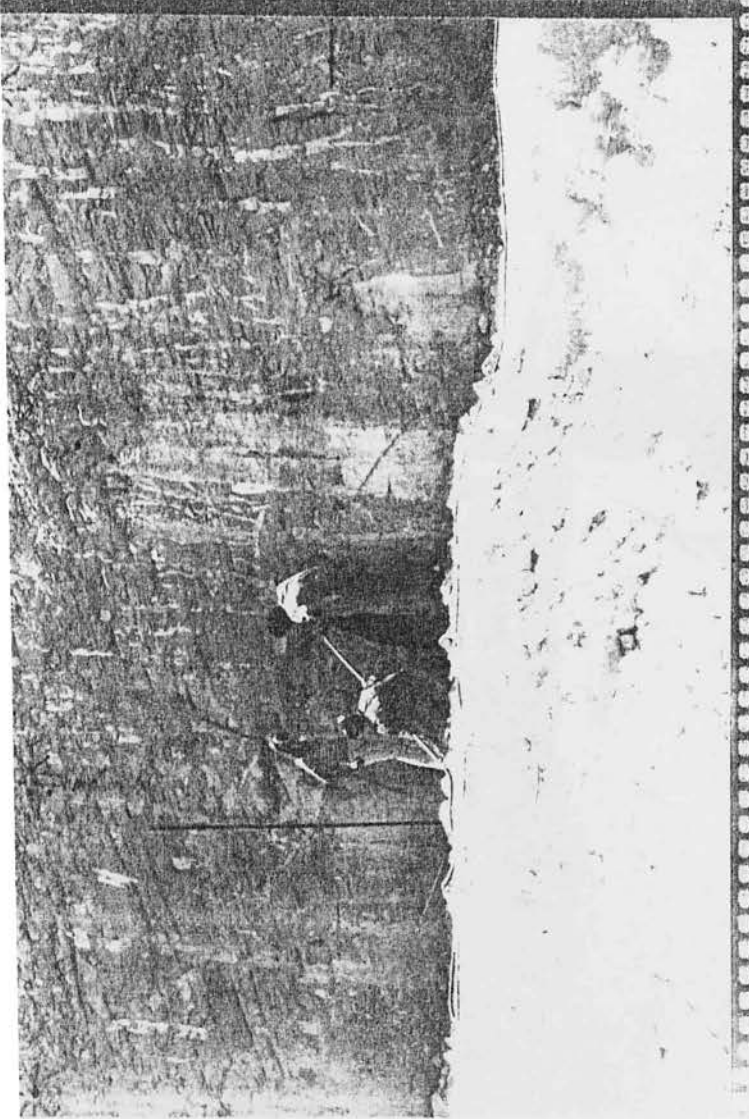
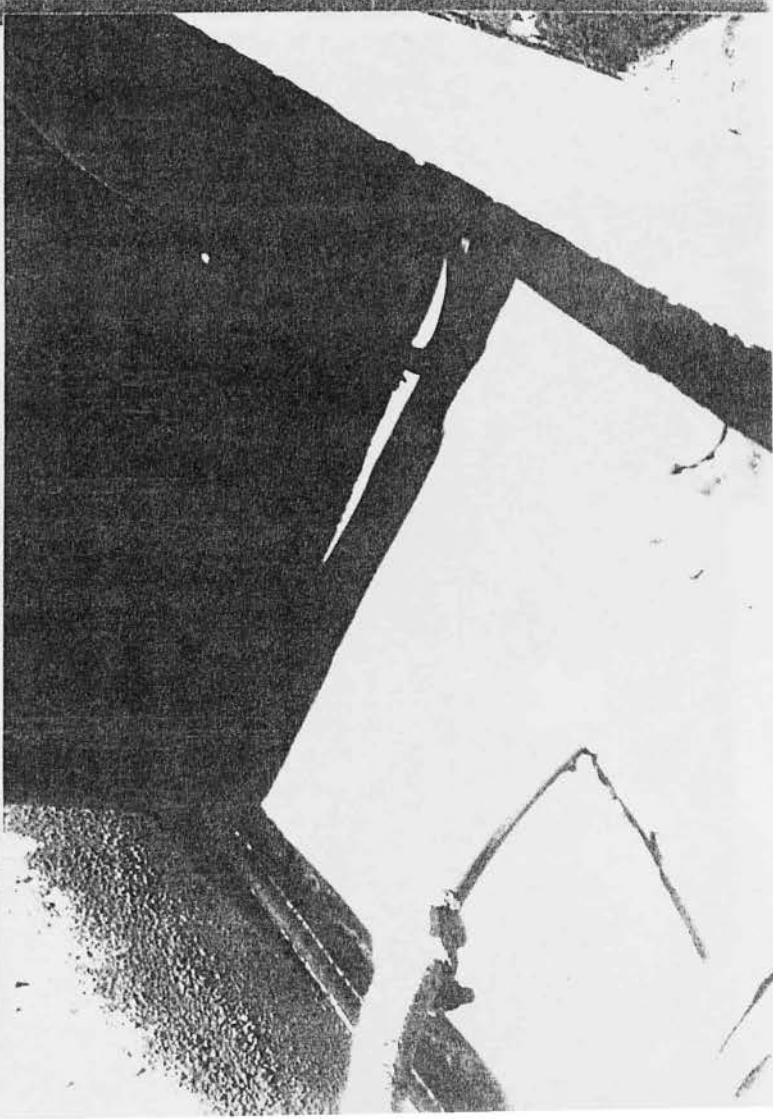


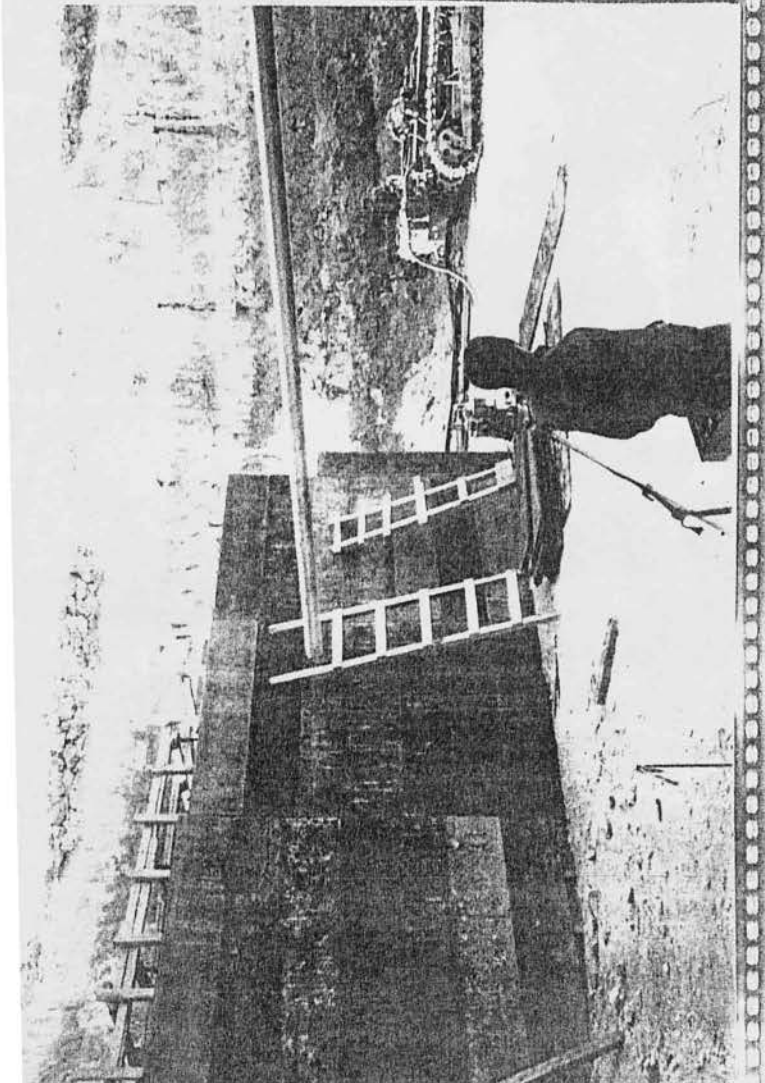
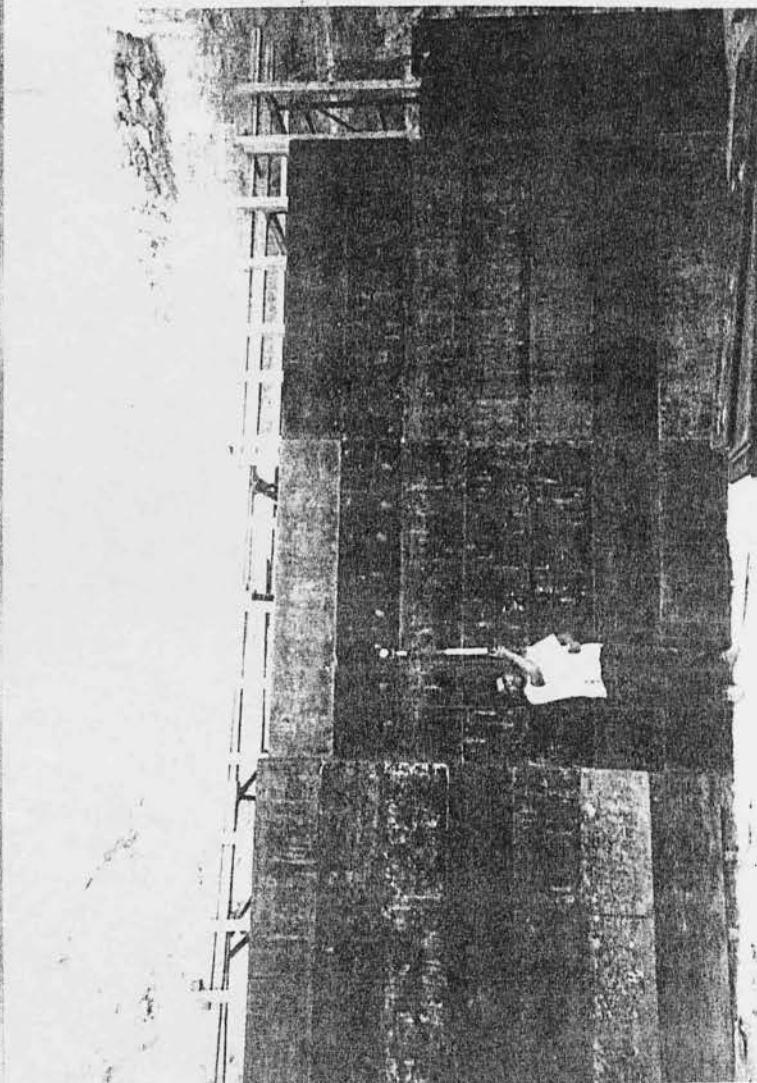
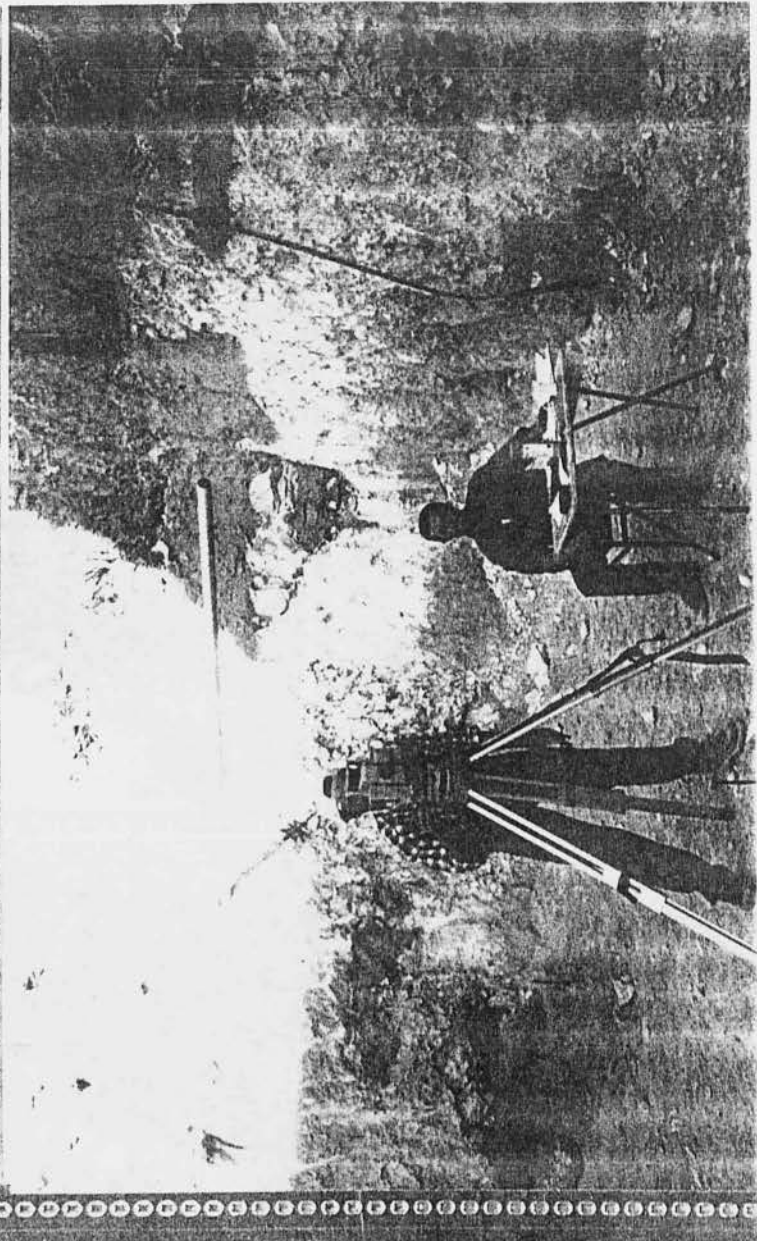


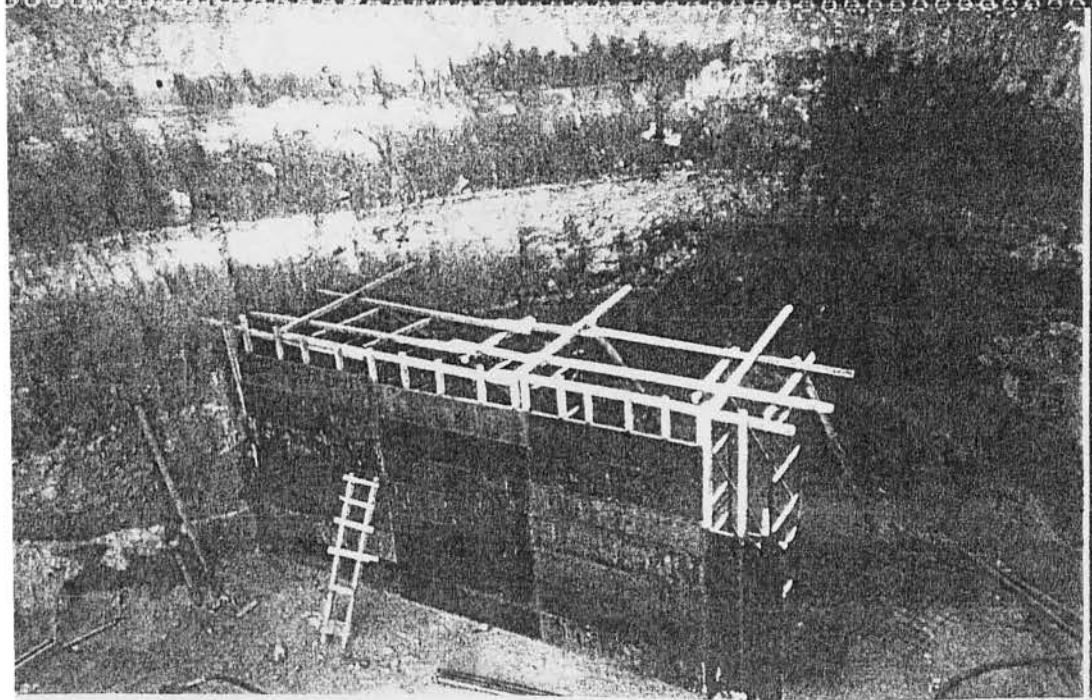
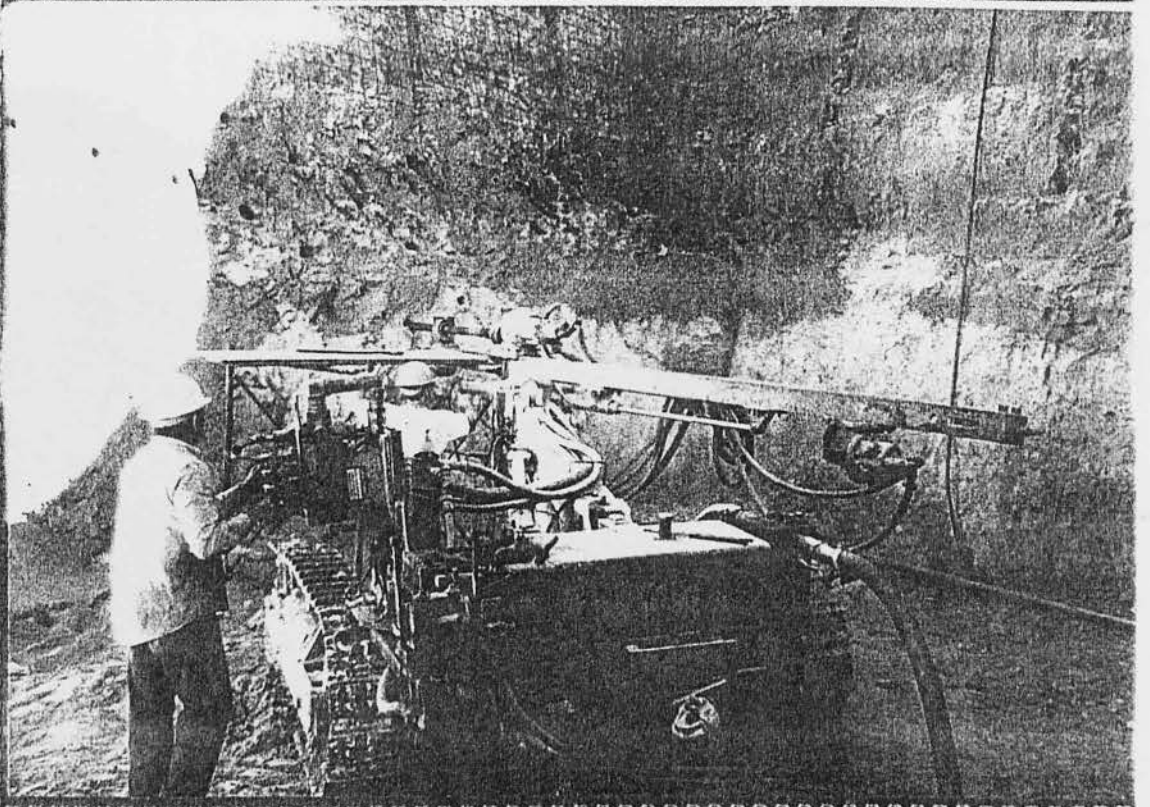
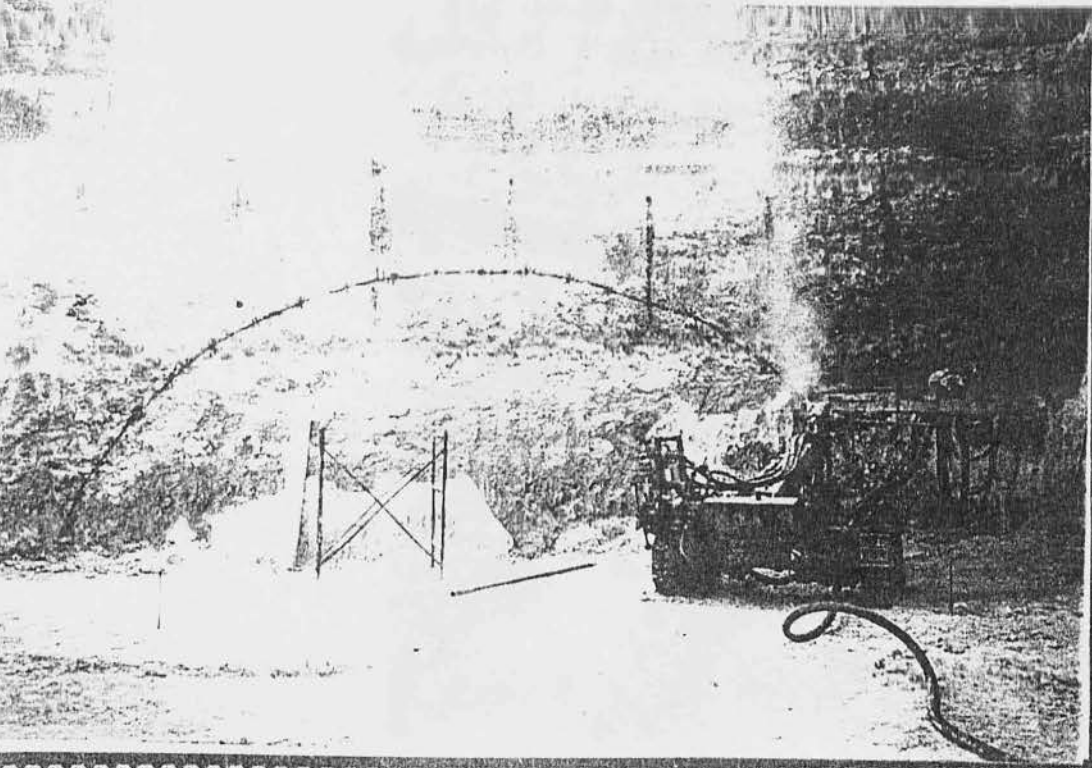


