

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΑΚΡΑΤΑΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ  
ΜΕΛΕΤΗ ΜΕ ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ**



**ΕΙΣΗΓΗΤΡΙΑ – ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ:**

**Δρ. Βγενοπούλου Ειρήνη**

Καθηγήτρια Τ.Ε.Ι.

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΕΣ:**

**ΒΕΡΓΙΝΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ**

**ΚΑΣΤΑΝΑ ΑΝΔΡΙΑΝΑ**

**ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΕΙΡΗΝΗ-  
ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ**

**ΠΑΤΡΑ, 2017**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή αποτελεί την πτυχιακή εργασία του Σταύρου Βεργίνη, της Ανδριάνας Καστανά και της Ειρήνης- Αικατερίνης Παπαγεωργίου, Προπτυχιακών φοιτητών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας, στον τομέα της Μηχανικής Πετρωμάτων και Σηράγγων.

Ως θέμα η εργασία μας πραγματεύεται την παρουσίαση της κατασκευής της σήραγγας T13A Ακράτας και τη συγκριτική μελέτη των μέτρων υποστήριξης που εφαρμόστηκαν με αυτά που προκύπτουν από εμπειρικές μεθόδους.

Από την θέση αυτή θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια Ειρήνη Βγενοπούλου, για την καθοδήγηση που μας πρόσφερε αλλά την ουσιαστική υποστήριξη της και το ενδιαφέρον της καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας μας.

Ευχαριστίες , τέλος, οφείλουμε στην Μεταλλιολόγο Μηχανικό Μαρίνα Παπαδήμα για την εξαιρετική της βοήθεια και ξενάγησή στο συγκεκριμένο υπό κατασκευή έργο.

*Πάτρα, 2017*

ΒΕΡΓΙΝΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ  
ΚΑΣΤΑΝΑ ΑΝΔΡΙΑΝΑ  
ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΕΙΡΗΝΗ-ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας είναι η παρουσίαση των μεθόδων διάνοιξης μια σήραγγας και ο τρόπος διάνοιξης της σήραγγας T13A. Επίσης η παρουσίαση των εμπειρικών μεθόδων που ισχύουν για τη διάνοιξη σηράγγων και που προτείνουν τα αντίστοιχα μέτρα υποστήριξης. Τέλος, η συγκριτική μελέτη των εφαρμοσθέντων μέτρων που προέκυψαν από την αναλυτική λύση του μελετητή με αυτά που προβλέπονται από τις εμπειρικές μεθόδους.

Η πτυχιακή μας εργασία είναι δομημένη σε τέσσερα κεφάλαια, στα οποία :

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται τις τέσσερις πιο σύνηθες μεθόδους διάνοιξης σηράγγων, με φωτογραφίες και παραδείγματα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται τα γεωτεχνικά - σεισμολογικά στοιχεία του υπεδάφους στην τοποθεσία όπου κατασκευάζεται η Σήραγγα T13A αλλά και στην ευρύτερη περιοχή του Νομού Αχαΐας, την οποία παρουσιάζουμε ως παράδειγμα εφαρμογής μετέπειτα στο κεφάλαιο τέσσερα.

Το τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται οι πιο διαδεδομένες μεθόδους κατάταξης των εδαφών, οι οποίες είναι οι: TERZAGHI , BIENIAWSKI (RMR), N.BARTON, R.LIEN, J.LUNDE και G.S.I.

Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται η διαδικασία διάνοιξης - υποστήριξης και τα κατασκευαστικά στοιχεία της σήραγγας T-13A, που δόθηκαν από την κατασκευαστική εταιρεία. Επίσης έγινε υπολογισμός των στοιχείων υποστήριξης με την μέθοδο Bieniawski και σύγκριση με τα στοιχεία που εφαρμόστηκαν.

### **Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών:**

Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κείμενου, έχουμε δε αναφέρει στη Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομα του και την πηγή προέλευσης.

### **Οι σπουδαστές**

ΒΕΡΓΙΝΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ

ΚΑΣΤΑΝΑ ΑΝΔΡΙΑΝΑ

ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΕΙΡΗΝΗ-ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ.....	7
1.1 Η ΜΗΧΑΝΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ.....	7
1.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ NATM.....	12
1.3 ΜΕΘΟΔΟΣ "CUT AND COVER" .....	22
1.4 ΜΕΘΟΔΟΣ «TBM» .....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΠΕΔΑΦΟΣ – ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΓΟΥ.....	31
2.1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ.....	31
2.2 ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ.....	35
2.3 ΔΟΜΗ Ν. ΑΧΑΙΑΣ .....	43
2.4 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ – ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	54
2.5 ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΕΡΓΟΥ – ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΓΟΥ .....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΗΡΑΓΓΩΝ.....	78
3.1 ΜΕΘΟΔΟΣ TERZAGHI.....	79
3.2 ΜΕΘΟΔΟΣ BIENIAWSKI (RMR).....	87
3.3 ΜΕΘΟΔΟΣ N.BARTON, R.LIEN, J.LUNDE .....	95
3.4 ΜΕΘΟΔΟΣ G.S.I.....	99

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	106
4.1 ΣΗΡΑΓΓΑ Τ13Α.....	106
4.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ .....	111
4.3 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΑΠΟ ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ .....	126
4.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ – ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	129
4.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	133
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	134
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	135

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ**

### **1.1 Η ΜΗΧΑΝΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ**

Όταν ο Alfred Nobel (1833-96) παρασκεύαζε ασφαλείς εκρηκτικές ύλες που έτυχαν ευρείας εφαρμογής στις πάσης φύσεως εξορυκτικές δραστηριότητες δεν θα μπορούσε ίσως να φανταστεί τις τεράστιες δυνατότητες τις οποίες θα παρείχε η μηχανική διάνοιξη κατά την όρυξη των υπογείων εκσκαφών και ιδιαίτερα των σήραγγων.

Παρ' όλο που η ανάπτυξη και χρησιμοποίηση μηχανών<sup>1</sup> συνεχούς ορύξεως έλαβε διαστάσεις κατά τις τελευταίες δεκαετίες του παρελθόντος 20ου αιώνα και συγκεκριμένα από τη δεκαετία του 1950 η ιδέα είναι παλαιά δεδομένου ότι οι εν γένει ασχολούμενοι με την κατασκευή υπογείων έργων διακατέχονταν από έμμονη ιδέα που αφορούσε την επινόηση κάποιας μηχανής η οποία θα μπορούσε να αποσπάσει το πέτρωμα από τη φυσική του θέση χωρίς την παρεμβολή άλλης εξωτερικής δυνάμεως.

Ήδη, από τη δεκαετία του 1880, πέραν της περιστροφικής μηχανής διαμέτρου 2,2 m, που σχεδιάστηκε από τον Συνταγματάρχη Beaumont και κατασκευάστηκε από τον Οίκο John Fowler & Co το 1881 και χρησιμοποιήθηκε στις πρώτες δοκιμαστικές πιλοτικές προχωρήσεις της Σήραγγας της Μάγχης από την Αγγλική πλευρά (1881-82) αναφέρεται και η περίφημη μηχανή που κατασκευάστηκε από τον John Wilson το 1856 και χρησιμοποιήθηκε κατά την εκσκαφή της σιδηροδρομικής σήραγγας Hoosac στην Πολιτεία της Μασαχουσέτης των ΗΠΑ προκειμένου να ενώσει τη Βοστώνη με την κοιλάδα του ποταμού Hudson. Στην σήραγγα αυτή, μήκους 7.4 χλμ, η οποία για διάφορους λόγους χρειάστηκε 21 χρόνια για να ολοκληρωθεί, η εν λόγω μηχανή κατάφερε να ορύξει 3,5 περίπου μέτρα και εγκατελείφθη.

Υπενθυμίζεται ότι την ίδια περίπου εποχή ορύσσονταν και οι σιδηροδρομικές σήραγγες Frejus, St. Gotthard και αργότερα Simplon και Lotschberg.