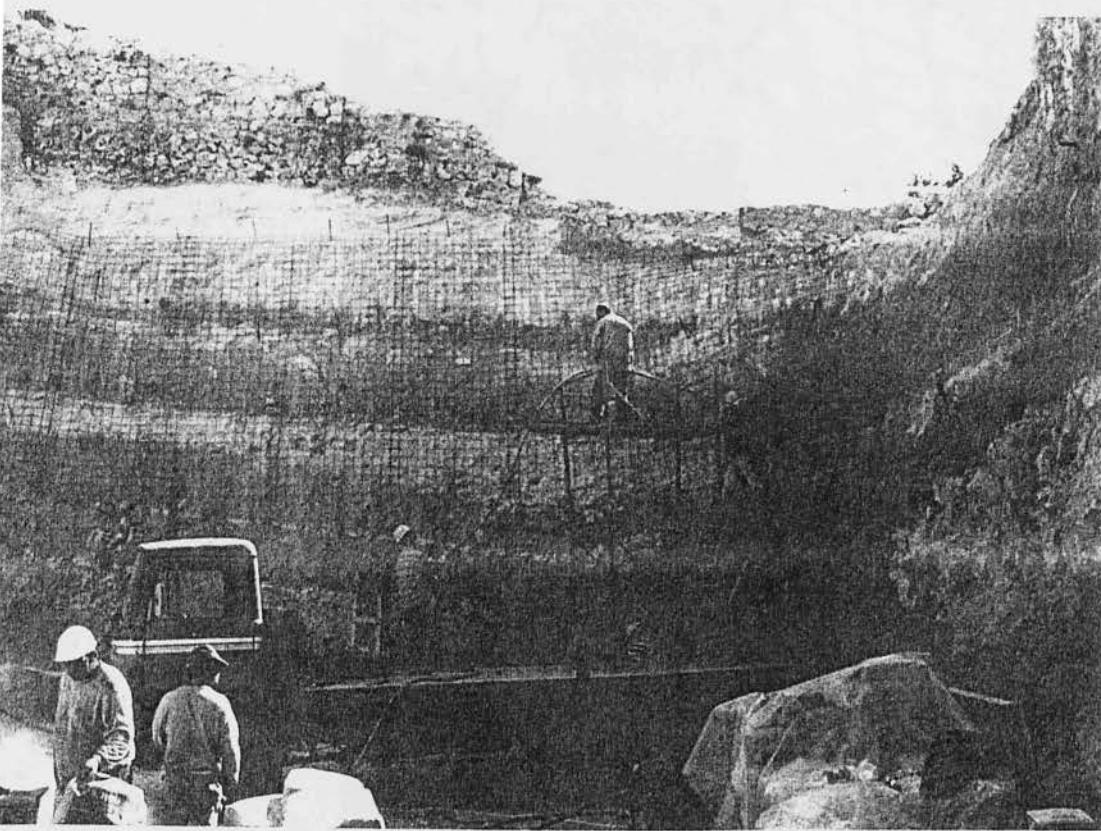


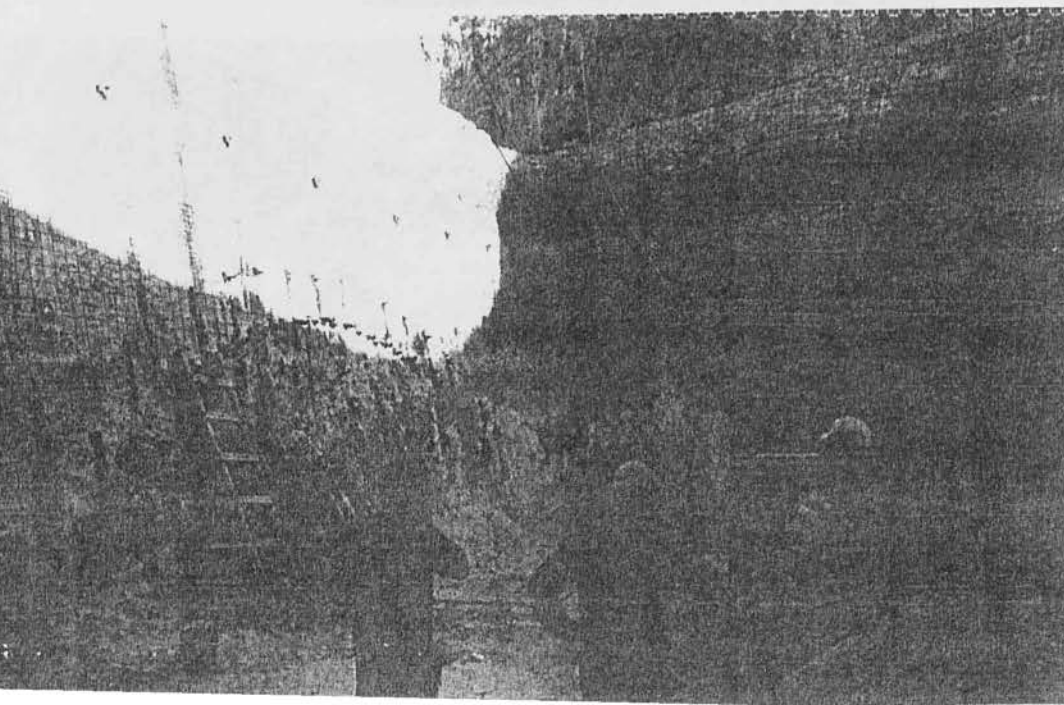
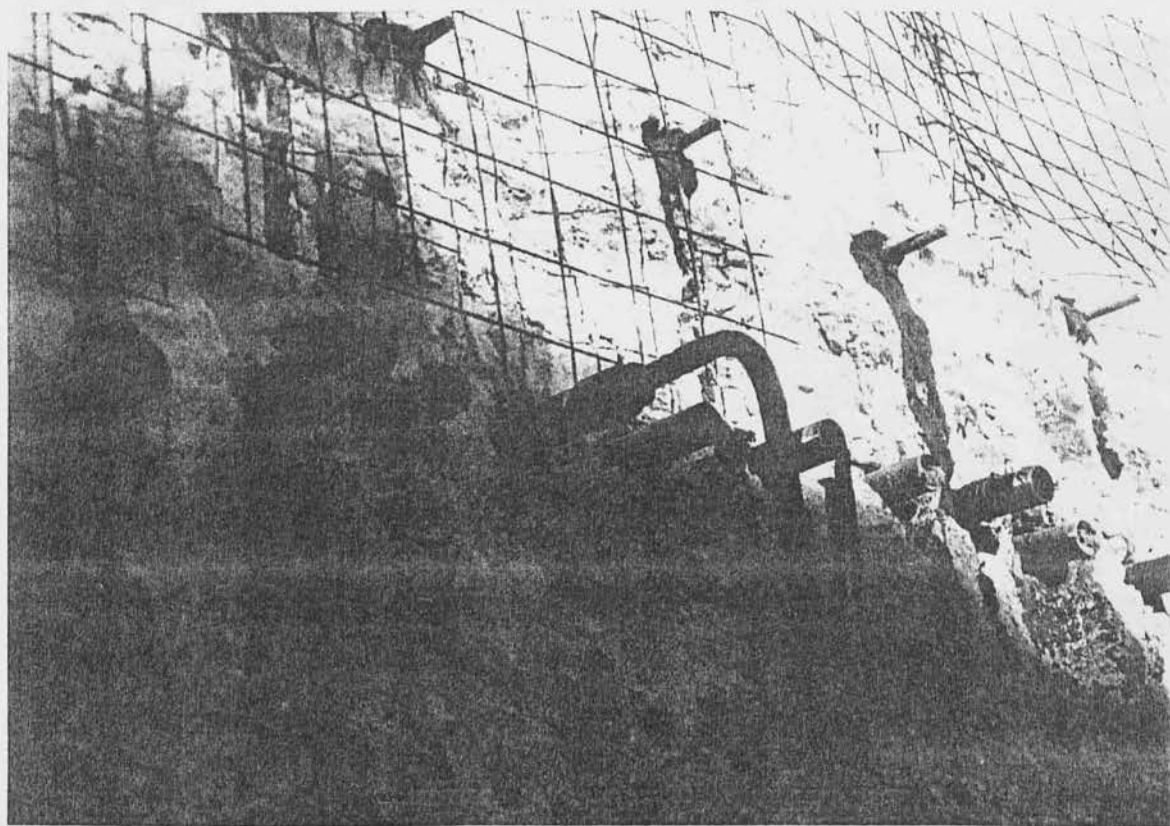
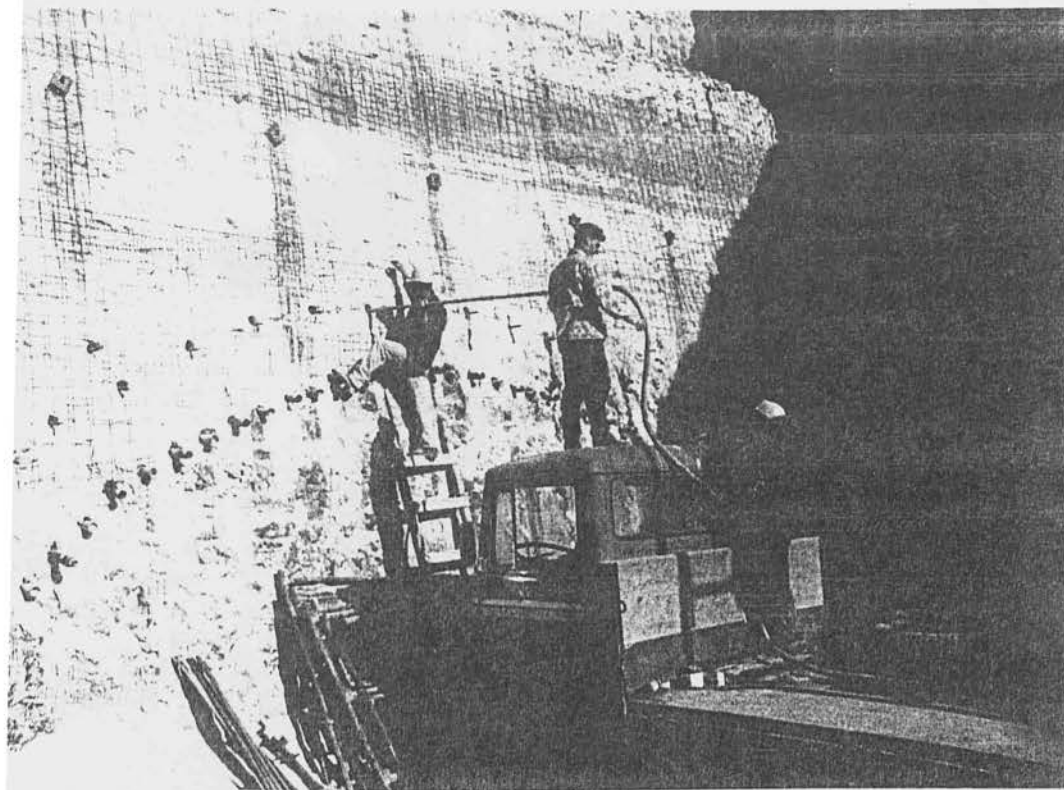


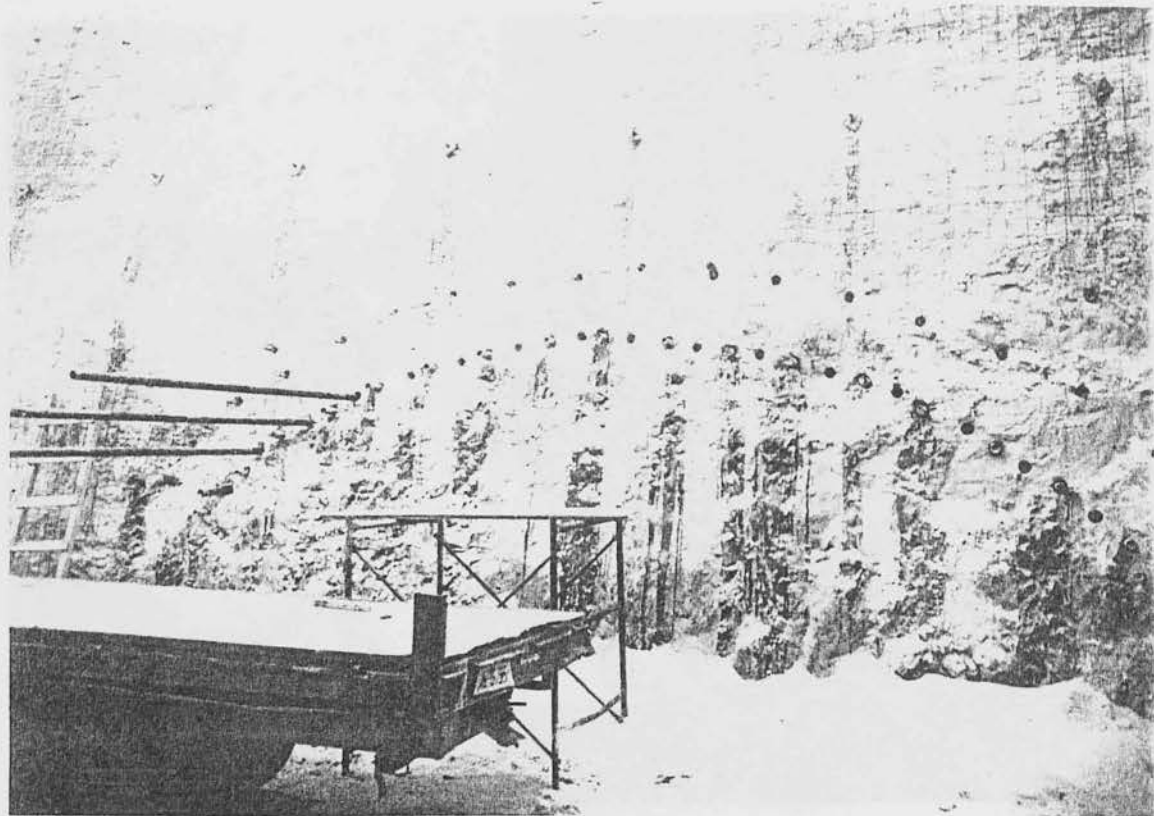
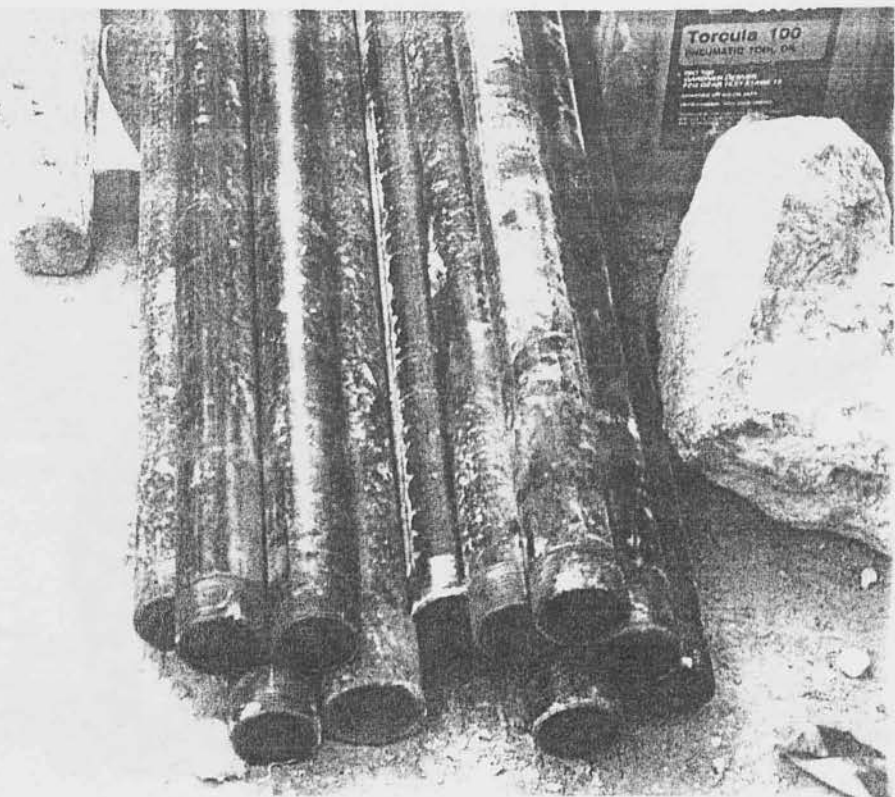


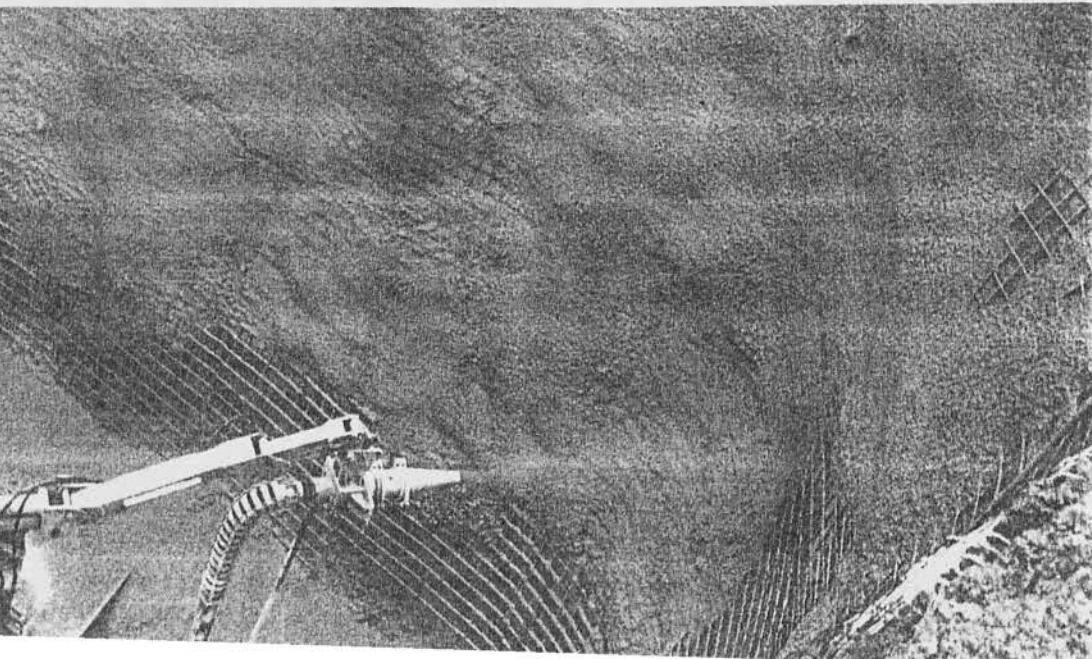
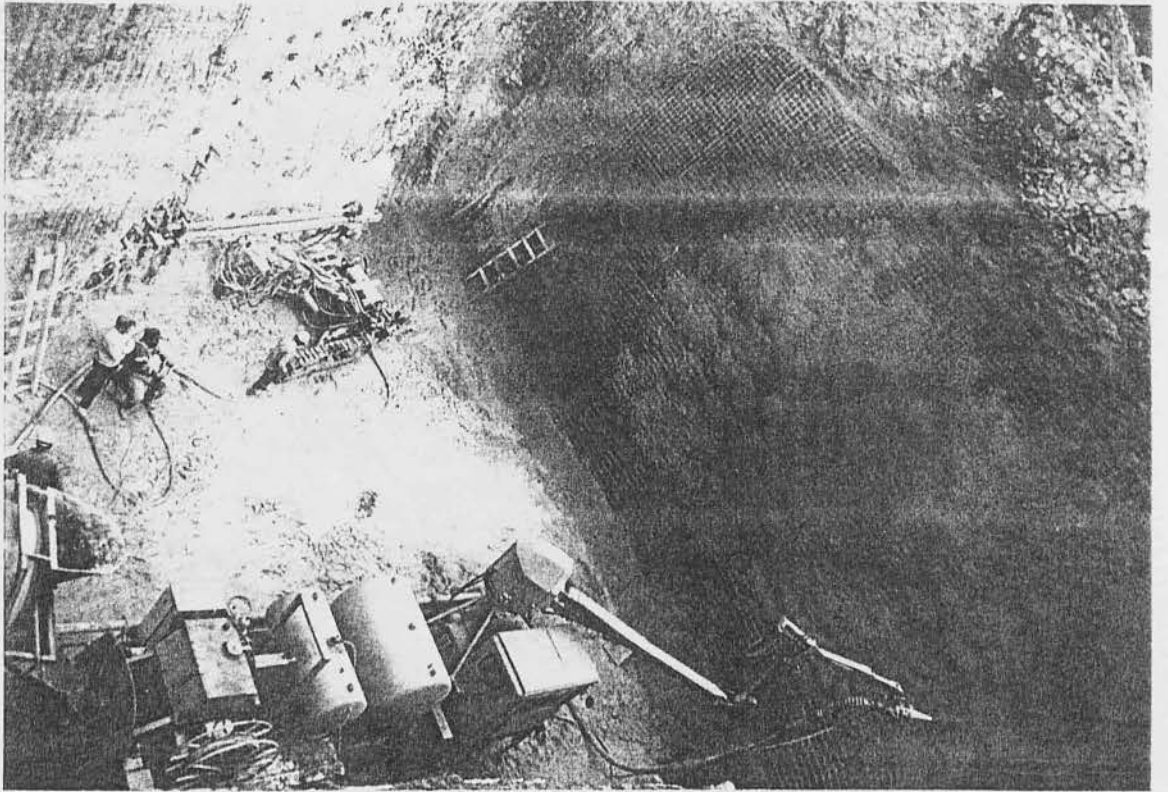
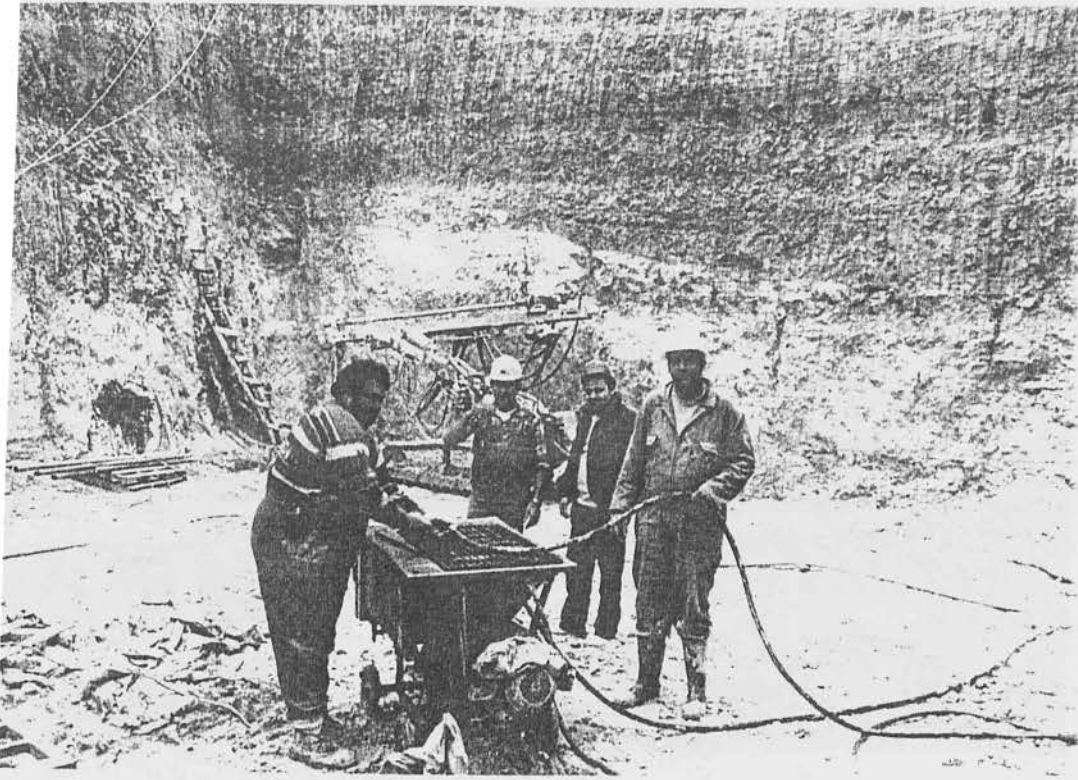


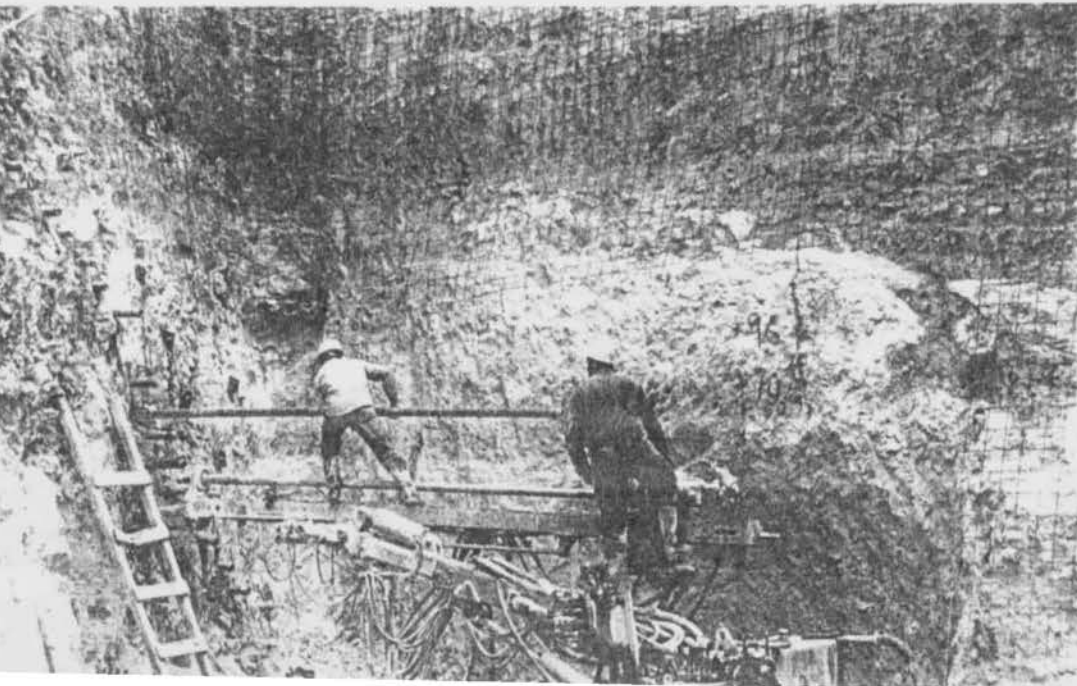
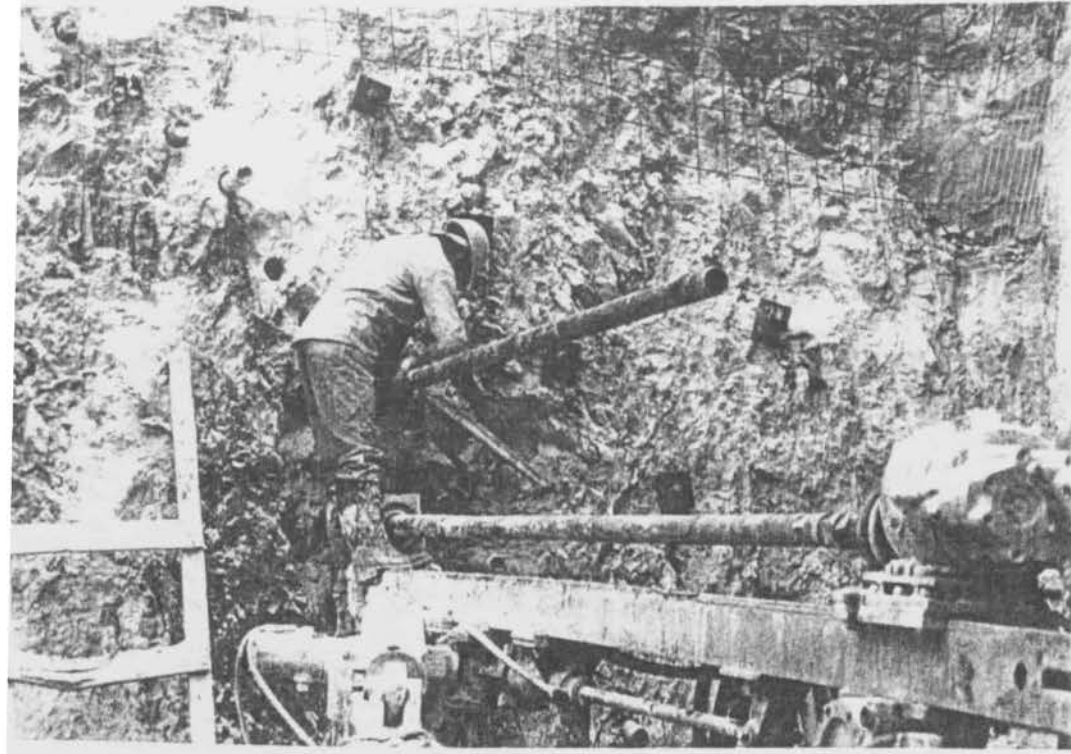


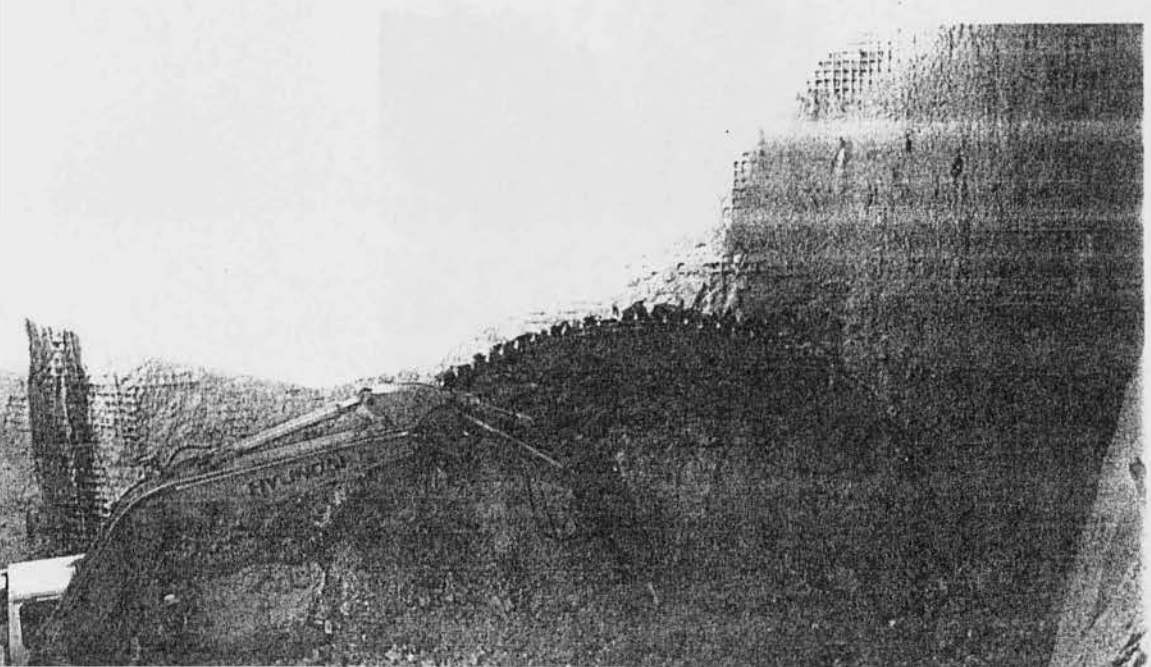
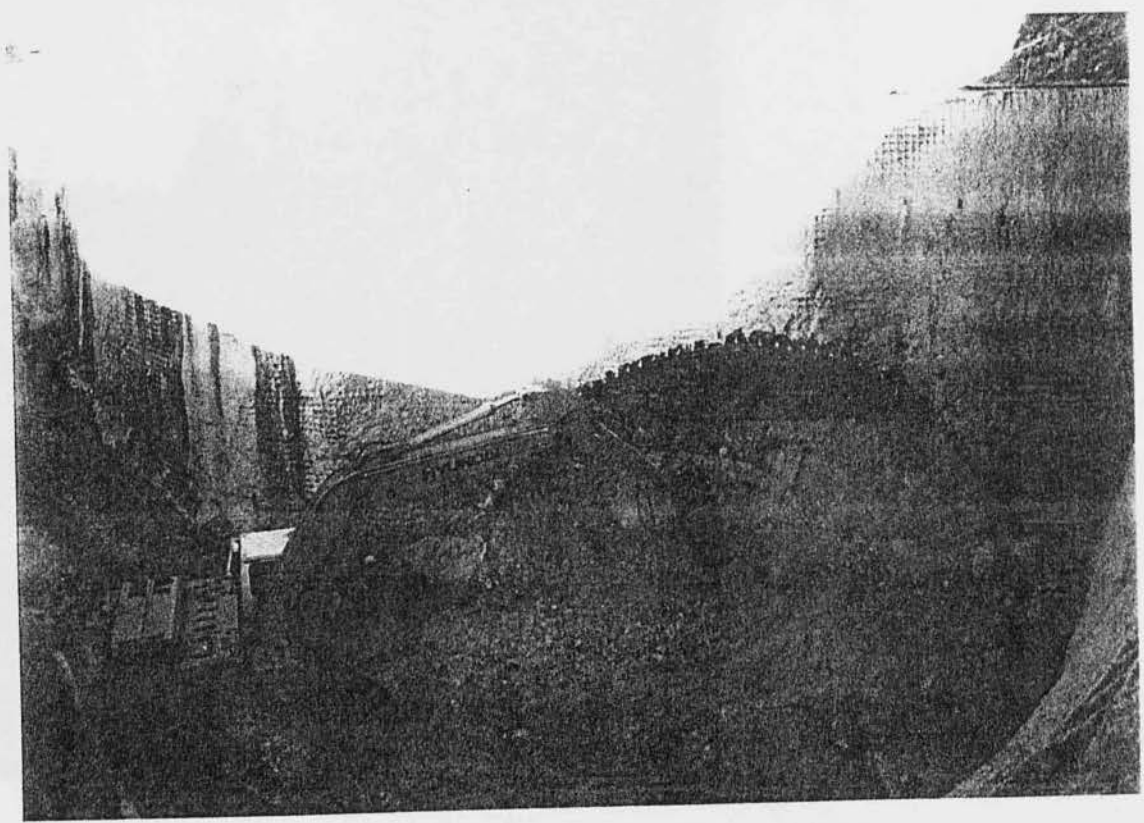
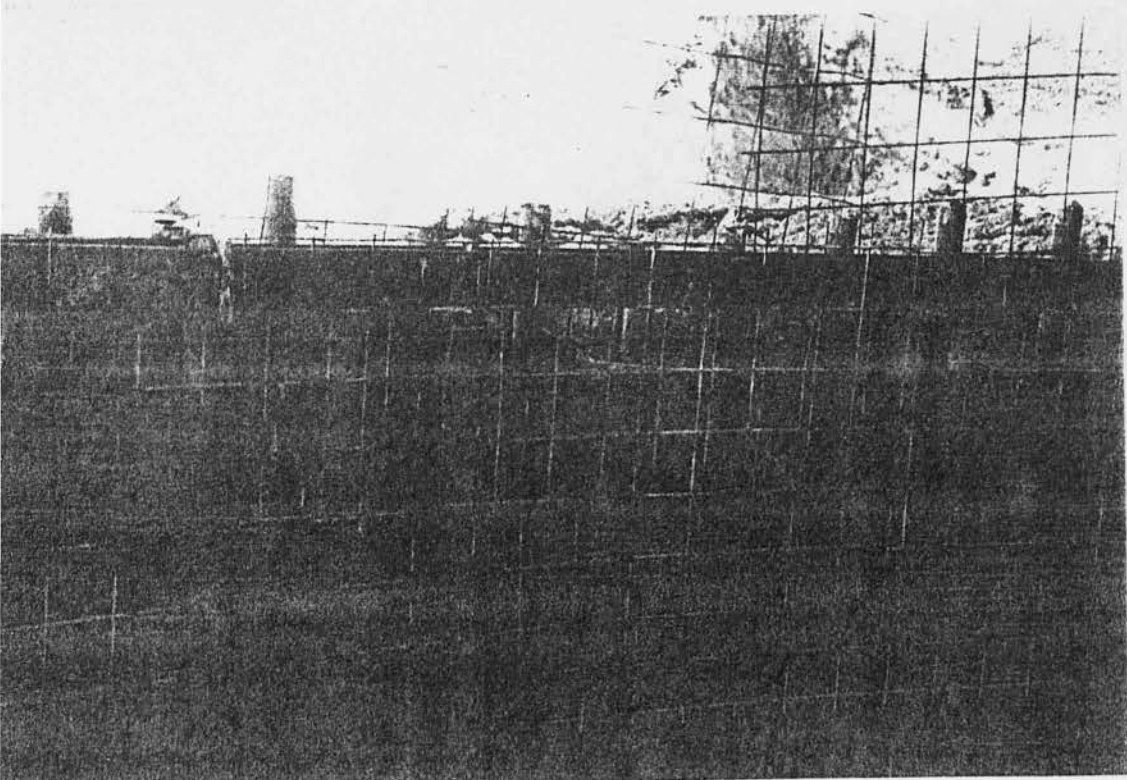