Εξ άλλου, εξορυκτική διάταξη με ασπίδα για μαλακά εδάφη χρησιμοποιήθηκε στην Αγγλία από το 1825, με χαρακτηριστικό παράδειγμα την όρυξη σήραγγας κάτω από τον Τάμεση, μήκους 0,5 χλμ. που διανοίχθηκε με την βοήθεια μηχανικής ασπίδας που επινοήθηκε από τον Brunel. Χρειάστηκε ασφαλώς αρκετός χρόνος ώστε οι διαφοροποιήσεις μεταξύ μηχανικών ασπίδων για μαλακά εδάφη και μηχανών εξορύξεως για βραχώδη εδάφη να τεθούν υπό ενιαία αντιμετώπιση και να επικρατήσει ο όρος TBM για όλους τους τύπους των περιστροφικών μηχανών ορύξεως με ολομέτωπη προσβολή.

---

<sup>1</sup> «ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ», Ιωάννης Ν. Οικονομόπουλος Ομότιμος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Η εξιστόρηση των τεραστίων πράγματι προσπαθειών και των προβλημάτων που αντιμετωπίστηκαν προκειμένου οι μηχανές συνεχούς ολομέτωπης όρυξης να φθάσουν στη σύγχρονη θαυμαστή τελειότητα εκφεύγει του σκοπού της σημερινής ημερίδας. Οπωσδήποτε όμως, ο κατασκευαστής μιας σήραγγας μπορεί να επιλέξει μεταξύ:

- TBM ανοικτού τύπου χωρίς κυλινδρική ασπίδα προς περιφερειακή υποστήριξη του εδάφους, για βραχώδη πετρώματα.
- TBM με απλή ή διπλή ασπίδα, για μέτριας και κακής ποιότητας πετρώματα. TBM εξισορρόπησης πιέσεως (EPBM) για ιδιαίτερος ασταθή εδάφη.
- TBM τύπου κλειστού μετώπου δι' υποστηρίξεως του εδάφους με τη βοήθεια πολφών ιλύος που δημιουργούνται από το εκσκαπτόμενο πέτρωμα εν αναμίξει με μπετονίτη, πολυμερή, αφρούς κλπ (STM).

Όσοι επί πολλές δεκαετίες έχουν εν γένει ασχοληθεί με την εξορυκτική διαδικασία θα έχουν ασφαλώς διαπιστώσει ότι εκείνο το οποίο με βεβαιότητα αναμένεται να εμφανισθεί κατά τη διάρκεια κατασκευής ενός συναφούς έργου είναι το απροσδόκητο.

Η διάνοιξη μιας σήραγγας είναι κατά κανόνα γεμάτη εκπλήξεις, οι περισσότερες από τις οποίες, θα έλεγε κανείς ότι από μία περίεργη συγκυρία εμφανίζονται σε απίθανες θέσεις και σε ακατάλληλο χρόνο.

Ένα από τα κύρια παράπονα που διατυπώνονται από τους κατασκευαστές των σηράγγων είναι ότι ένα TBM δεν μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά και συνεχώς υπό συνθήκες μεταβαλλόμενης ποιότητας εδάφους. Εάν συναντήσει έδαφος άλλο από εκείνο για το οποίο έχει σχεδιαστεί δεν θα λειτουργήσει με επιτυχία, θα δημιουργηθούν σοβαρές καθυστερήσεις, αύξηση δαπανών και ενδεχομένως επάνοδο σε συμβατική μέθοδο ορύξεως.

Παρ' όλον ότι το παράπονο αυτό δεν στερείται βάσεως, συνδέεται εν τούτοις με ενέργειες οι οποίες θα συνέβαλαν ώστε η διατύπωσή του να μην γίνεται με απαράδεκτη συχνότητα.

Όπως όλοι γνωρίζουμε, για κάθε σήραγγα που πρόκειται να ορυχθεί είναι απαραίτητη η διενέργεια ορισμένων γεωλογικών, γεωφυσικών και γεωτεχνικών ερευνών συμπεριλαμβανομένων και γεωτρήσεων, οι οποίες - έρευνες- θα καταστήσουν ικανό τον μελετητή προκειμένου να προκαθορίσει την ποιότητα των πετρωμάτων κατά μήκος της σήραγγας και να διαπιστώσει τυχόν ύπαρξη μεταπτώσεων, ζωνών διατμήσεως, ενδεχόμενη εισροή υδάτων, εκρηκτικών αερίων κλπ.

Δεδομένου ότι ένα σύγχρονο TBM είναι πολλαπλασίως ταχύτερο σε σύγκριση με τις κλασικές μεθόδους ορύξεως, η πληρότητα των κατά τα ανωτέρω ερευνών καθίσταται περισσότερο σημαντική, καθώς τα TBM είναι περισσότερο ευαίσθητα στις μεταβολές των λιθολογικών παραμέτρων και τις τεκτονικές διαταραχές, παράγων ο οποίος στον Ελληνικό χώρο αποκτά ιδιαίτερη σημασία.

Κατά την όρυξη σήραγγας με TBM σχεδιασμένο για σκληρά πετρώματα ασφαλώς θα αντιμετωπισθούν προβλήματα εφ' όσον συναντηθούν μαλακά ή ασταθή πετρώματα, προβλήματα τα οποία πολλές φορές περιγράφονται στα τεχνικά περιοδικά με δραματικό τρόπο, ώστε περίπου να καταντούν θρυλικά.



Εάν σε μία σήραγγα αναμένεται 90% καλό έδαφος και 10% κακό έδαφος είναι ενδεχόμενο η εκσκαφή του τμήματος όπου το κακό έδαφος να απαιτήσει το 50% του συνολικού χρόνου όρυξης.

Ο ρυθμός προχώρησης είναι συνδυαστικό αποτέλεσμα πολλών παραγόντων που είναι δύσκολο να αναλυθούν και περισσότερο δύσκολο να προσδιορισθούν ποσοτικά.

Συνεπώς μια σχετικά ασφαλής πρόβλεψη του μέσου όρου προχώρησης απαιτεί ιδιαίτερα προσεκτική και ενδελεχή μελέτη, λαμβανομένου υπ' όψη ότι η όρυξη μιας σήραγγας αποτελεί ίδια και συγκεκριμένη περίπτωση, υποκείμενη σε ορισμένους βασικούς κανόνες.

Προβλέψεις και εκτιμήσεις μπορεί βεβαίως να γίνουν με βάση τα εν γένει αποτελέσματα των σχετικών ερευνών και τη συναφή εμπειρία, πλην όμως δεν είναι σπάνιες οι περιπτώσεις κατά τις οποίες οι προβλέψεις αυτές διαψεύδονται παταγωδώς, οπότε αρχίζουν τα προβλήματα, τεχνικά και οικονομικά.

Ένα TBM μπορεί να καθηλωθεί επί μακρόν, ενώ είναι εξαιρετικά δύσκολο ή και αδύνατο να αποσυρθεί από μια μεγάλου μήκους σήραγγα εάν συναντήσει δυσμενείς συνθήκες, π.χ. στο 10ο χιλιόμετρο.

Παρόμοια περιστατικά είναι φυσικό να επηρεάζουν την απόφαση που αφορά την επιλογή του τύπου του TBM, με αποτέλεσμα ο κατασκευαστής να απαιτεί όπως βεβαιωθεί ότι το επιλεγθέν TBM είναι ικανό να χειρισθεί επιτυχώς τις χειρότερες αναμενόμενες συνθήκες.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι η χρησιμοποίηση εξορυκτικών μηχανών σημειακής προσβολής ή η εφαρμογή μεθόδων ορύξεως δι' εκρηκτικών υλών αποτελούν διαδικασίες περισσότερο ευέλικτες στην αντιμετώπιση δυσμενών συνθηκών οι οποίες μπορεί να αντιμετωπισθούν π.χ. δι' αλλαγής της πυκνότητας και γεωμετρίας των διατηρημάτων, αλλαγής της εκρηκτικής ύλης, τροποποίησης του σχεδίου υποστήριξης, μείωσης του βήματος προχώρησης κλπ.

Εν τούτοις η υιοθέτηση μιας φιλοσοφίας στο δόγμα «πρώτα η ασφαλής βεβαιότητα για την εκτέλεση του έργου» οδηγεί σε άρνηση δοκιμής και εφαρμογής συγχρόνων, εξελιγμένων εξορυκτικών μηχανών που μπορεί να μειώσουν το κόστος κατασκευής των σηράγγων.