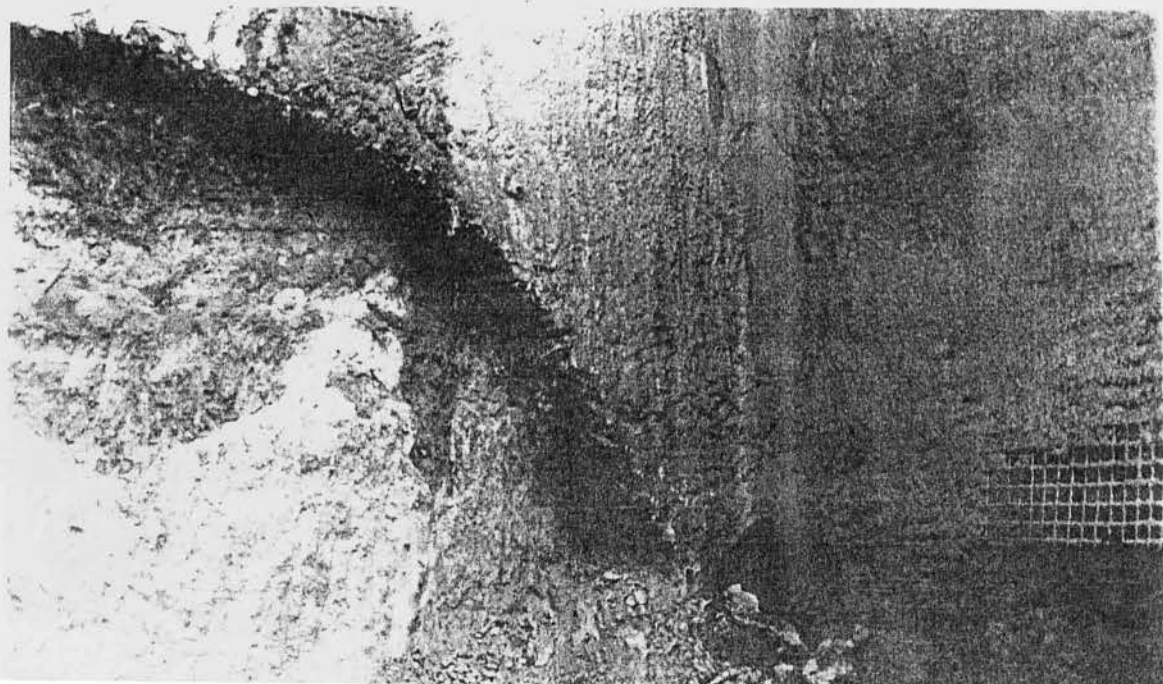
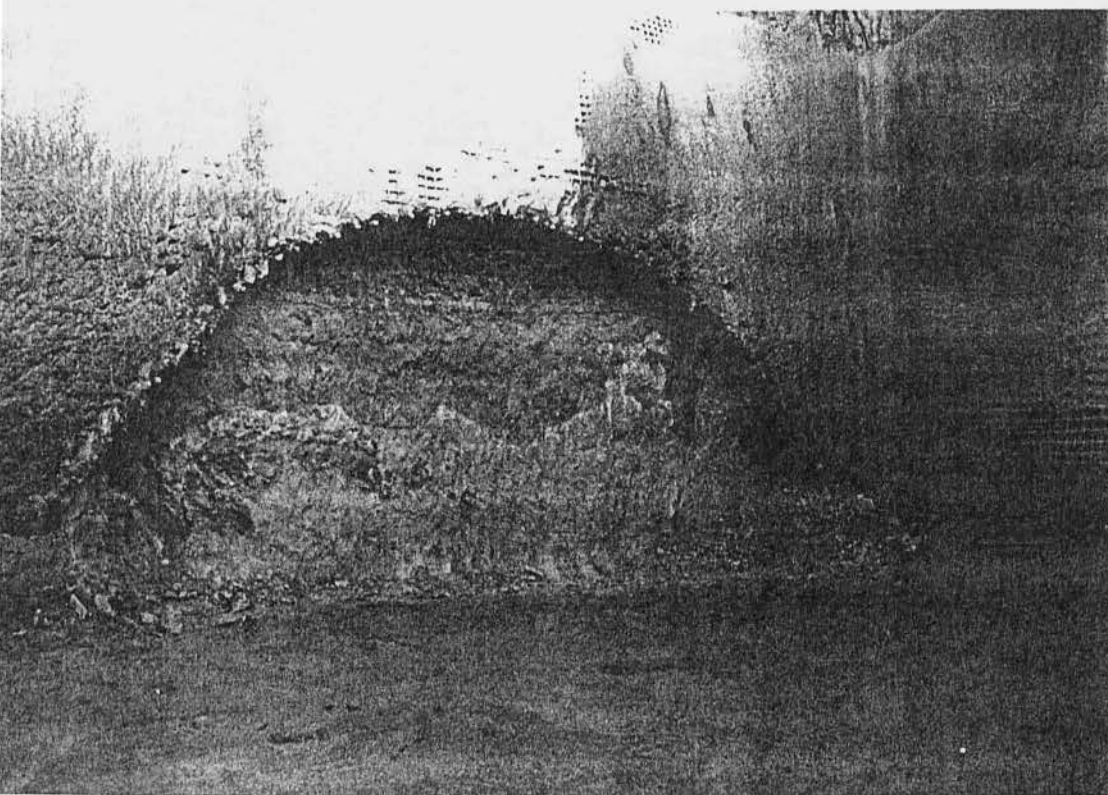
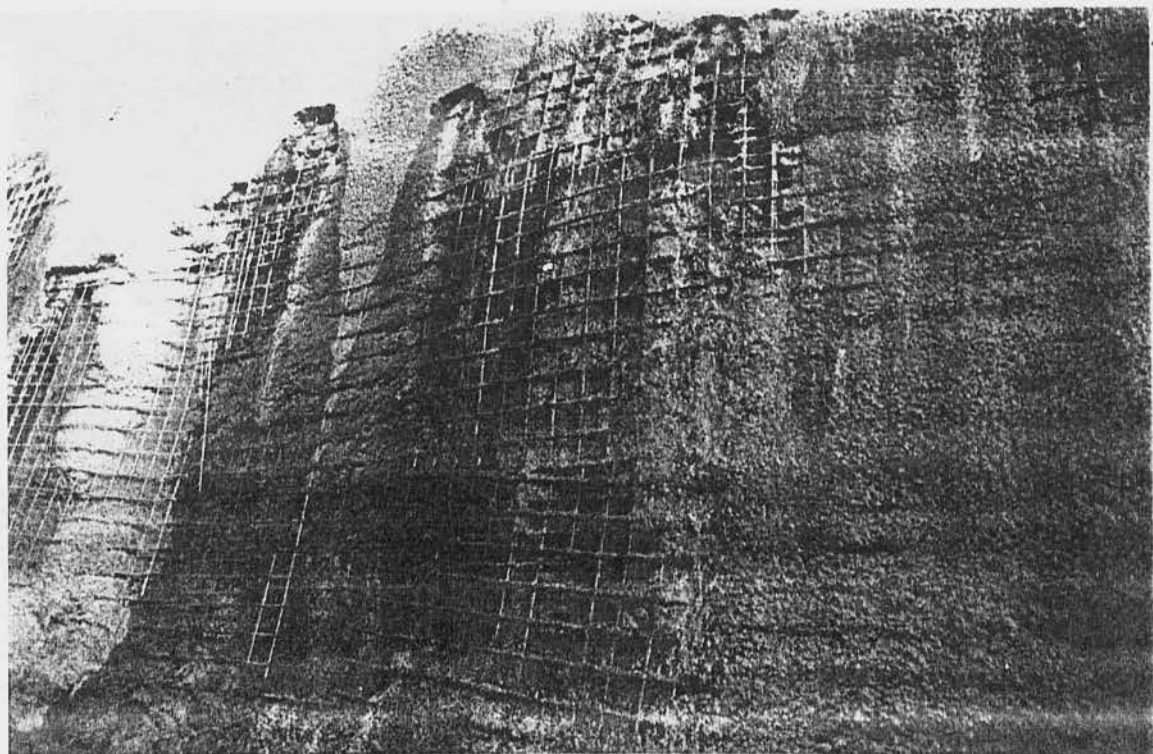


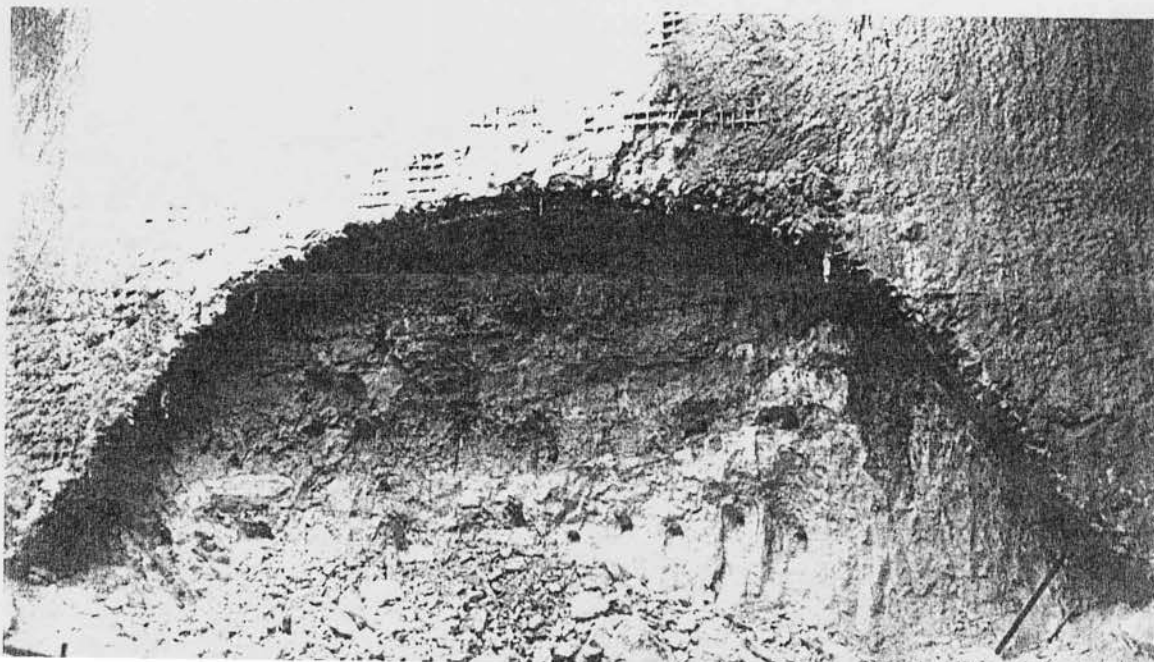
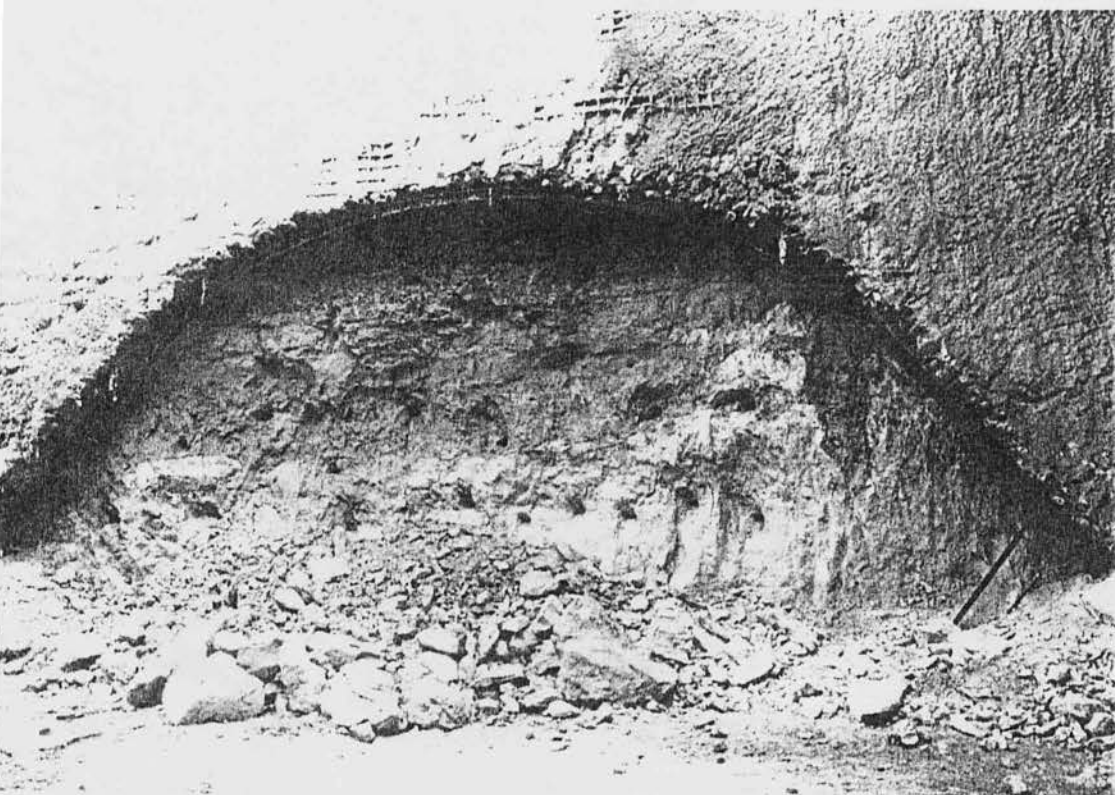
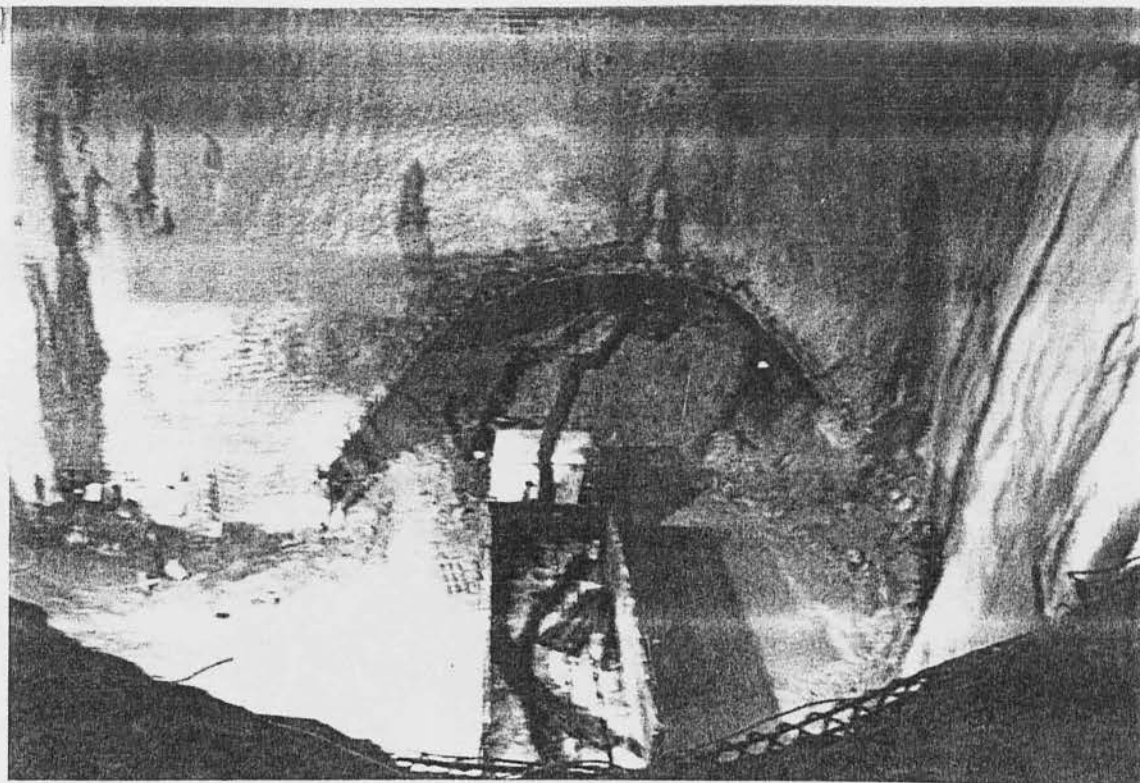