Εν τούτοις, έχει αποδειχθεί ότι με μία πολύ προσεκτική εξορυκτική διαδικασία στις εν γένει ασταθείς ζώνες μικρά έως μέτρια μήκη σήραγγας μπορεί να ορυχθούν χωρίς να παραβλαβεί αισθητά η απόδοση του μηχανήματος. Εάν οι προκαταρκτικές έρευνες έχουν καταλήξει σε αξιόπιστα συμπεράσματα ο σχεδιασμός του TBM μπορεί να μετατραπεί και προσαρμοσθεί αναλόγως, ώστε τελικά η απόδοσή του να υπερτερεί έναντι των κλασικών μεθόδων.

Επί πολλά χρόνια οι κατασκευαστές ζητούσαν μια αποτελεσματική μέθοδο για την άμεση τοποθέτηση υποστηριγμάτων με ένα TBM βράχου, απαίτηση που οδήγησε στην κατασκευή TBM με δυνατότητα επίτευξης υπερεκσκαφής, ώστε να καθίσταται δυνατή η άμεση τοποθέτηση κατάλληλης υποστήριξης, χωρίς να εμποδίζεται η μηχανή κατά την προχώρησή της ή την προς τα πίσω απόσυρσή της.

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι έχουν σημειωθεί εξαιρετικά υψηλές αποδόσεις κατά τη λειτουργία των TBM. Ενδεικτικά αναφέρονται στη βιβλιογραφία ημερήσιες προχωρήσεις 48,7 m σε διάμετρο 10,8 m και 62 m σε διάμετρο 4,75 m.

Εν τούτοις δεν πρέπει να παρασύρεται κανείς από ορισμένα περιστασιακά μέγιστα τα οποία έχουν σημειωθεί υπό εξόχως ευνοϊκές συνθήκες.

Σχετικά με το θέμα αυτό θα σημειώσω ότι προ ολίγων ετών, το 2002, η Βρετανική Εταιρεία Σηράγγων (BTS) συνέστησε Επιτροπή προκειμένου να μελετήσει τις συνθήκες και τα αίτια διαφόρων αστοχιών σε σήραγγες και να υποβάλει σχετική Έκθεση. Μετά από πολλές έρευνες στα συμπεράσματα της εν λόγω έκθεσης, η οποία από τον Ιουλίου 2005 διατίθεται στους ενδιαφερομένους, τονίζεται η σημασία της ανάληψης κινδύνων κατά τη λήψη των αποφάσεων, ενώ, μεταξύ άλλων, δίδεται έμφαση στη χρησιμοποίηση εξειδικευμένου προσωπικού και στην εφαρμογή γεωφυσικών διασκοπήσεων.

Αναφερθήκαμε στα προηγούμενα στις επιτυγχανόμενες προχωρήσεις σε συνάρτηση με τις διαμέτρους, δηλ με το μέγεθος του μηχανήματος. Θα σημειώσουμε σχετικά ότι κατά τα τελευταία ολίγα χρόνια παρατηρείται μια τάση προτίμησης σε μεγαλύτερες διαμέτρους. Ήδη, θηριώδη TBM με διαμέτρους 15 m κατασκευάζονται και κατευθύνονται κυρίως στην Κίνα και την Ισπανία όπου και λειτουργούν. Προσφάτως διάβασα ένα άρθρο με τον απίθανο τίτλο «Τα TBM συμβάλλουν στην οικονομική ανάπτυξη της Κίνας» γραμμένο όχι από κάποιον φανατικό τεχνοκράτη αλλά από δημοσιογράφο που ασχολείται με τη σύγχρονη τεχνολογία.

Εν τούτοις, ενώ τα μεγέθη των TBM αυξήθηκαν εντυπωσιακά δεν μπορεί να λεχθεί το ίδιο και για τους ρυθμούς προχωρήσεως δεδομένου ότι ο μέσος όρος παραμένει περίπου σταθερός τα τελευταία 10-20 χρόνια.

Το 1980 τα έξι TBM που χρησιμοποιήθηκαν στη σήραγγα της Μάγχης από τη Βρετανική πλευρά πραγματοποίησαν προχώρηση 1 χλμ ανά μήνα. Έκτοτε η επίδοση αυτή δε φαίνεται να βελτιώθηκε αισθητά. Συνεπώς, η χρησιμοποίηση μεγαλύτερου μεγέθους μηχανήματος είναι προτιμότερη; Προφανές είναι ότι το ερώτημα δεν μπορεί να πάρει γενικευμένη και δη μονολεκτική απάντηση.

Η Ελλάδα είναι εξόχως ορεινή. Η βελτίωση του ατελούς οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου της δεν μπορεί να επιτευχθεί χωρίς την κατασκευή πολυάριθμων σηράγγων, η όρυξη των οποίων συνήθως δεν θα αποτελεί απλό εγχείρημα, δεδομένης της πολύπλοκης γεωλογικής και τεκτονικής δομής της, της αντιμετώπισης ασταθών τασικών πεδίων και μεγάλων συγκλίσεων ιδιαίτερα σε τεκτονικώς διαταραχθείσες περιοχές και της κακής ποιότητας των εδαφών σε ορισμένες ζώνες, πράγμα το οποίο άλλωστε έχει αποδειχθεί από την εμπειρία που αποκτήθηκε κατά την κατασκευή σηράγγων στον ελληνικό χώρο.

Οι τεχνολογικές εξελίξεις τρέχουν, οι επινοήσεις διαδέχονται η μία την άλλη, τα δεδομένα μεταβάλλονται σε εξαιρετικά μικρή χρονική περίοδο, ο συναφής εξοπλισμός βελτιώνεται και τελειοποιείται.

Είναι συνεπώς απαραίτητο όπως οι μελετητές, οι κατασκευαστές και γενικότερα όλοι οι εμπλεκόμενοι στη σχετική διαδικασία ενημερώνονται επί των σημειούμενων εξελίξεων ώστε να επωφελούνται από τη διεθνή εμπειρία, δεδομένου ότι όσο περισσότερα στοιχεία γίνονται διαθέσιμα τόσο εναργέστερα αντανακλούν τη φύση και

το μέγεθος των αντιμετωπιζομένων προβλημάτων και συμβάλλουν στην επιλογή κατάλληλων μεθόδων προς αντιμετώπισή τους.

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες η χώρα έχει αποκτήσει λίαν αξιόλογη μελετητική και κατασκευαστική υποδομή.

Σημαντικός αριθμός Γραφείων ασχολούνται με τη μελέτη σηράγγων, από την Εγνατία οδό μέχρι την Κρήτη, μερικά δε από αυτά όχι μόνο συνεργάζονται με αντίστοιχα του εξωτερικού, αλλά και αναλαμβάνουν μελέτες ή έλεγχο μελετών άλλων χωρών.

Εξ άλλου, στον κατασκευαστικό τομέα, τα επιτεύγματα του οποίου είναι γνωστά, έχουν από μακρού εκλείψει ορισμένες επιφυλάξεις και δισταγμοί αναφορικά με την κατασκευή σηράγγων.

## 1.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ NATM

Γενικά

Η λεγόμενη "Νέα Αυστριακή Μέθοδος Διάνοιξης Σηράγγων"<sup>2</sup> (New Austrian Tunnelling Method - NATM) ουσιαστικώς δεν αποτελεί μια "μέθοδο" αλλά περιλαμβάνει ένα σύνολο τεχνικών διάνοιξης και υποστήριξης σηράγγων οι οποίες εφαρμόστηκαν συστηματικά κατά τη διάνοιξη σηράγγων στις Αυστριακές Άλπεις στις αρχές της δεκαετίας του 1960. Οι τεχνικές αυτές είχαν εφαρμοσθεί και πριν το 1960 τόσο στην Αυστρία όσο και σε άλλα μέρη του κόσμου αλλά η συστηματοποίηση και ονομασία τους (NATM) έγινε από Αυστριακούς Μηχανικούς (Rabcewicz, Mueller, Brunner και Pacher) περί το 1960. Έτσι, αν και η "Μέθοδος NATM" όταν προτάθηκε δεν ήταν ούτε "Νέα" ούτε "Αυστριακή" (αφού είχε εφαρμοσθεί και στο παρελθόν σε άλλες χώρες) αλλά ούτε και "Μέθοδος" (αφού ουσιαστικά αποτελείται από ένα σύνολο τεχνικών οι οποίες μάλιστα αλλάζουν με την πρόοδο της τεχνολογίας), διατήρησε διεθνώς μέχρι σήμερα το όνομά της.