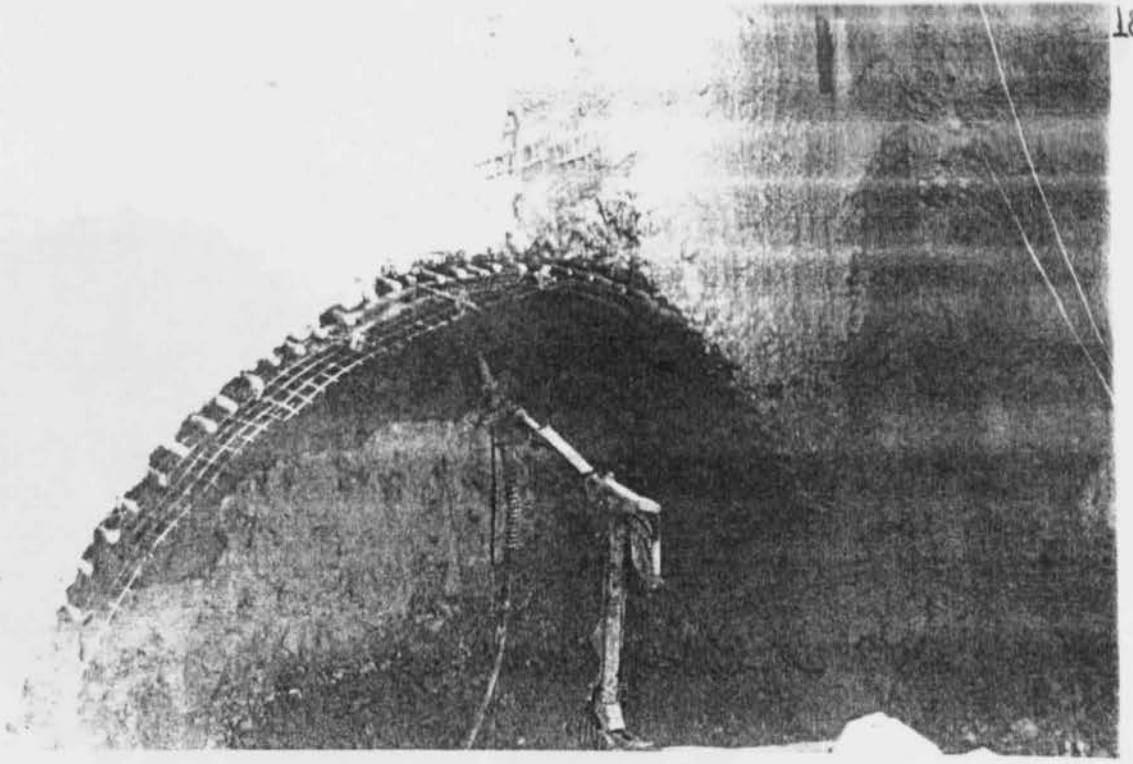


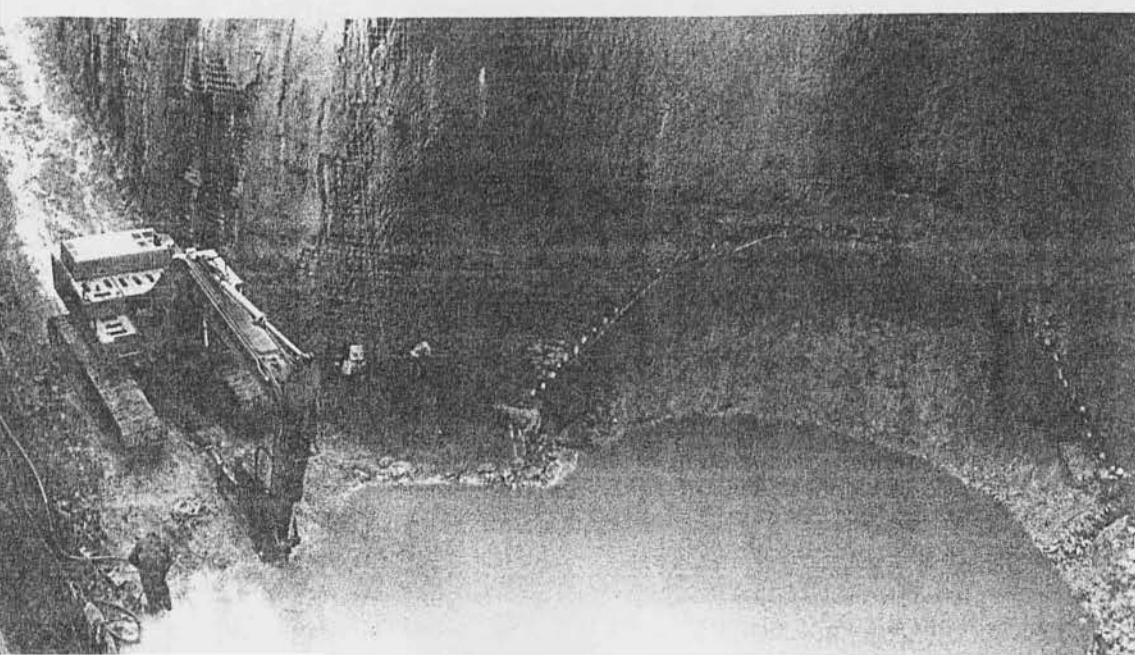
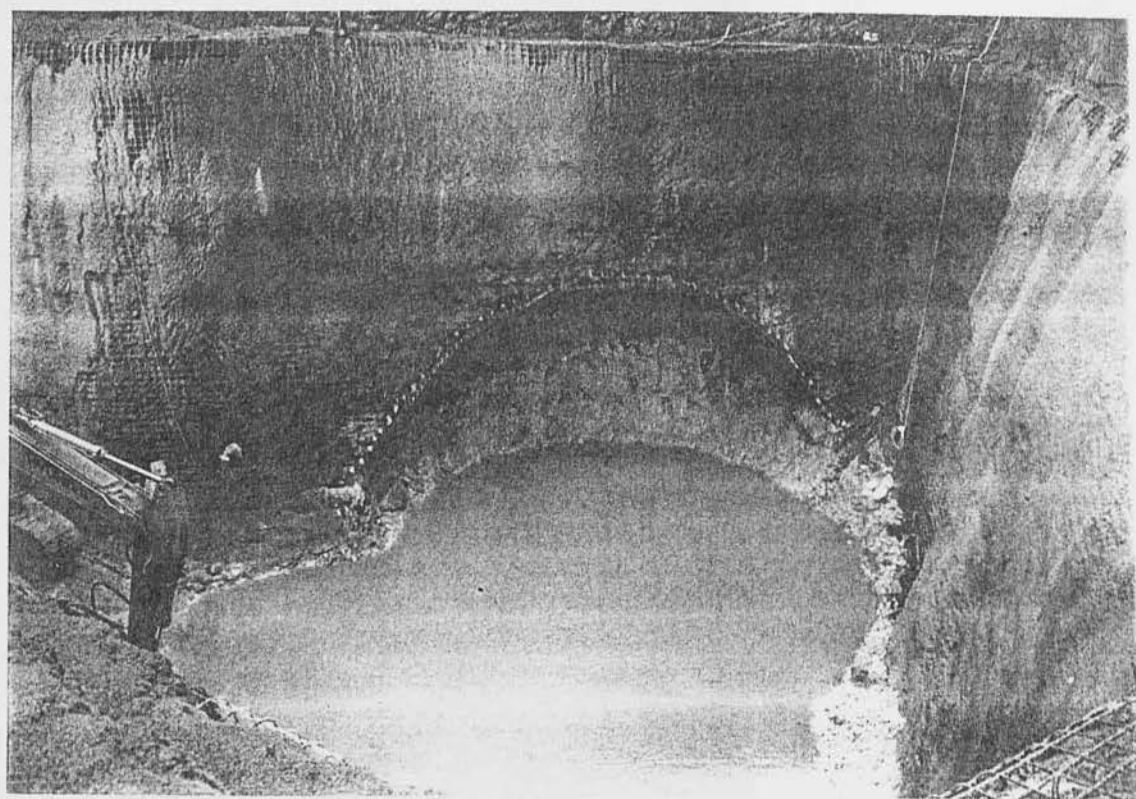
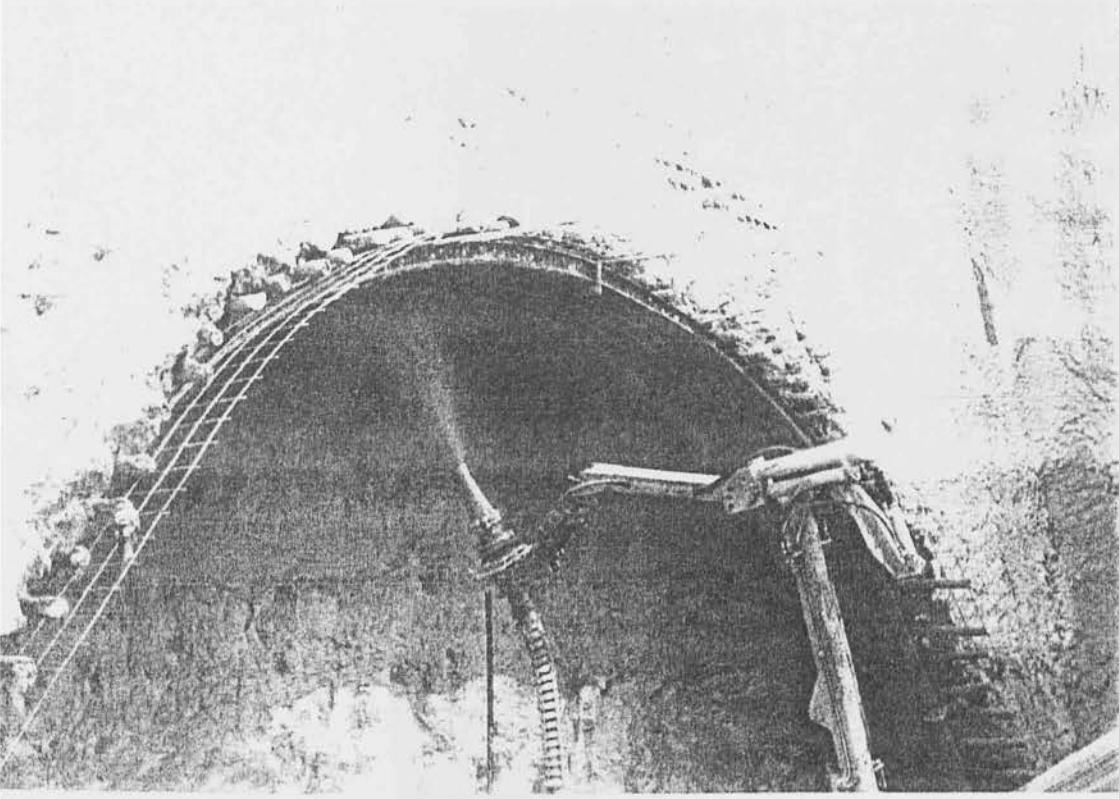


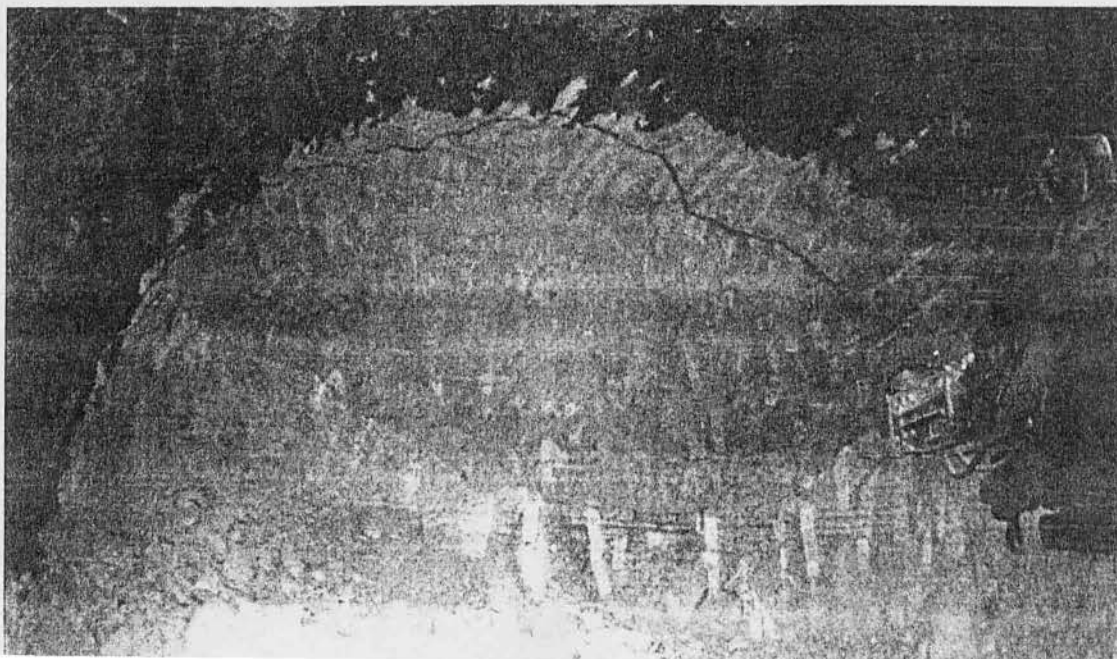
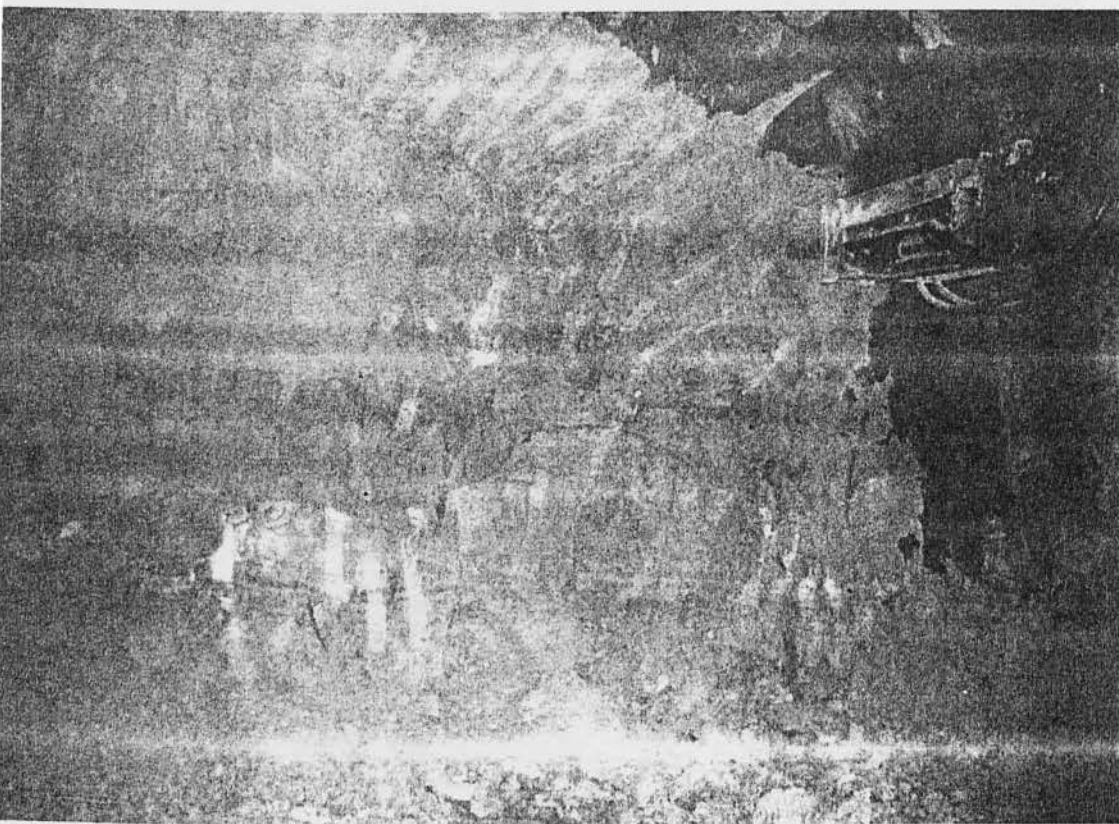
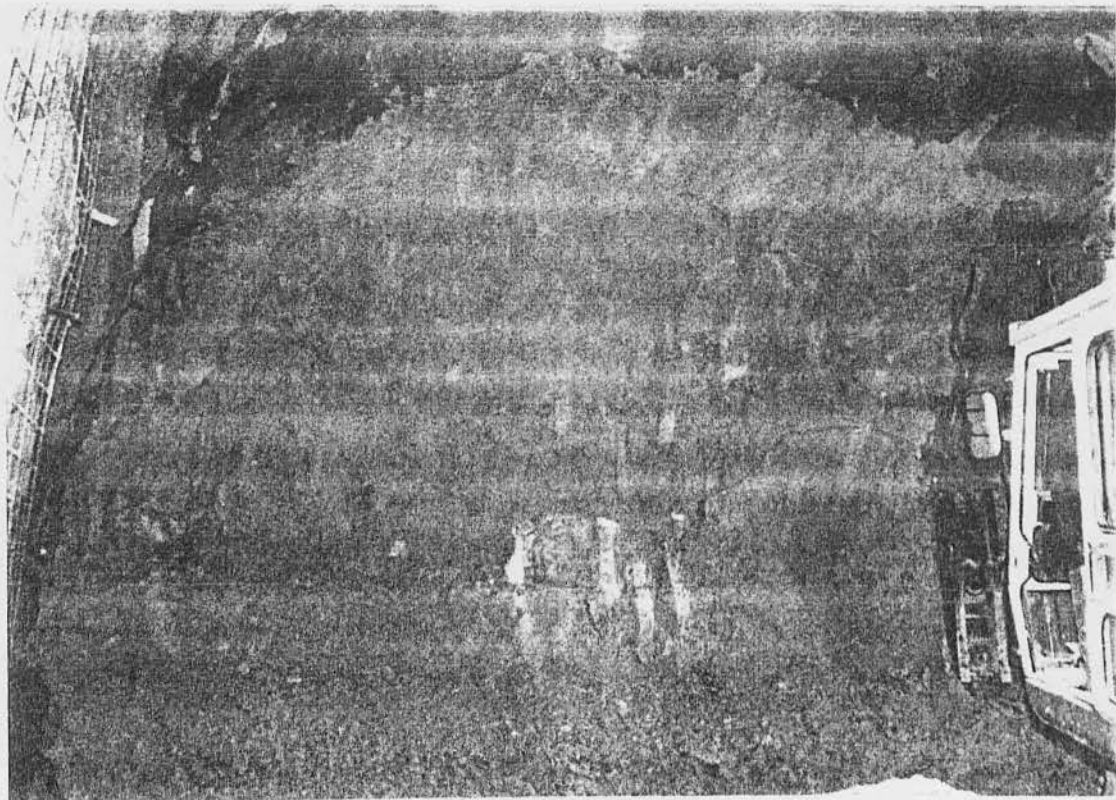


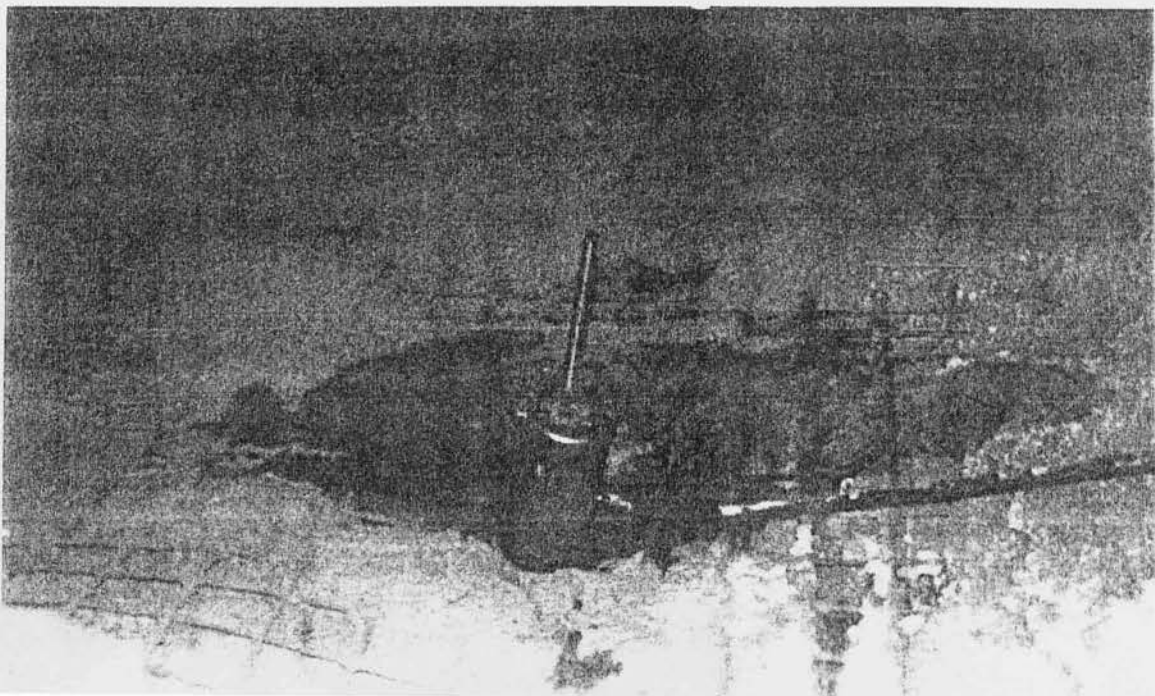
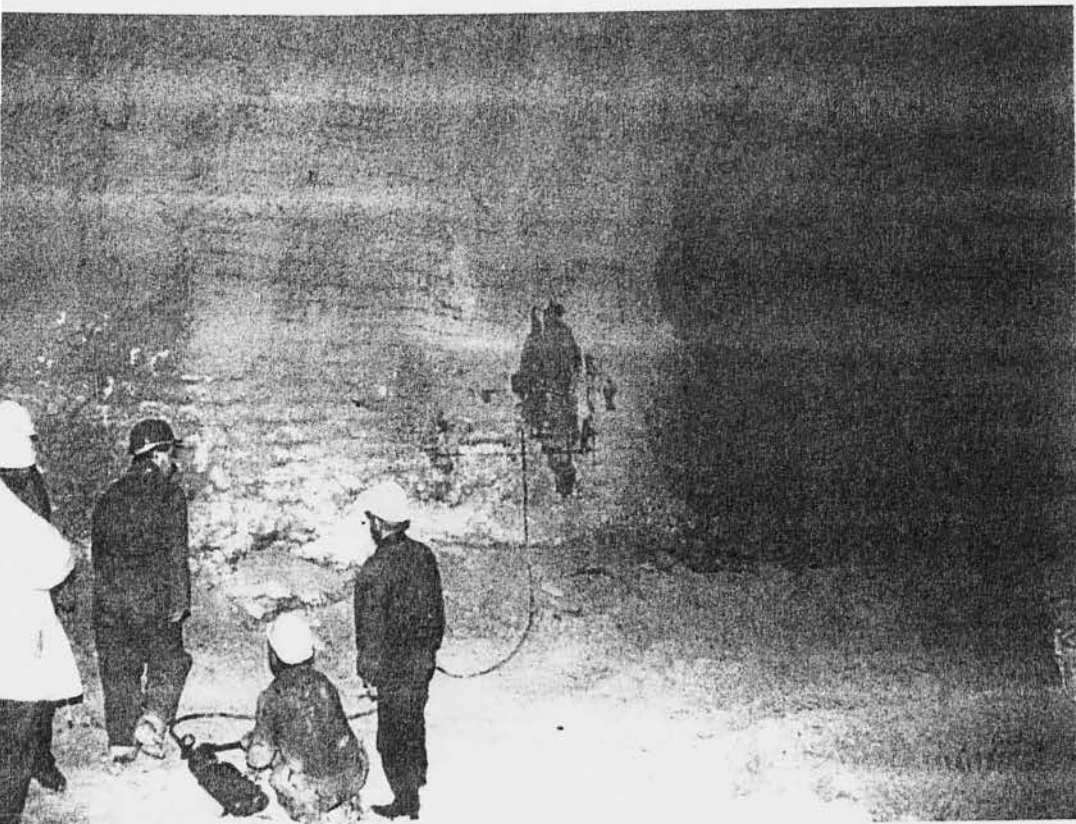


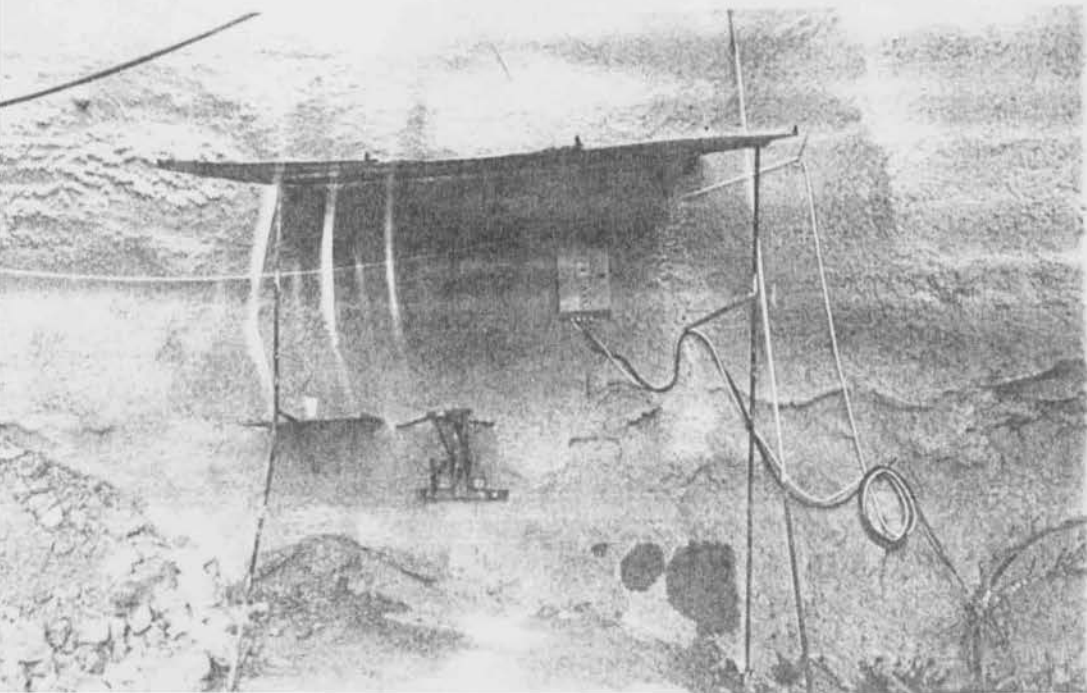
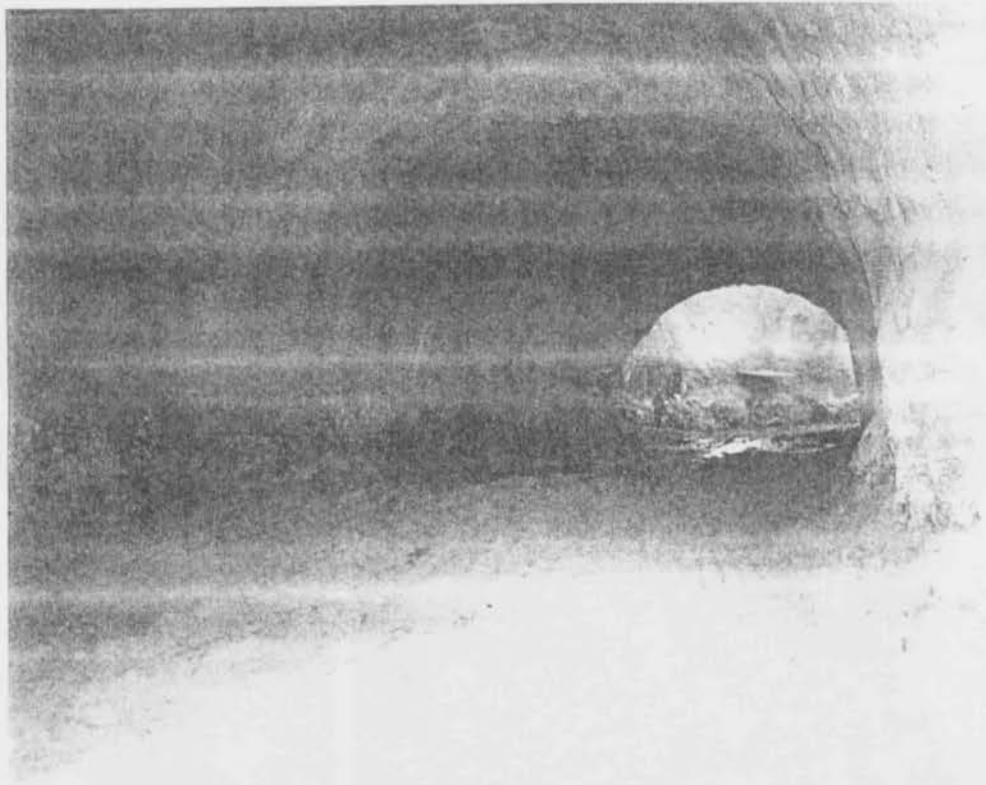


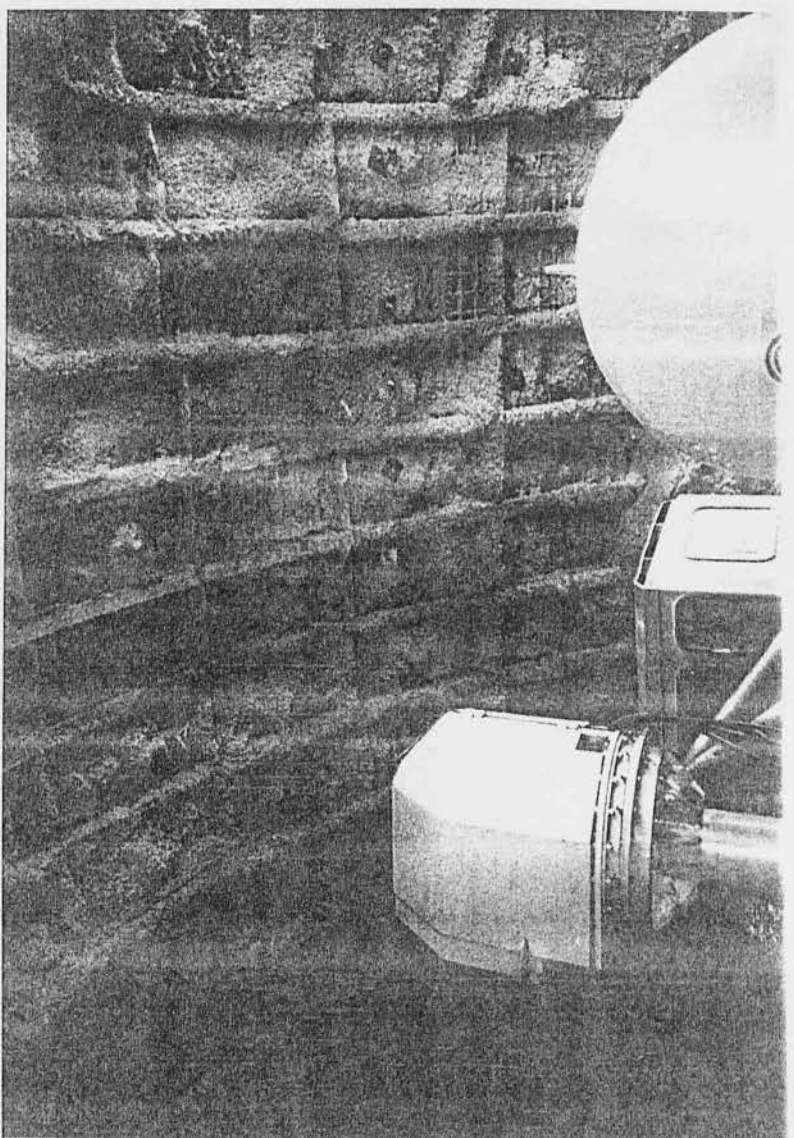
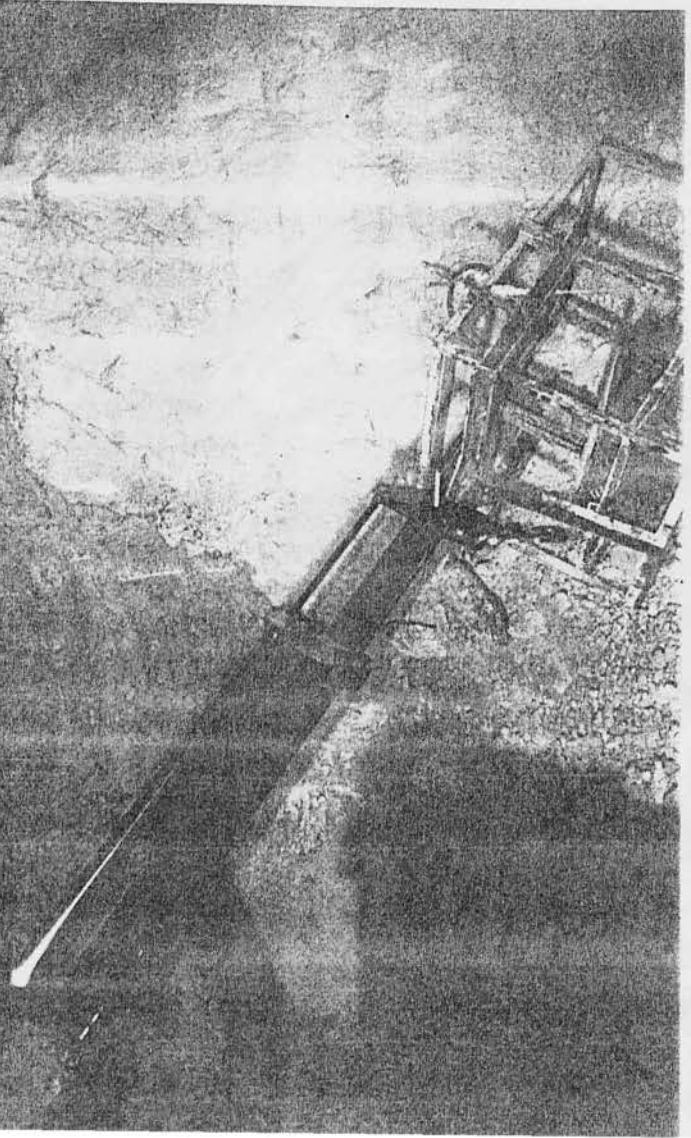
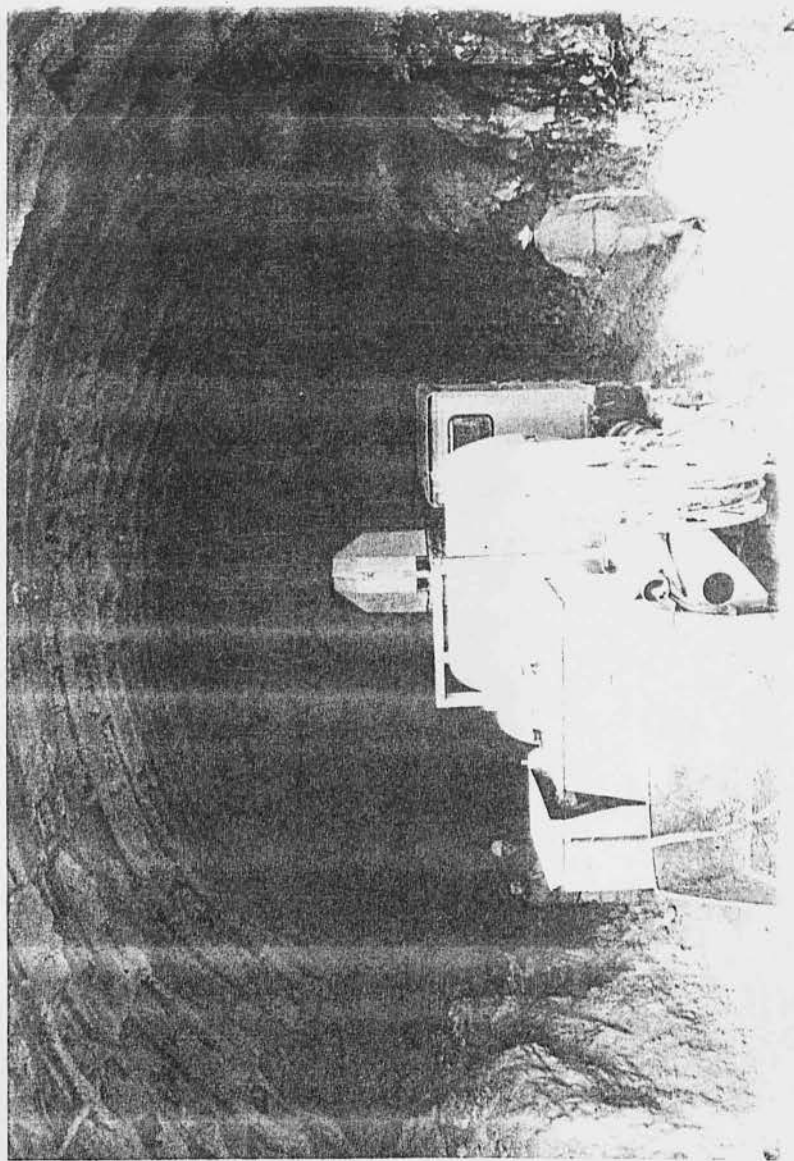


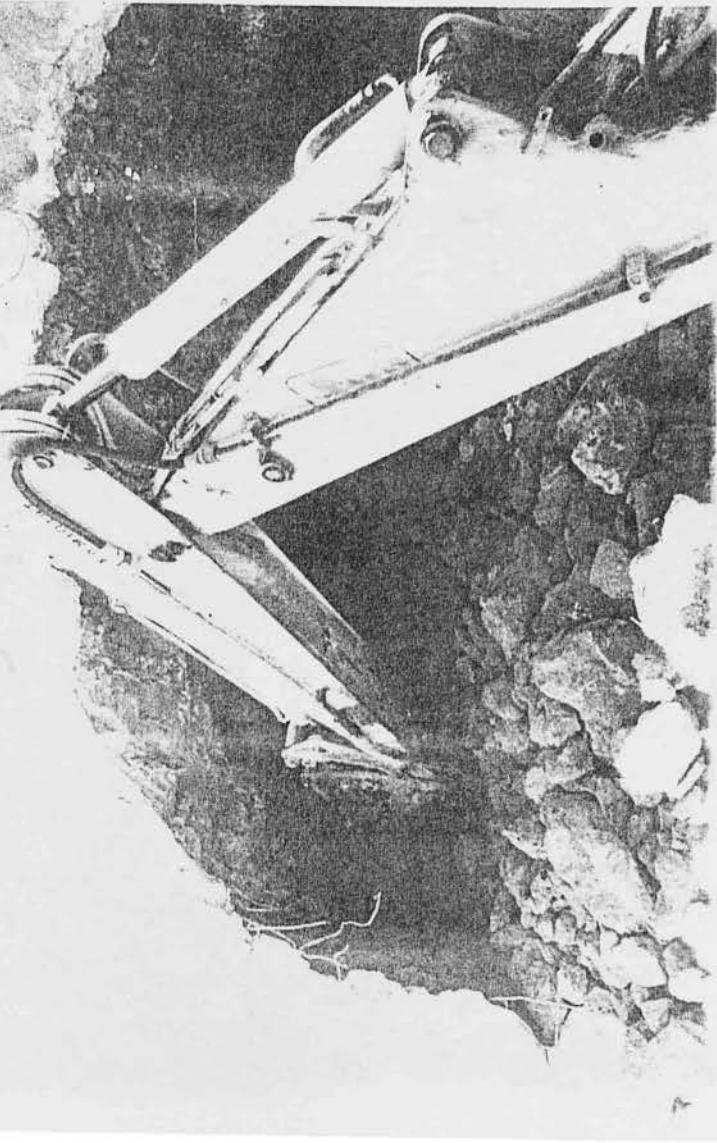
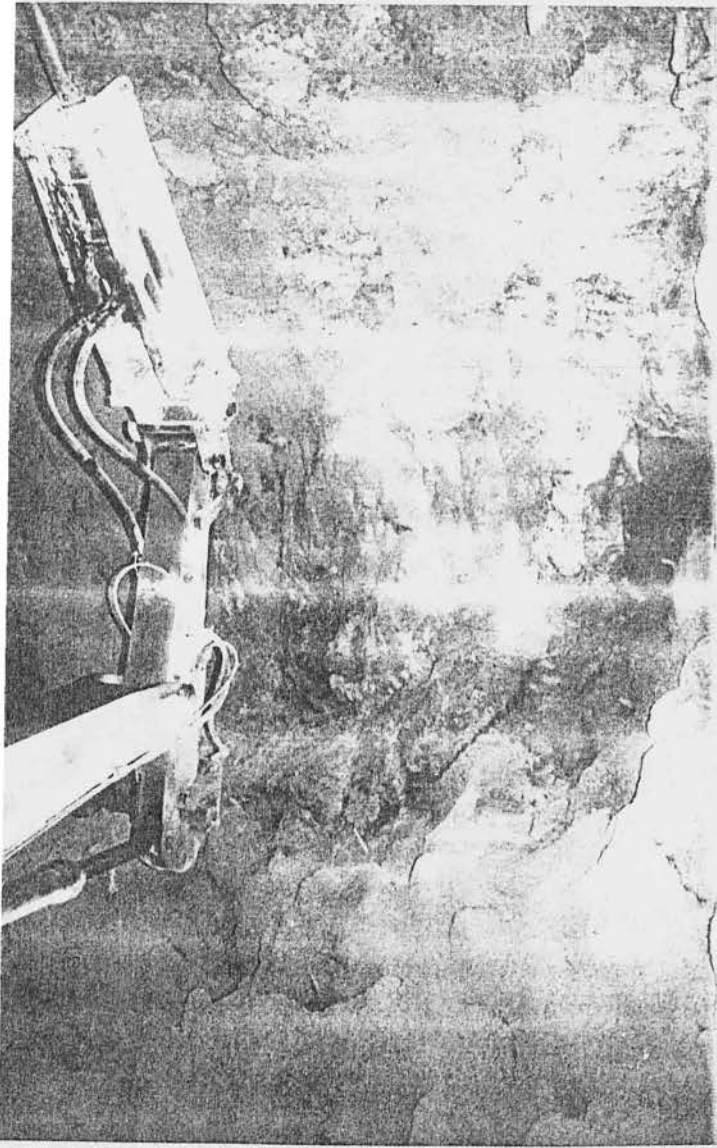


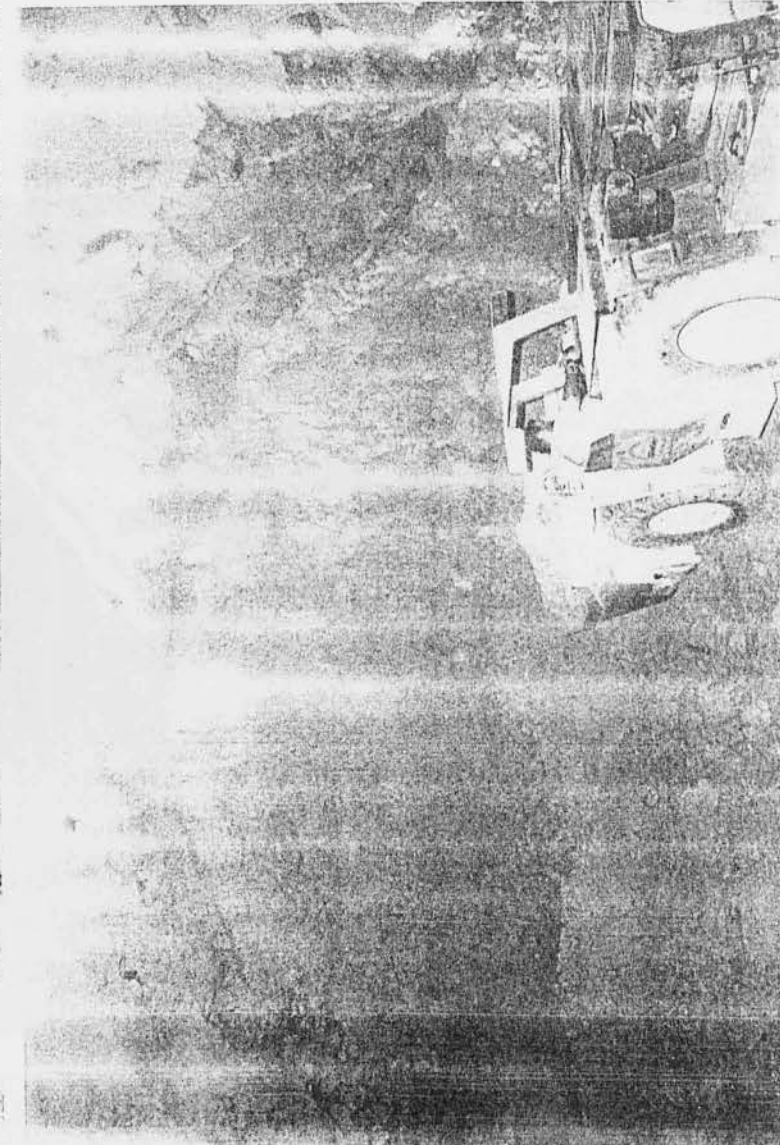
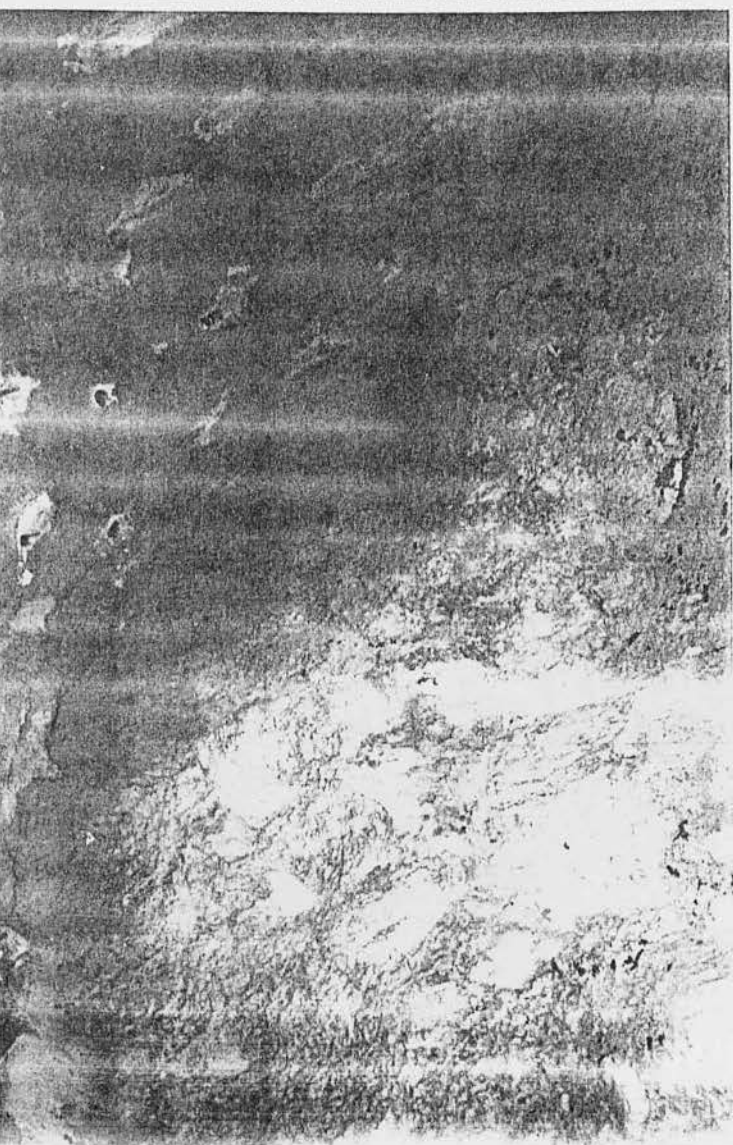