Αν και δεν υπάρχει γενικώς αποδεκτός ορισμός της "Μεθόδου NATM", ο όρος συνήθως χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διάνοιξη σηράγγων με εκτεθειμένο το μέτωπο εκσκαφής (δηλαδή χωρίς την εφαρμογή πίεσης με μηχανικά μέσα) και υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (απλό ή οπλισμένο) ή/και αγκύρια βράχου. Σύμφωνα με τα ανωτέρω, οι εναλλακτικοί τρόποι διάνοιξης σηράγγων που δεν υπάγονται στη μέθοδο NATM είναι:

1. Διάνοιξη με μηχανήματα ολομέτωπης κοπής (TBM), επειδή κατά τη μέθοδο αυτή η κοπτική κεφαλή του μηχανήματος ασκεί πίεση επί του μετώπου εκσκαφής.
2. Διάνοιξη με προστατευτική ασπίδα (shield) επειδή η άμεση υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας γίνεται μέσω της ασπίδας και όχι με εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος ή αγκυρίων.
3. Οποιαδήποτε άλλη μέθοδος διάνοιξης κατά την οποία η άμεση υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας γίνεται χωρίς εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ή αγκύρια, όπως π.χ. με έγχυτο σκυρόδεμα, προκατασκευασμένα στοιχεία από σκυρόδεμα, μέταλλο ή άλλο υλικό.

Η συνήθης εφαρμογή της μεθόδου NATM είναι η διάνοιξη της διατομής της σήραγγας σε μια ή περισσότερες φάσεις και η άμεση υποστήριξη του τοιχώματος με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (απλό, ινοπλισμένο, οπλισμένο με χαλύβδινο πλέγμα ή ενισχυμένο με χαλύβδινες νευρώσεις από ράβδους ή διατομές I) και αγκύρια (παθητικά ή προεντεταμένα). Σημειώνεται ότι η υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας μόνον με αγκύρια χωρίς εκτοξευόμενο σκυρόδεμα υπάγεται επίσης στην κατηγορία της μεθόδου NATM. Τέλος, κατά τη μέθοδο NATM η ως άνω άμεση υποστήριξη συνήθως ακολουθείται σε μεταγενέστερο χρόνο από την κατασκευή της "τελικής επένδυσης" της σήραγγας η οποία θεωρείται ως φέρον στοιχείο (σε ορισμένες περιπτώσεις δεν κατασκευάζεται τελική επένδυση αλλά η άμεση

---

<sup>2</sup> «ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΜΕ ΤΗ "ΜΕΘΟΔΟ NATM», 2004, Μ. Καββαδάς.

υποστήριξη σχεδιάζεται ώστε να αναλάβει το σύνολο των φορτίων της περιβάλλουσας βραχόμαζας).

#### Χαρακτηριστικά της μεθόδου NATM

Η βασική αρχή της μεθόδου NATM είναι ότι η διάνοιξη της σήραγγας και η κατασκευή της άμεσης υποστήριξης γίνονται κατά τρόπο ώστε να ενεργοποιηθεί η αντοχή της περιβάλλουσας βραχόμαζας (μέσω της ελεγχόμενης σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας) σε ικανό βαθμό ώστε να μειωθούν αρκετά οι πιέσεις επί της άμεσης υποστήριξης αλλά όχι τόσο ώστε να προκληθεί αποδιοργάνωση της βραχόμαζας με συνέπεια την αύξηση των πιέσεων στην άμεση υποστήριξη και τελικώς την κατάρρευση της διατομής της σήραγγας. Δεδομένου ότι ένα σημαντικό ποσοστό της σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας συμβαίνει εμπρός από το μέτωπο εκσκαφής (δηλαδή πριν η εκσκαφή φθάσει στη συγκεκριμένη θέση) και επιπλέον ότι η σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας αυξάνει με ταχείς ρυθμούς στην περιοχή του μετώπου εκσκαφής, προκύπτει ότι στις περισσότερες περιπτώσεις η αντοχή της βραχόμαζας έχει ενεργοποιηθεί επαρκώς πολύ κοντά στο μέτωπο της εκσκαφής και συνεπώς η άμεση υποστήριξη θα πρέπει να κατασκευασθεί κατά το δυνατόν πλησιέστερα στο μέτωπο εκσκαφής.

Η παραπάνω αρχή της μεθόδου NATM εξειδικεύεται ως εξής:

1. Η εκσκαφή της διατομής της σήραγγας συνήθως γίνεται σε περισσότερες της μιας φάσεις. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η επιφάνεια του μετώπου της εκσκαφής κάθε φάσης και συνεπώς μειώνεται η συνολική σύγκλιση του τοιχώματος (σε σχέση με την εκσκαφή της διατομής σε μια φάση) και βελτιώνεται η ευστάθεια της διατομής αποφεύγοντας την αποδιοργάνωση της περιβάλλουσας βραχόμαζας.
2. Κατασκευή της άμεσης υποστήριξης της διατομής σε μικρή απόσταση από το μέτωπο της εκσκαφής ώστε να περιορισθεί η περαιτέρω σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας και να αποφευχθεί η αποδιοργάνωση της δομής της βραχόμαζας. Τούτο επιτυγχάνεται με την προώθηση της κάθε φάσης εκσκαφής σε μικρά βήματα της τάξεως των 1-2 μέτρων αναλόγως της ποιότητας της βραχόμαζας. Το μήκος του βήματος εκσκαφής μειώνεται όσο πιο χαμηλότερη είναι η ποιότητα της βραχόμαζας (επειδή στις περιπτώσεις αυτές η αποδιοργάνωση της δομής της βραχόμαζας είναι ταχύτερη).
3. Η άμεση υποστήριξη της διατομής θα πρέπει να αναλάβει φορτία κατά το δυνατόν ταχύτερα ώστε να περιορισθεί η περαιτέρω σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας και συνεπώς η αποδιοργάνωση της δομής της βραχόμαζας. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πλεονεκτεί ως προς την άποψη αυτή επειδή βρίσκεται σε απόλυτη επαφή με την περιβάλλουσα βραχόμαζα (και συνεπώς η παραμικρή σύγκλιση του τοιχώματος προκαλεί τη φόρτισή του) και επιπλέον έχει μικρό χρόνο πήξεως (μερικές ώρες). Η χρήση αγκυρίων βράχου σε κανονικό κλίμακον οπλίζει την περιβάλλουσα βραχόμαζα και συντελεί στην καλύτερη ανάπτυξη της λειτουργίας τόξου στη βραχόμαζα. Πράγματι, η τάση της βραχόμαζας να παραμορφωθεί διαμητικά προκαλεί (μέσω της διασταλτικότητας) την ανάπτυξη εφελκυσμού στα αγκύρια και συνεπώς θλίψης στη βραχόμαζα. Η θλίψη της βραχόμαζας αυξάνει την αντοχή της και μειώνει την παραμορφωσιμότητά της λόγω εγκιβωτισμού (λειτουργία ανάλογη με αυτή του σπειροειδούς οπλισμού στα υποστηλώματα).

4. Ολοκλήρωση του δακτυλίου του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο σύνολο της διατομής (δηλαδή και στο δάπεδο). Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένας κλειστός δακτύλιος με πολύ μικρή παραμορφωσιμότητα ώστε να περιορίζονται οι περαιτέρω συγκλίσεις του τοιχώματος. Η δημιουργία κλειστού δακτυλίου με την ταχεία σκυροδέτηση του δαπέδου (early invert closure) συντελεί τα μέγιστα στη μείωση της σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας και στην ευστάθεια της διατομής. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση βραχώμαζας με καλά μηχανικά χαρακτηριστικά συχνά δεν είναι απαραίτητο να ολοκληρώνεται ο δακτύλιος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, δηλαδή δεν επενδύεται με σκυρόδεμα το δάπεδο της σήραγγας.

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

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

Ως εκ της φύσεως της μεθόδου, ο σχεδιασμός της διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης της σήραγγας θα πρέπει να είναι ευπροσάρμοστος στις επιτόπου συνθήκες. Για το σκοπό αυτό ο σχεδιασμός γίνεται ως εξής:

1. Με βάση τα αποτελέσματα των γεωτεχνικών ερευνών η βραχώμαζα που αναμένεται να συναντηθεί κατά μήκος της σήραγγας κατατάσσεται σε 3-5 κατηγορίες (με βάση τα μηχανικά χαρακτηριστικά). Οι κατηγορίες αυτές συνήθως βασίζονται στα γνωστά συστήματα κατατάξεως (RMR, GSI, Q).