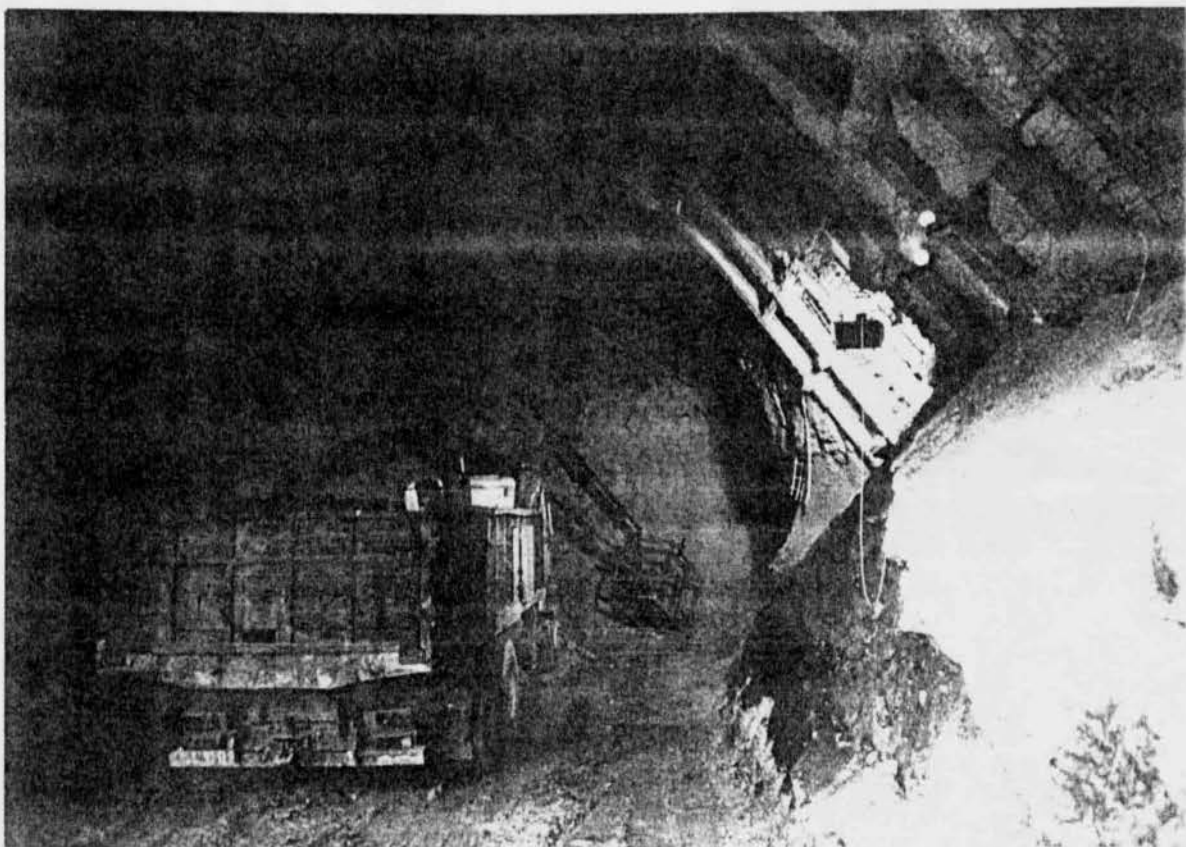
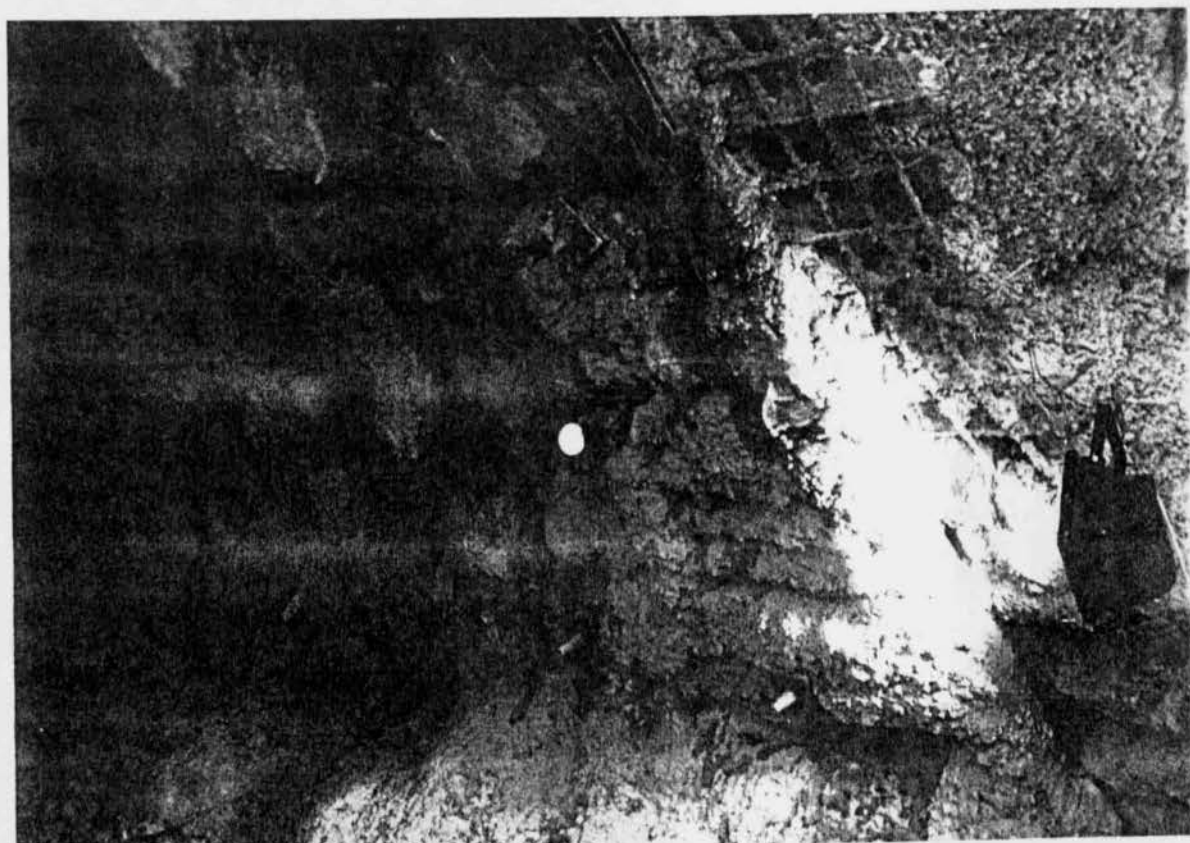


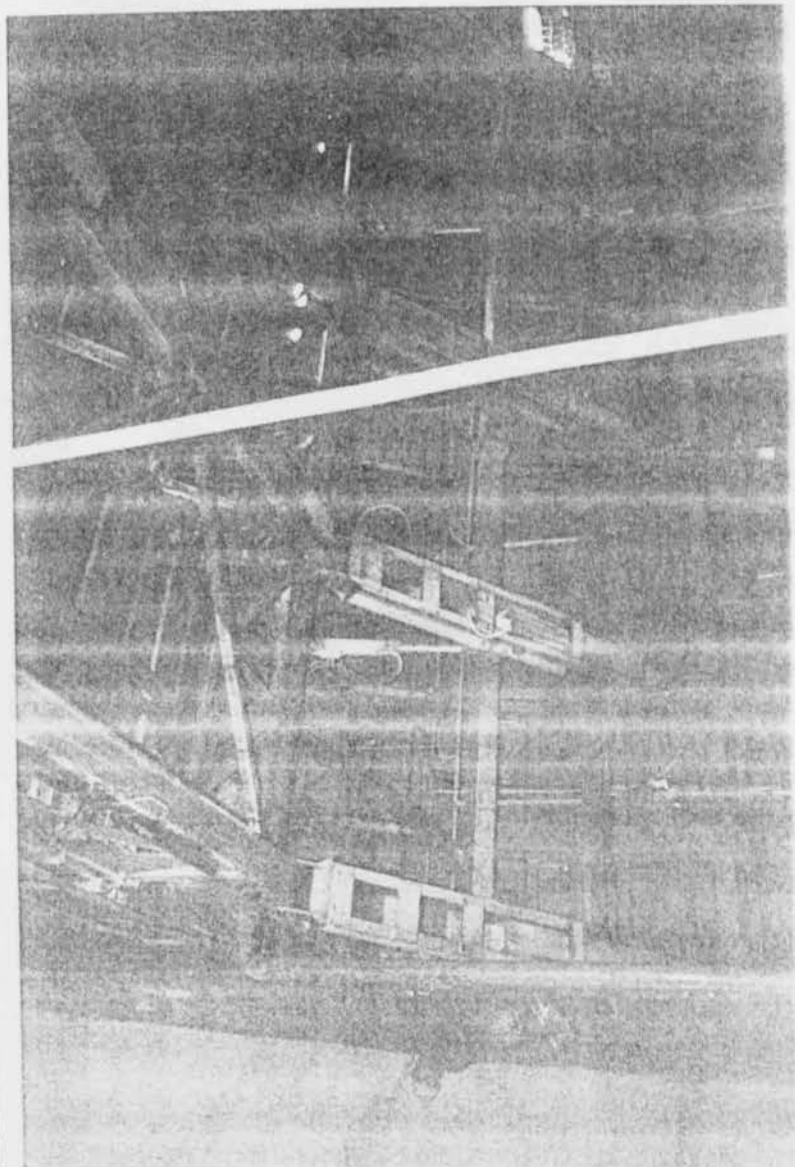
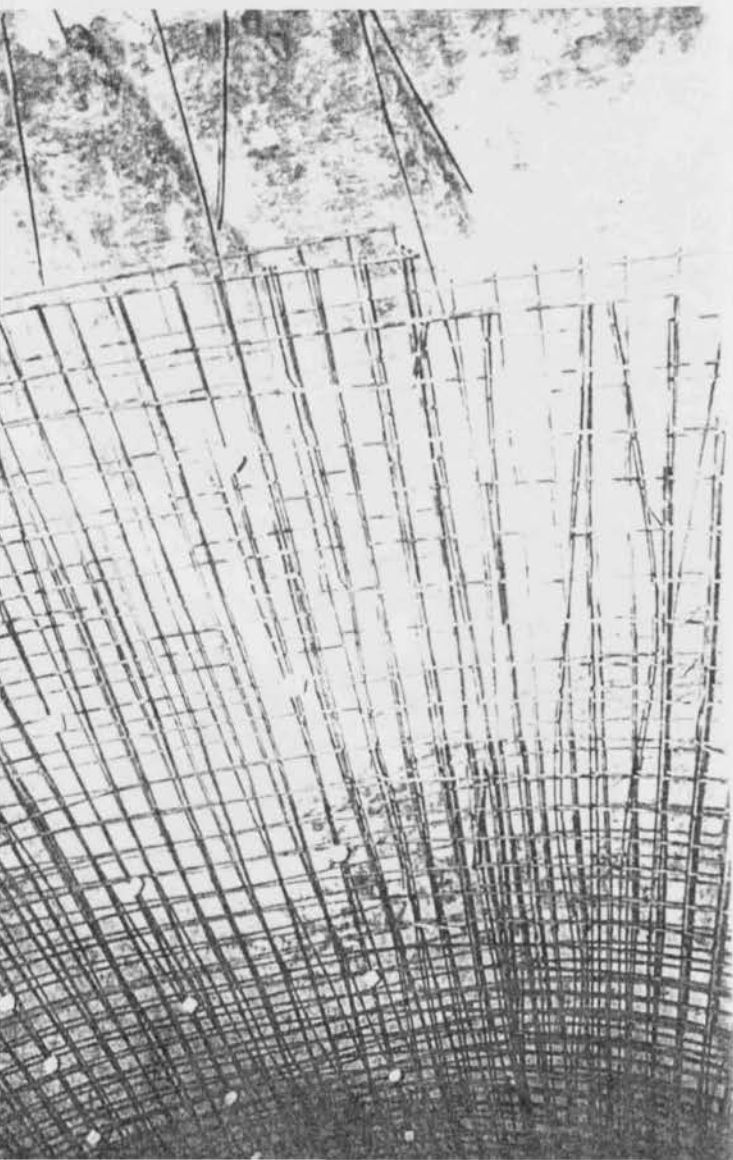
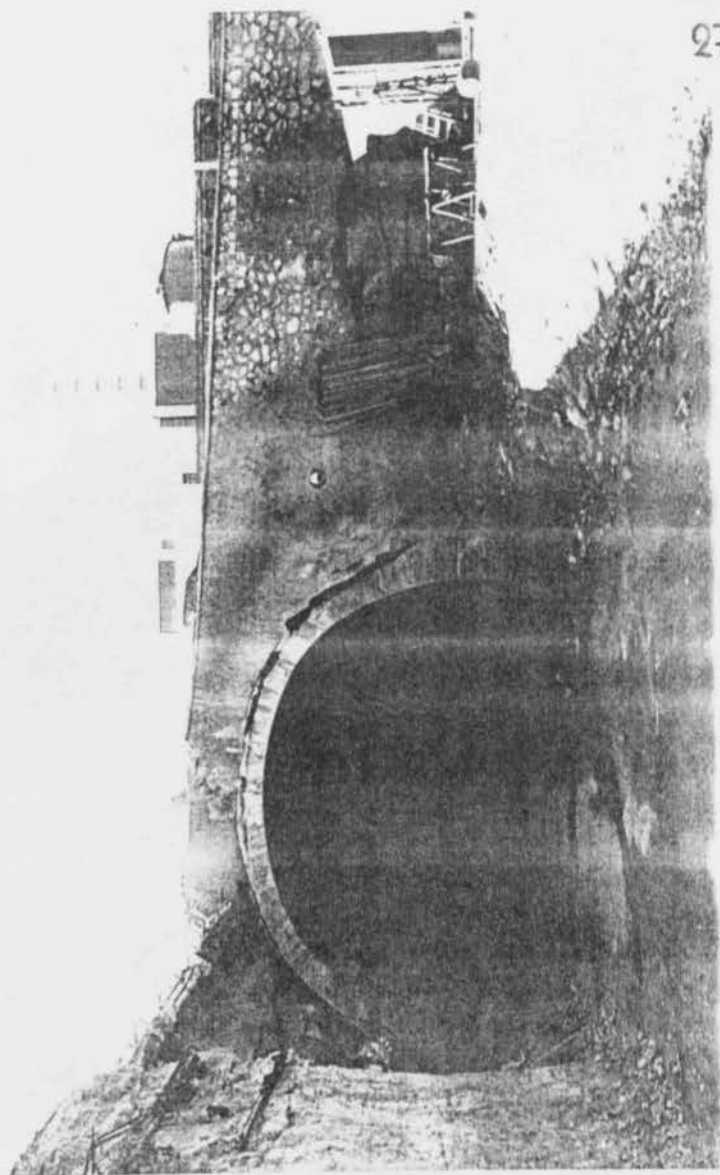