2. Μορφώνονται 3-5 τυπικές διατομές διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης της σήραγγας οι οποίες διαφέρουν ως προς το είδος των μέτρων υποστήριξης (π.χ. εάν διαθέτουν ενίσχυση με χαλύβδινα πλαίσια) και την πυκνότητά τους (π.χ. διάσταση του κανάβου των αγκυρίων ή πάχος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος). Οι τυπικές διατομές μπορεί να διαφέρουν και ως προς τον αριθμό των φάσεων εκσκαφής. Κατά τη μόρφωση των διατομών λαμβάνεται υπόψη ότι θα πρέπει να είναι κατασκευαστικά δυνατή η αλλαγή της διατομής της σήραγγας από τον ένα τύπο στον άλλο με σχετική ευχέρεια.

3. Διατυπώνεται ένα σύνολο κριτηρίων με βάση τα οποία θα είναι δυνατή η επιλογή της εφαρμοστέας τυπικής διατομής κατά την κατασκευή της σήραγγας. Τα

κριτήρια αυτά συνήθως βασίζονται σε ένα συνδυασμό παραγόντων όπως η ποιότητα της βραχώμαζας, το πάχος των υπερκειμένων γαιών, ο προσανατολισμός των ασυνχειών της βραχώμαζας, τα αποτελέσματα των μετρήσεων συμπεριφοράς του έργου σε προηγούμενες διατομές ή σε προηγούμενη φάση εκσκαφής στη συγκεκριμένη θέση κλπ.

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

1. Το φορτίο που αναλαμβάνεται από τα αγκύρια στην περίπτωση προσωρινών αγκυρίων ή στην περίπτωση βραχώμαζας με έντονα ερπυστική συμπεριφορά.
2. 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).
3. Τυχόν αυξημένα μακροχρόνια φορτία της βραχώμαζας λόγω ερπυσμού.
4. Τυχόν υδατικές πιέσεις λόγω πλημμελούς αποστράγγισης ή απρόβλεπτης απόφραξης του συστήματος αποστράγγισης.
5. Τυχόν φορτία από μελλοντικές κατασκευές που φορτίζουν τη σήραγγα.
6. Τυχόν σεισμική επιφόρτιση της σήραγγας.

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

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

#### Φάσεις εκσκαφής

Η εκσκαφή σηράγγων με τη μέθοδο NATM συνήθως γίνεται σε περισσότερες της μιας φάσεις. Τα κυριότερα συστήματα εκσκαφής είναι:

1. Εκσκαφή μετώπου-βαθμίδας (top heading and bench).

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

## 2. Εκσκαφή με πλευρικές στοές (side-wall drifts).

Η μέθοδος εφαρμόζεται σε σήραγγες μεγάλου εύρους σε βραχώμαζες με σχετικώς πτωχά χαρακτηριστικά ή στις περιπτώσεις όπου είναι κρίσιμος ο περιορισμός της σύγκλισης του τοιχώματος (π.χ. σε αστικές περιοχές). Περιλαμβάνει την υποδιαίρεση της διατομής κατά το πλάτος και διάνοιξη πρώτα της μιας πλευράς και στη συνέχεια της άλλης πλευράς. Σε ιδιαιτέρως δύσκολες συνθήκες η μέθοδος μπορεί να περιλάβει δυο πλευρικές στοές και ενδιάμεσο πυλώνα (twin side-wall drifts with central pillar). Στην περίπτωση αυτή πρώτα διανοίγονται οι πλευρικές στοές και στο τέλος διανοίγεται ο κεντρικός πυλώνας.

### Μέτρα άμεσης υποστήριξης

#### Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (shotcrete)

Ο όρος χρησιμοποιείται για σκυροδέματα που συνίστανται από τσιμέντο, νερό και λεπτόκοκκα αδρανή (συνήθως έως 10 mm) τα οποία εφαρμόζονται με εκτόξευση (με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα). Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα παρασκευάζεται είτε ως ξηρό μίγμα (dry mix) με προσθήκη νερού στο στόμιο εκτοξεύσεως είτε ως υγρό μίγμα (wet mix) όπου η ανάμιξη με νερό γίνεται στον αναδευτήρα κατά την παρασκευή του μίγματος. Το υγρό μίγμα χρησιμοποιείται συχνότερα στις περιπτώσεις κατανάλωσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε μεγάλες ποσότητες. Κατά την παρασκευή εκτοξευόμενου σκυροδέματος η αναλογία ανάμιξης είναι η εξής (για την παραγωγή ενός κυβικού μέτρου βάρους 2250-2350 kg):

- Τσιμέντο: 400-450 kg
- Αδρανή (διάσταση κόκκου έως 10mm): 1600-1700 kg
- Παιπάλη πυριτίου (micro-silica): 30-50 kg
- Επιταχυντής πήξεως: 10-15 kg
- Νερό: 200-250 kg

Η παιπάλη πυριτίου είναι μια λεπτόκοκκη ποζουλάνη η οποία αντιδρά με το υδροξείδιο του ασβεστίου ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) που παράγεται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου και συντελεί στην αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος και τη μείωση της διαπερατότητάς του. Επιπλέον με την προσθήκη της ποζουλάνης επιτυγχάνεται μείωση της αναπήδησης (rebound) κατά την εκτόξευση, βελτίωση της πρόσφυσης στη βραχώμαζα και δυνατότητα αύξησης του πάχους της στρώσης του νωπού σκυροδέματος (λόγω αύξησης του ιξώδους και της πρόσφυσης) έως και σε 200mm.

Η αντοχή και η πλαστιμότητα του εκτοξευόμενου σκυροδέματος μπορούν να αυξηθούν με την προσθήκη μεταλλικών ινών (steel fibres) οι οποίες δρουν ως οπλισμός. Η προσθήκη μεταλλικών ινών ως οπλισμού του εκτοξευόμενου σκυροδέματος τείνει να αντικαταστήσει την όπλιση με μεταλλικά πλέγματα (wire



mesh reinforcement). Η συνήθης αναλογία μεταλλικών ινών είναι 40-60 kg ανά κυβικό μέτρο σκυροδέματος. Η προσθήκη μεταλλικών ινών πλεονεκτεί ως προς τη χρήση μεταλλικού πλέγματος και για τους εξής λόγους:

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

### Αγκύρια βράχου

Τα αγκύρια βράχου διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

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

(β) Παθητικά αγκύρια (rock-bolts) των οποίων η λειτουργία βασίζεται στη φόρτισή τους λόγω της παραμόρφωσης της βραχόμαζας.

Τα παθητικά αγκύρια διακρίνονται σε αγκύρια συνεχούς πρόσφυσης (fully bonded) και πρόσφυσης άκρου (end anchored).

Τα αγκύρια πρόσφυσης άκρου είναι συνήθως τύπου διαστελόμενης κεφαλής.

Στα αγκύρια συνεχούς πρόσφυσης ανήκουν οι εξής τύποι:

(α) Οι ηλώσεις βράχου (grouted nails) που αποτελούνται από μια χαλύβδινη ράβδο (τυπικά ράβδο σπλισμού StIV διαμέτρου 20-25mm) η οποία τοποθετείται εντός οπής στη βραχόμαζα (διαμέτρου 38-50mm) που πληρούνται με ένεμα (τσιμεντένεμα ή ένεμα συνθετικής ρητίνης). Οι ηλώσεις αυτές είναι συνήθως προσωρινές (δηλαδή έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής) μπορούν όμως να λειτουργήσουν και ως μόνιμες με κατάλληλη προστασία από τη διάβρωση (double corrosion protection).

(β) Οι ηλώσεις χωρίς ενεμάτωση τύπου Swellex (που παράγονται από την εταιρεία Atlas-Corco) ή τύπου Split-Set (που παράγονται από την εταιρεία Ingersoll- Rand). Οι ηλώσεις αυτές αποτελούνται από κοίλη μεταλλική διατομή και αποκτούν συνεχή πρόσφυση με τη βραχόμαζα με εισπίεση νερού στο εσωτερικό της διατομής που προκαλεί τη διόγκωσή της. Λόγω έλλειψης προστασίας από τη διάβρωση αλλά και λόγω της λεπτότοιχης διατομής τα αγκύρια αυτά έχουν μικρή διάρκεια ζωής. Το κύριο πλεονέκτημά τους είναι ότι αναλαμβάνουν φορτία πολύ γρήγορα επειδή δεν απαιτούν την πήξη του ενέματος για την επίτευξη πρόσφυσης με την περιβάλλουσα βραχόμαζα.

## Χαλύβδινες νευρώσεις

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

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

## Σχεδιασμός των μέτρων άμεσης υποστήριξης

Ο σχεδιασμός των μέτρων άμεσης υποστήριξης μπορεί να γίνει με αναλυτικές μεθόδους από τις οποίες υπολογίζονται τα φορτία στην άμεση υποστήριξη της σήραγγας και στη συνέχεια ελέγχεται η επάρκεια των μέτρων υποστήριξης για την ανάληψη των φορτίων αυτών. Έχουν αναπτυχθεί και εμπειρικές μέθοδοι εκτίμησης των απαιτούμενων μέτρων άμεσης υποστήριξης. Μια τέτοια μέθοδος είναι η μέθοδος NGI (βλέπε Σχήμα 5) που βασίζεται στο σύστημα Q.

## Παρακολούθηση της συμπεριφοράς σηράγγων

### Γενικά

Η επιτυχής διάνοιξη και προσωρινή υποστήριξη σηράγγων με τη μέθοδο NATM βασίζεται σε σημαντικό βαθμό στη συστηματική παρακολούθηση της συμπεριφοράς της σήραγγας και στη συνεχή προσαρμογή των χαρακτηριστικών της διάνοιξης και υποστήριξης με βάση τα αποτελέσματα της παρακολούθησης (π.χ. τροποποίηση του βήματος εκσκαφής και της διαδικασίας τοποθέτησης των μέτρων προσωρινής υποστήριξης, πύκνωση ή αραίωση των μέτρων προσωρινής υποστήριξης, τροποποίηση του πάχους του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, τροποποίηση του μήκους των αγκυρίων, προσθήκη αγκυρίων σε χαρακτηριστικές θέσεις κλπ). Η παρακολούθηση της συμπεριφοράς της σήραγγας γίνεται μέσω συστηματικών μετρήσεων και κατάλληλης αξιολόγησής των.

Κατά τη διάνοιξη και υποστήριξη σηράγγων συνήθως μετρούνται τα εξής:

1. Μετακινήσεις: του τοιχώματος της σήραγγας, της βραχόμαζας που περιβάλλει τη σήραγγα και της επιφάνειας του εδάφους.
2. Πιέσεις: της βραχόμαζας στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, υδατικές πιέσεις στο έδαφος που περιβάλλει τη σήραγγα.

3. Δυνάμεις: εφελκυσμός στα αγκύρια, θλίψη/κάμψη στα χαλύβδινα πλαίσια.
4. Παροχή διηθήσεων υπογείων υδάτων.

Στα επόμενα περιγράφονται συνοπτικά οι μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις ανωτέρω μετρήσεις. Σημειώνεται ότι το είδος των μετρήσεων, οι θέσεις τοποθέτησης των οργάνων μέτρησης, η συχνότητα των μετρήσεων, οι τρόπος της αξιολόγησής τους, τα αποδεκτά όρια των μετρήσεων και, τέλος, οι ενέργειες που θα πρέπει να αναλαμβάνονται σε περίπτωση που οι μετρήσεις υπερβούν τα αποδεκτά όρια θα πρέπει να αποτελούν αντικείμενο ειδικής μελέτης. Δεν είναι σπάνια η περίπτωση που οι μετρήσεις γίνονται μεν αλλά δεν αξιολογούνται ή δεν είναι γνωστά τα μέγιστα αποδεκτά όρια ή, τέλος, δεν έχουν αποφασισθεί οι ενέργειες σε περίπτωση υπέρβασης των αποδεκτών ορίων.

### Μετρήσεις των μετακινήσεων

#### Μετακινήσεις του τοιχώματος της σήραγγας

1. Τοπογραφική αποτύπωση της μετακίνησης σε τρεις άξονες (3-D convergency). Αμέσως μετά την εκσκαφή της σήραγγας τοποθετούνται στο τοίχωμα (με κατάλληλα βλήτρα) οπτικοί ανακλαστήρες (reflex targets). Οι συντεταγμένες στο χώρο των ανακλαστήρων μετρούνται σε τακτά διαστήματα με τοπογραφικό όργανο (total station). Με τον τρόπο αυτό μπορεί να παρακολουθείται η χρονική εξέλιξη της μετακίνησης ενός σημείου του τοιχώματος της σήραγγας ή η σχετική απόσταση μεταξύ δυο σημείων του τοιχώματος. Η ακρίβεια των μετρήσεων εξαρτάται από την απόσταση σκόπευσης, την ακρίβεια του οργάνου αλλά και άλλους παράγοντες όπως η θερμοκρασία του αέρα και η παρουσία καυσαερίων στη σήραγγα. Η συνήθης ακρίβεια τέτοιων μετρήσεων είναι 2-4mm.
2. Χωροσταθμική υψομετρική αποτύπωση (levelling). Με τοπογραφικό όργανο (χωροβάτη) μετράται το υψόμετρο στόχων που τοποθετούνται στο δάπεδο και τις παρειές της σήραγγας. Η συνήθης ακρίβεια των μετρήσεων αυτών είναι 1-2mm.
3. Μέτρηση της απόστασης μεταξύ δυο σημείων στο τοίχωμα της σήραγγας με μεταλλική μετροταινία (tape extensometer). Η ακρίβεια των μετρήσεων είναι της τάξεως του 0.5mm.

#### Μετακινήσεις της βραχώμαζας

1. Εκτασιόμετρα ράβδου τοποθετούμενα εντός γεωτρήσεων (multi-point rod extensometers). Εντός γεώτρησης τοποθετούνται μεταλλικές ράβδοι των οποίων το ένα άκρο πακτώνεται εντός της γεώτρησης (με κάποιο σύστημα αγκύρωσης) και το άλλο άκρο προεξέχει ελαφρώς από το στόμιο της γεώτρησης. Στην ίδια γεώτρηση μπορούν να τοποθετηθούν περισσότερες της μιας ράβδοι που πακτώνονται σε διάφορα βάθη. Με το όργανο αυτό μετράται η σχετική μετακίνηση του σημείου πακτώσεως της ράβδου ως προς το στόμιο της γεώτρησης (δηλαδή ως προς το τοίχωμα της σήραγγας, εφόσον οι γεωτρήσεις γίνονται από το εσωτερικό της σήραγγας).

2. Μαγνητικά εκτασιόμετρα τοποθετούμενα εντός γεωτρήσεων (magnetic probe extensometers). Εντός γεώτρησης τοποθετείται πλαστικός σωλήνας ο οποίος φέρει μεταλλικούς δακτυλίους σε τακτά διαστήματα (π.χ. ανά 0.50m). Ο σωλήνας πακτώνεται εντός της γεωτρήσεως με τσιμεντένεμα. Κατά τη μέτρηση, εισάγεται στο σωλήνα μια βολίδα η οποία με μαγνητική μέθοδο μετρά την απόσταση μεταξύ των δακτυλίων. Η σχετική μετακίνηση των δακτυλίων δίνει την παραμόρφωση της βραχόμαζας αφού οι δακτύλιοι παρακολουθούν τη μετακίνηση της βραχόμαζας.

3. Ολισθαίνοντα εκτασιόμετρα (sliding micrometer). Εντός γεώτρησης τοποθετείται ειδικός πλαστικός σωλήνας ο οποίος σε τακτά διαστήματα φέρει μεταλλικούς δακτυλίους κατάλληλου σχήματος (measuring marks). Ο σωλήνας πακτώνεται εντός της γεώτρησης με τσιμεντένεμα. Κατά τη μέτρηση εισάγεται στο σωλήνα μεταλλικό στέλεχος που ολισθαίνει κατά μήκος του σωλήνα και σταματά (κλειδώνει) στις θέσεις των μεταλλικών δακτυλίων. Με τον τρόπο αυτό μετράται η σχετική απόσταση μεταξύ των δακτυλίων με μεγάλη ακρίβεια (της τάξεως του 0.01mm). Η σχετική μετακίνηση των δακτυλίων δίνει την παραμόρφωση της βραχόμαζας αφού οι δακτύλιοι παρακολουθούν τη μετακίνηση της βραχόμαζας.