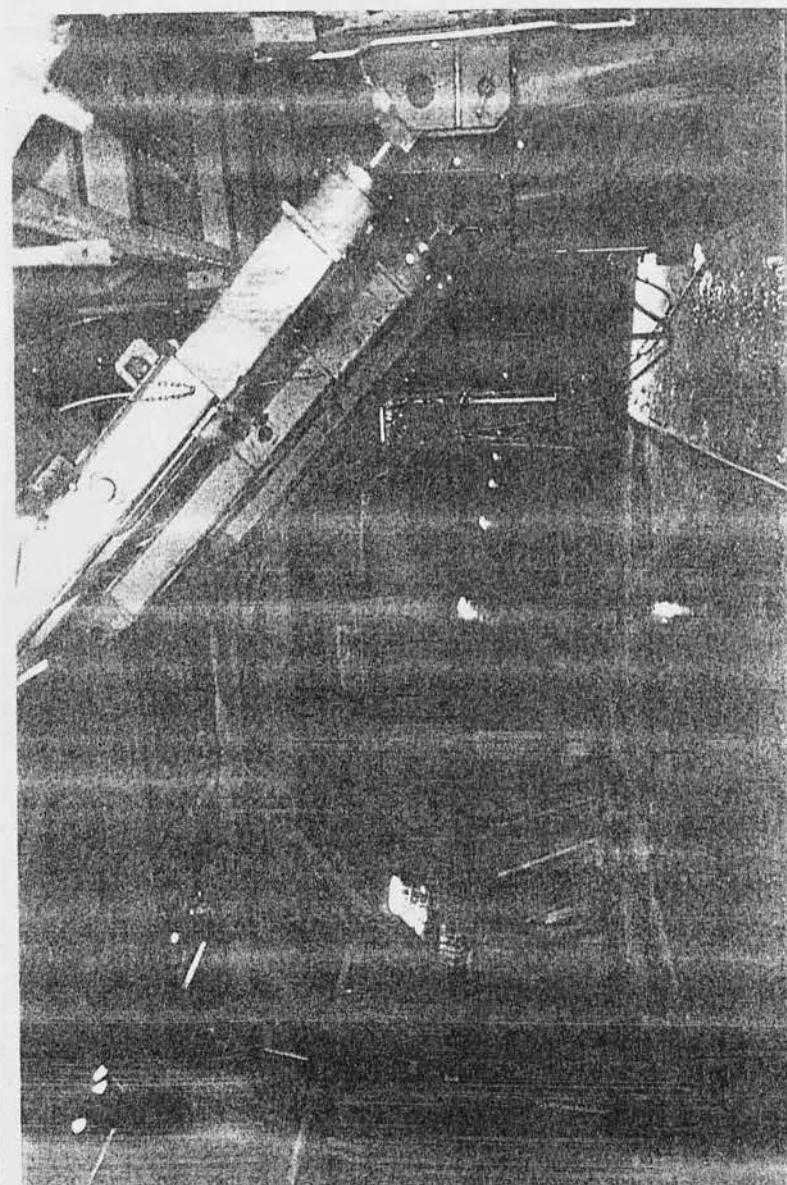
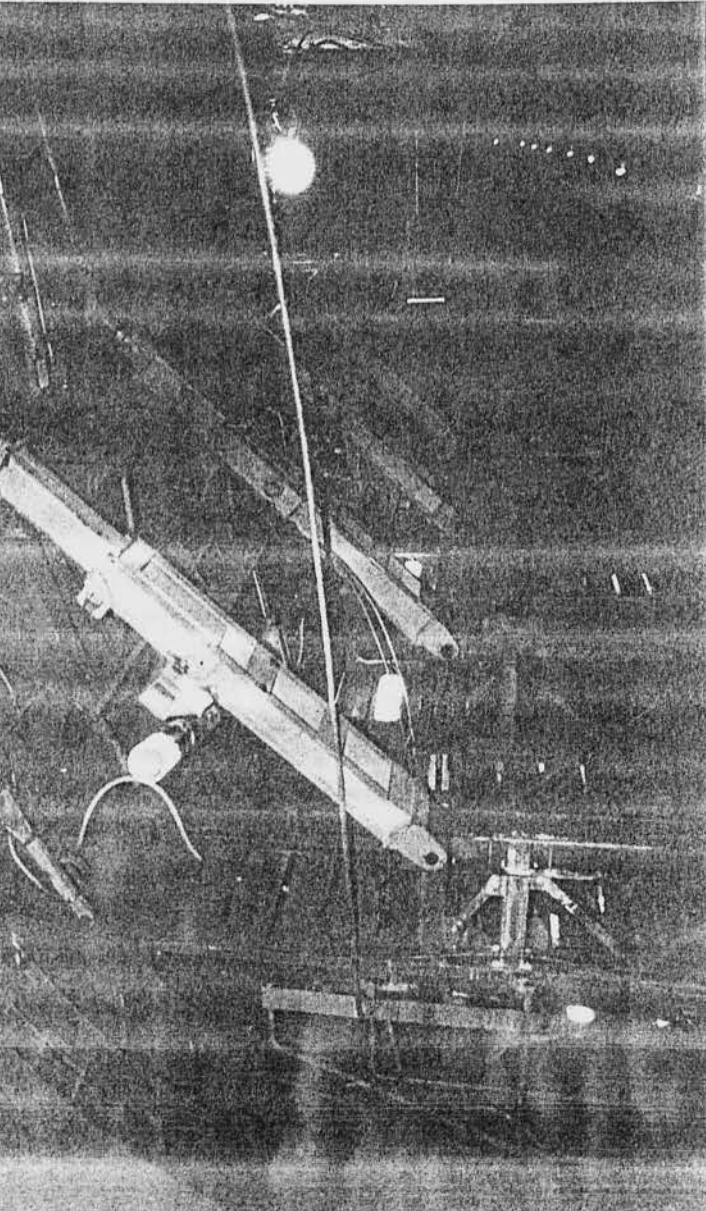
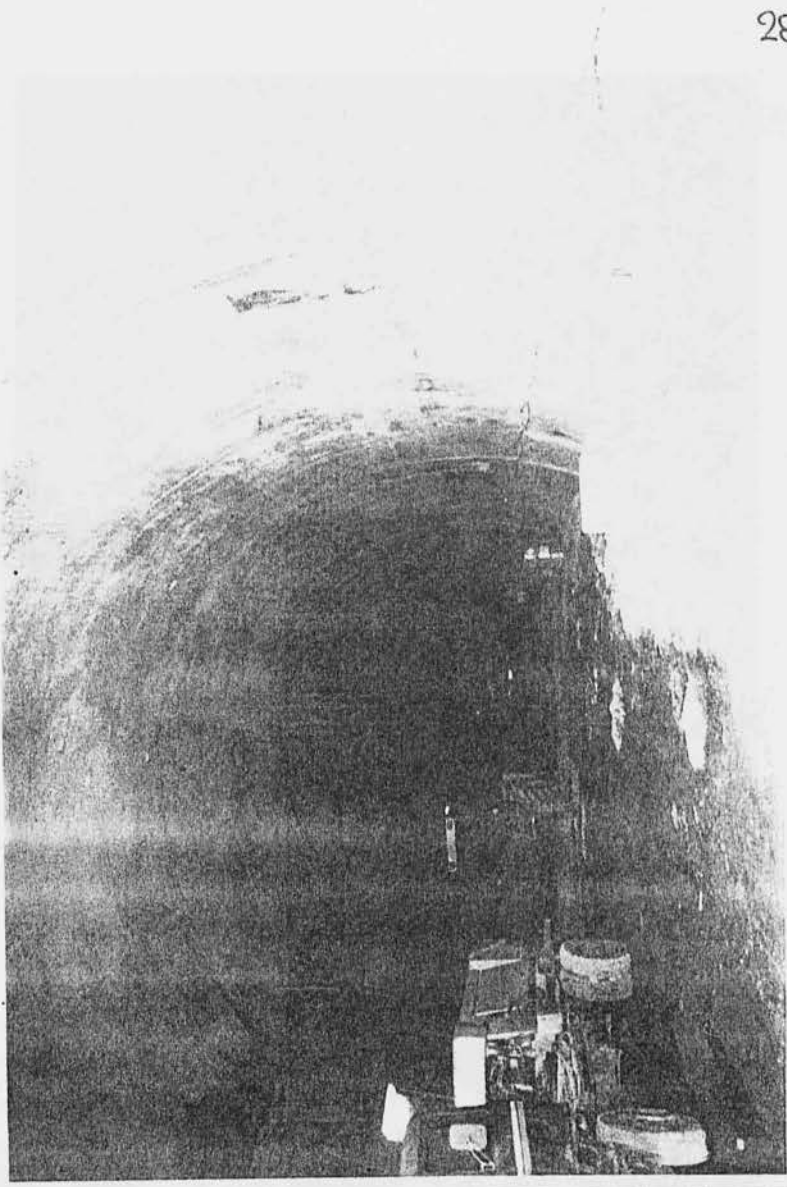
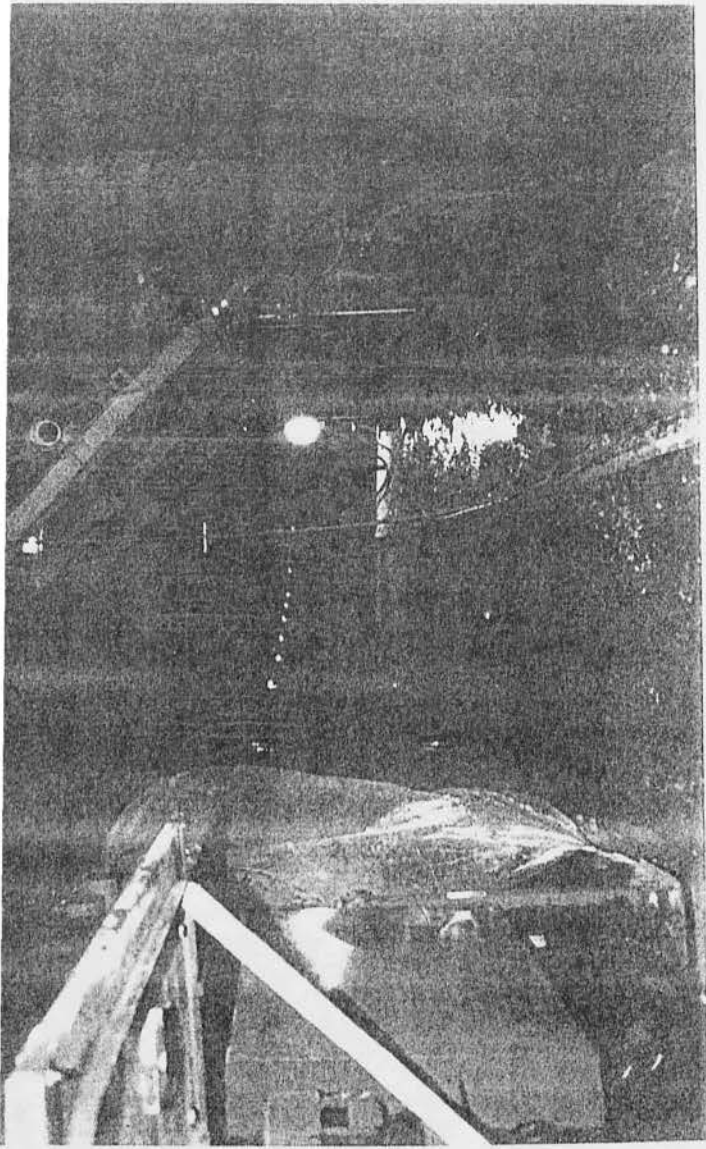


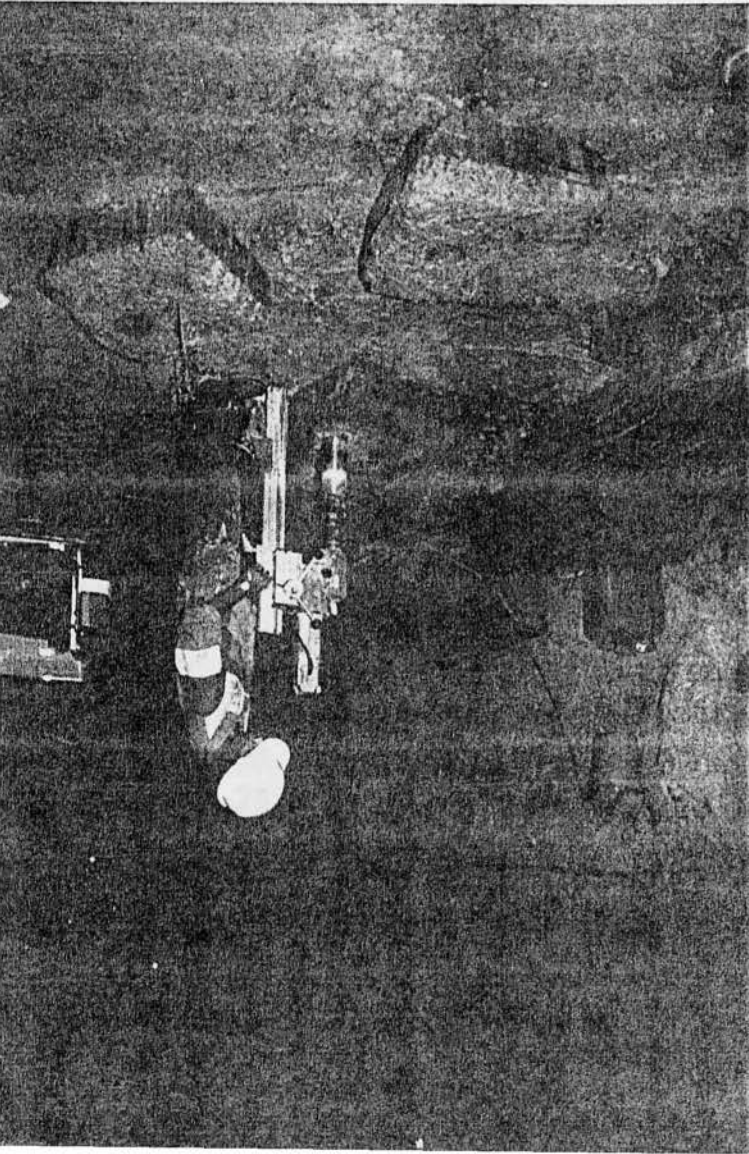
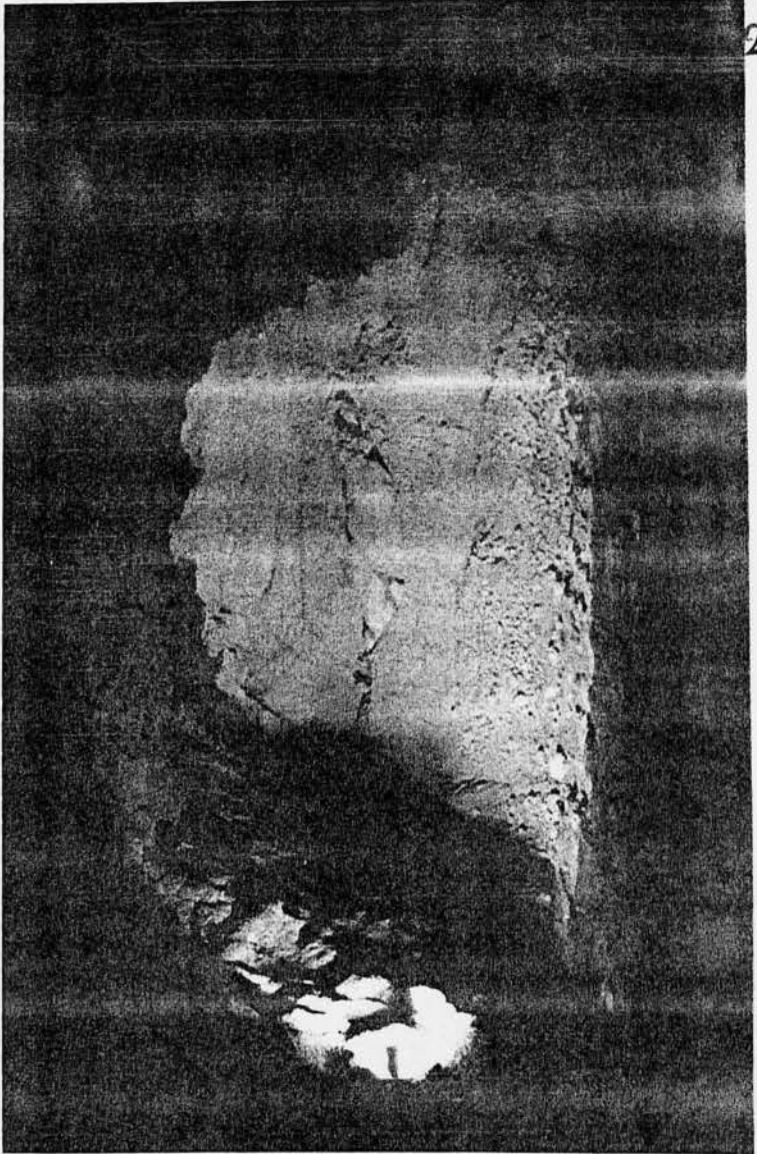












ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΜΕΤΣΟΒΟΥ

ΤΙΤΛΟΙ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

1. Επένδυση πρανών ανοικτού ορύγματος (προ εισόδου σήραγγας) με σπλισμό, εκτοξευόμενου σκυροδέματος και δοκό-θεμέλιο ποδός.
2. Ως άνω.
3. Τελική μορφή τοίχου επένδυσης πρανούς με σιδηρά εγκάρσια αγκύρια (διακρίνεται το σύστημα εισαγωγής ενέματος στις σπές των αγκυρίων).
4. Μέτωπο, γενική άποψη εισόδου σήραγγας.
5. Τοποθέτηση τοξωτού πλαισίου.
6. Εκσκαφή με εκρηκτικά: γόμωση διατρήσεων με εκρηκτικές ύλες.
7. Μέτωπο εκσκαφής, ενδιάμεση φάση.
8. Ομοίως με το 7.
9. Ομοίως με το 7.
10. Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο μέτωπο για διαμόρφωση πυρήνα προστασίας μετώπου.
11. Γεωτρύπανο κατά τη διάρκεια της διάτρησης.
12. Ενεμάτωση αγκυρίων οροφής.
13. Γεωτρύπανο και φορτωτής.
14. Γεωτρύπανο κατά τη διάρκεια της διάτρησης.
15. Συγκρότημα-εκτοξευτήρας σκυροδέματος.
16. Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος.
17. Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος με spraymec.
18. Διάτρηση μετώπου με γεωτρύπανο οριζόντιας διάτρησης για τοποθέτηση σωλήνων προπορείας.
19. Μέτωπο εκσκαφής, ενδιάμεση φάση. Διακρίνεται ότι έχει εφαρμοστεί εκτοξευόμενο σκυροδέμα για διαμόρφωση πυρήνα προστασίας μετώπου.
20. Τοποθέτηση τοξωτού πλαισίου κάτω από σωλήνες προπορείας. Διακρίνονται επίσης βλήτρα προπορείας σταθεροποίησης μετώπου εκσκαφής.
21. α. Διάτρηση για τοποθέτηση σωλήνων στους πόδες των πλαισίων με γεωτρύπανο ruma 700.
β. Πάκτωση σωλήνων στους πόδες των πλαισίων με τσιμεντένεμα.
22. Πάκτωση σωλήνων προπορείας με μηχανή ενεμάτωσης.
23. Αποστραγγιστικές διατρήσεις για συλλογή υπογείων υδάτων.
24. Αριστερός κλάδος σήραγγας Καλαμίων.
25. Εξόλκευση.
26. Γενική άποψη εισόδου σήραγγας Καλαμίων.
27. Γενική άποψη εισόδου σήραγγας Καλαμίων στην οποία φαίνονται τα τοξωτά πλαίσια επενδεδειμένα με εκτοξευόμενο σκυροδέμα καθώς και τα πρανή του περιβάλλοντα χώρου επενδεδειμένα κι αυτά για σταθεροποίηση των γαιών.
28. Γενική άποψη εξόδου σήραγγας Καλαμίων.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΜΕΤΣΟΒΟΥ

ΤΙΤΛΟΙ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

1. Επένδυση πρανών ανοικτού ορύγματος (προ εισόδου σήραγγας) με οπλισμό, εκτοξευόμενου σκυροδέματος και δοκό-θεμέλιο ποδός.
2. Ως άνω.
3. Τελική μορφή τοίχου επένδυσης πρανούς με σιδηρά εγκάρσια αγκύρια (διακρίνεται το σύστημα εισαγωγής ενέματος στις οπές των αγκυρίων).
4. Μέτωπο, γενική άποψη εισόδου σήραγγας.
5. Τοποθέτηση τοξωτού πλαισίου.
6. Εκσκαφή με εκρηκτικά: γόμωση διατρήσεων με εκρηκτικές ύλες.
7. Μέτωπο εκσκαφής, ενδιάμεση φάση.
8. Ομοίως με το 7.
9. Ομοίως με το 7.
10. Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο μέτωπο για διαμόρφωση πυρήνα προστασίας μετώπου.
11. Γεωτρύπανο κατά τη διάρκεια της διάτρησης.
12. Ενεμάτωση αγκυρίων οροφής.
13. Γεωτρύπανο και φορτωτής.
14. Γεωτρύπανο κατά τη διάρκεια της διάτρησης.
15. Συγκρότημα-εκτοξευτήρας σκυροδέματος.
16. Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος.
17. Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος με spraymec.
18. Διάτρηση μετώπου με γεωτρύπανο οριζόντιας διάτρησης για τοποθέτηση σωλήνων προπορείας.
19. Μέτωπο εκσκαφής, ενδιάμεση φάση. Διακρίνεται ότι έχει εφαρμοστεί εκτοξευόμενο σκυροδέμα για διαμόρφωση πυρήνα προστασίας μετώπου.
20. Τοποθέτηση τοξωτού πλαισίου κάτω από σωλήνες προπορείας. Διακρίνονται επίσης βλήτρα προπορείας σταθεροποίησης μετώπου εκσκαφής.
21. α. Διάτρηση για τοποθέτηση σωλήνων στους πόδες των πλαισίων με γεωτρύπανο ruma 700.
β. Πάκτωση σωλήνων στους πόδες των πλαισίων με τσιμεντένεμα.
22. Πάκτωση σωλήνων προπορείας με μηχανή ενεμάτωσης.
23. Αποστραγγιστικές διατρήσεις για συλλογή υπογείων υδάτων.
24. Αριστερός κλάδος σήραγγας Καλαμίων.
25. Εξόλκευση.
26. Γενική άποψη εισόδου σήραγγας Καλαμίων.
27. Γενική άποψη εισόδου σήραγγας Καλαμίων στην οποία φαίνονται τα τοξωτά πλαίσια επενδεδειμένα με εκτοξευόμενο σκυροδέμα καθώς και τα πρανή του περιβάλλοντα χώρου επενδεδειμένα κι αυτά για σταθεροποίηση των γαιών.
28. Γενική άποψη εξόδου σήραγγας Καλαμίων.