4. Αποκλισιόμετρα (inclinometers). Εντός γεώτρησης τοποθετείται (και πακτώνεται με τσιμεντένεμα) ειδικός πλαστικός σωλήνας. Κατά τη μέτρηση εισάγεται εντός του σωλήνα ειδική βολίδα η οποία εφαρμόζει ακριβώς και ολισθαίνει κατά μήκος του σωλήνα. Η βολίδα διαθέτει ένα ηλεκτρονικό σύστημα (ηλεκτρονικό εκκρεμές) με το οποίο καταγράφεται η απόκλιση από την κατακόρυφο της βολίδας σε κάθε θέση. Με ολοκλήρωση των αποκλίσεων μπορεί να υπολογισθεί η μετακίνηση του σωλήνα σε διεύθυνση εγκάρσια προς τον άξονά του. Τα αποκλισιόμετρα συνήθως τοποθετούνται από την επιφάνεια του εδάφους σε κατακόρυφη διεύθυνση και μετρώνται οι οριζόντιες αποκλίσεις του σωλήνα με την πάροδο του χρόνου.

#### Μετακινήσεις (βυθίσεις) της επιφάνειας του εδάφους

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

1. Με χωροσταθμική υψομετρική αποτύπωση (levelling) με χρήση χωροβάτη.
2. Με οριζοντίως διατεταγμένα αποκλισιόμετρα (electro-levels). Με τα όργανα αυτά μετράται η απόκλιση από την οριζόντια διεύθυνση σε διάφορα σημεία μιας πρακτικώς οριζόντιας γραμμής (π.χ. κατά μήκος του δαπέδου ενός κτιρίου). Με ολοκλήρωση των αποκλίσεων μπορεί να υπολογισθούν οι βυθίσεις των σημείων της αρχικώς οριζόντιας γραμμής.
3. Με όργανα μέτρησης του ανοίγματος ρωγμών (crack meters). Τέτοια όργανα τοποθετούνται π.χ. στη μεσοτοιχία γειτονικών κτιρίων με σκοπό να μετρηθεί η σχετική απομάκρυνσή τους.

### Μετρήσεις των πιέσεων

1. Οι εδαφικές πιέσεις στην επένδυση της σήραγγας μπορούν να μετρηθούν με κύτταρα πιέσεως (pressure cells) που τοποθετούνται στη διεπιφάνεια κατά την κατασκευή της επένδυσης.
2. Οι υδατικές πιέσεις στο έδαφος γύρω από μια σήραγγα μπορούν να μετρηθούν με πιεζόμετρα. Τα πιεζόμετρα είναι διαφόρων τύπων: υδραυλικά (stand-pipe), ηλεκτρικά (vibrating wire, strain gauge) ή πνευματικά (pneumatic).

### Μετρήσεις δυνάμεων

1. Φορτία εφελκόμενων ή θλιβόμενων στοιχείων (π.χ. αγκύρια, χαλύβδινα πλαίσια κλπ) μπορούν να μετρηθούν με την τοποθέτηση ηλεκτρομηκυσιομέτρων (strain gauges) ή μετρητών φορτίου (load cells) κατά την κατασκευή των φορτιζόμενων στοιχείων. Στην περίπτωση που είναι επιθυμητή η μέτρηση του φορτίου σε ένα φορτιζόμενο στοιχείο στο οποίο δεν έχει τοποθετηθεί εκ των προτέρων σύστημα μέτρησης, η συνηθέστερη μέθοδος είναι η μέθοδος της αποφόρτισης με δειγματοληψία (overcoring). Κατά τη μέθοδο αυτή ανοίγεται μια μικρή οπή στο φορτιζόμενο στοιχείο, τοποθετείται ένα σύστημα τριών ηλεκτρομηκυσιομέτρων τα οποία στη συνέχεια πακτώνονται εντός της οπής με εποξειδική ρητίνη. Στη συνέχεια αφαιρείται ένα αρκετά μεγάλο τμήμα του φορτιζόμενου στοιχείου που περιλαμβάνει και τα ηλεκτρομηκυσιόμετρα. Κατά την αφαίρεση (overcoring) το στοιχείο αποφορτίζεται και τα ηλεκτρομηκυσιόμετρα φορτίζονται με φορτίο ίσο και αντίθετο με το φορτίο του στοιχείου πριν αφαιρεθεί.

### Μετρήσεις παροχών

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

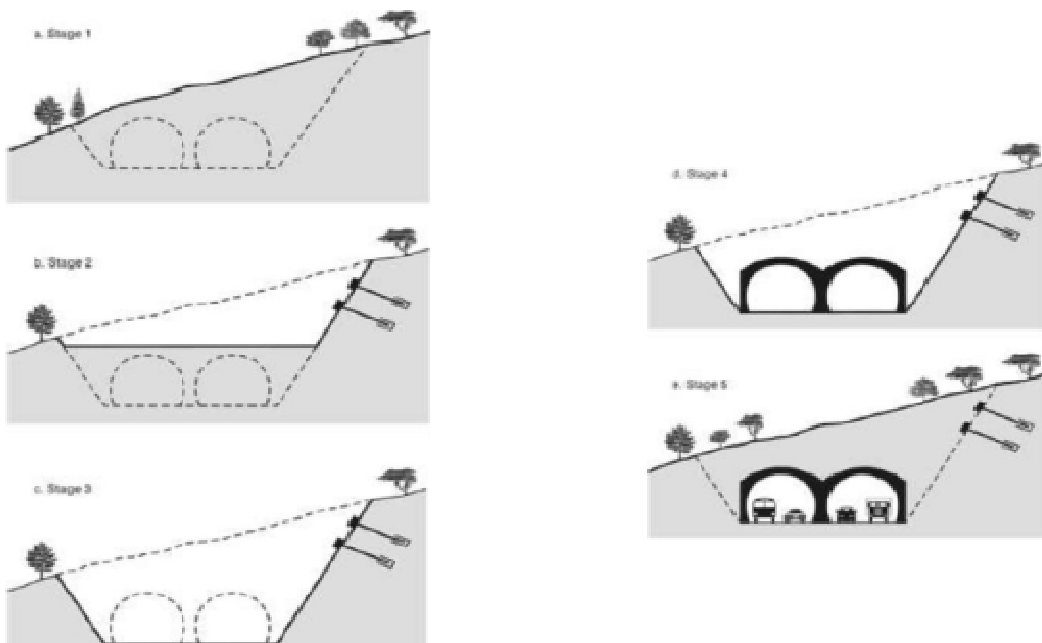
## 1.3 ΜΕΘΟΔΟΣ "CUT AND COVER"

Η μέθοδος ανοικτού ορύγματος<sup>3</sup> χρησιμοποιείται εδώ και χρόνια στην κατασκευή αστικών υπογείων σιδηροδρόμων καθώς επίσης και, σε υπεραστικά προγράμματα όπως στην κατασκευή ρηχών σχετικά μικρού μήκους σηράγγων οδοποιίας και σιδηροδρόμων.

Τελευταία, η μέθοδος έχει υιοθετηθεί καταλλήλως, ώστε να διευκολύνει την κατασκευή των στομών εισόδων κι εξόδων σηράγγων.

Η βασική ιδέα είναι η εκσκαφή μίας τάφρου η οποία πρέπει να σκεπαστεί και η επί τόπου σκυροδέτηση της σήραγγας η οποία, εν τέλει, θα καλυφθεί με υλικά επιχωμάτωσης.

Η τεχνική αυτή περιλαμβάνει σταδιακή εκσκαφή κι εφαρμογή της υποστήριξης των παρειών των εκσκαφών με προσωρινούς τοίχους και συστήματα σύσφιξης. Σε περιπτώσεις εξαιρετικά δυσμενών γεωτεχνικών όρων, η προενίσχυση κρίνεται απαραίτητη προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν ή να αποφευχθούν τα προβλήματα σταθερότητας κατά τη διάρκεια της φάσης ανασκαφής. Μόλις επιτευχθεί το επίπεδο θεμελίωσης, ξεκινούν οι διαδικασίες σκυροδέτησης της σήραγγας, ακολουθούμενες από τη στεγανοποίηση και την τοποθέτηση της τελικής επιχωμάτωσης.

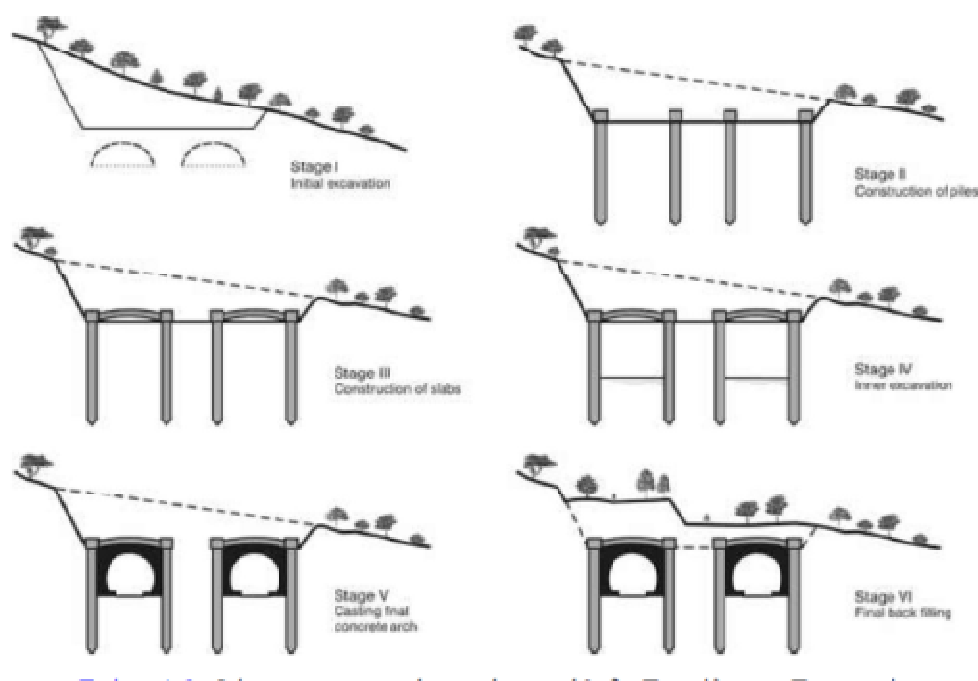


Εικόνα 12. Κατασκευαστικά στάδια μεθόδου ανοικτού ορύγματος

<sup>3</sup> <http://www.ametro.gr/page/default.asp?la=1&Id=62>, ΜΕΘΟΔΟΣ "CUT AND COVER".

Παραλλαγή της μεθόδου ανοικτής εκσκαφής αποτελεί και η μέθοδος επικάλυψης και εκσκαφής (στην ξένη ορολογία cover & cut ή αλλιώς top-down).

Η διαδικασία κατασκευής περιλαμβάνει έξι ευδιάκριτα στάδια, συμπεριλαμβανομένων των διαδικασιών χωματοουργικών έργων, διάτρηση και ρήψη των υποστυλωμάτων, κατασκευή πλακών, απομάκρυνση γαιών και επιχωμάτωση.



Εικόνα 13. Φάσεις κατασκευής κατά την μέθοδο Επικάλυψης-Εκσκαφής

- ✚ Στάδιο I: Εκτελείται η αρχική ανασκαφή και βαθμονόμηση. Το επίπεδο ρυθμίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέψει την πρόσβαση και τη μετακίνηση του εξοπλισμού για τη διάτρηση υποστυλώσεων και την κατασκευή πλακών.
- ✚ Στάδιο II: Κατασκευάζεται μία σειρά υποστυλωμάτων από κάθε πλευρά του τμήματος σηράγγων.
- ✚ Στάδιο III: Τοποθετούνται οι αντηρίδες που ενώνουν τα υποστυλώματα και κατασκευάζεται η άνω πλάκα.
- ✚ Στάδιο IV: Εκτελείται η «κάτω» εκσκαφή, απολύτως προστατευμένη από τα υποστυλώματα/ άνω πλάκα. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με ίνες εφαρμόζεται στην επιφάνεια βράχου, στα διαστήματα μεταξύ των υποστυλωμάτων.
- ✚ Στάδιο V: Κατασκευάζεται η εσωτερική επένδυση της σήραγγας.

✚ Στάδιο VI: Πραγματοποιούνται οι διαδικασίες επιχωμάτωσης για περιβαλλοντικούς, γεωτεχνικούς ή για λόγους αποκατάστασης δικτύων.

Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ο μειωμένος χρόνος εκτεταμένων εργοταξιακών καταλήψεων και η ταχύτητα αποκατάστασης και απόδοσης σε χρήση της περιοχής (οδική κυκλοφορία, πλατείες, κλπ), και τελικώς η αποφυγή μακρόχρονης όχλησης των λειτουργιών της πόλης. Τα μειονεκτήματα της είναι, κυρίως, το αυξημένο κόστος και η πολυπλοκότερη κατασκευαστική διαδικασία.



Εικόνα 14. Διάτρηση και τοποθέτηση υποστυλώματος κατά την μέθοδο επικάλυψης-εκσκαφής.

Στη επόμενη εικόνα, παρουσιάζεται η είσοδος της σήραγγας Σ2 της Εγνατίας Οδού, στην οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος Cover & Cut λόγω κατάρρευσης του μετώπου της σήραγγας.





Εικόνα 15. Μέθοδος Cover & Cut. Διακρίνονται τα πλευρικά τοιχεία, η άνω πλάκα καθώς και το επίχωμα.

## 1.4 ΜΕΘΟΔΟΣ «TBM»

Το μηχάνημα διάνοιξης σηράγγων<sup>4</sup> (TBM : Tunnel Boring Machine) είναι ένα μηχάνημα που χρησιμοποιείται για την εκσκαφή σηράγγων με κυκλική διατομή μέσα από μια ποικιλία εδαφών και στρωμάτων πετρωμάτων. Μπορούν να σκάψουν μέσα σε σκληρό πέτρωμα, άμμο, και οτιδήποτε ενδιάμεσα. Η διάμετρος της σήραγγας μπορεί να είναι από ένα μέτρο (με την χρήση μικρο-TBM) έως σχεδόν 16 μέτρα στις μέρες μας. Σήραγγες μικρότερες του ενός μέτρου σε διάμετρο μπορούν να εκσκαφούν μέσω οριζόντιας κατευθυνόμενης διάτρησης αντί του TBM.

Μηχανήματα διάνοιξης σηράγγων χρησιμοποιούνται σαν εναλλακτική στις μεθόδους διάτρησης και έκρηξης (D&B, Drilling and Blasting) σε πετρώδες έδαφος και στις συμβατικές χειρωνακτικές μεθόδους σε χώμα. Ένα TBM έχει τα πλεονεκτήματα της ελαχιστοποίησης της διαταραχής του περιβάλλοντος εδάφους και της δημιουργίας ενός λείου τοιχώματος στη σήραγγα. Αυτό μειώνει σημαντικά το κόστος επένδυσης των τοιχωμάτων της σήραγγας και καθιστά τα TBM περισσότερο κατάλληλα για χρήση σε έντονα αστικοποιημένες περιοχές. Το κυριότερο μειονέκτημα είναι το υψηλό αρχικό κόστος. Τα TBM είναι ακριβά στην κατασκευή τους, δύσκολο να μεταφερθούν και απαιτούν σημαντικές υποδομές. Το μεγαλύτερο μηχάνημα κατασκευάστηκε από την Γερμανική εταιρία Herrenknecht AG για να σκάψει την σήραγγα Γκόταρντ μήκους 57χιλιομέτρων. Έχει διάμετρο 9,58 μέτρα.

### Ιστορική εξέλιξη

Η πρώτη πετυχημένη ασπίδα κοπής αναπτύχθηκε από τον Μαρκ Ισαμπάρντ Μπρουνέλ (sir Marc Isambard Brunel) για να την διάνοιξη της σήραγγας του Τάμεση στο Λονδίνο το 1825. Βέβαια, αυτή ήταν μόνο η εφεύρεση της ιδέας ασπίδας κοπής και δεν αφορούσε την κατασκευή ενός ολοκληρωμένου μηχανήματος διάνοιξης σηράγγων, καθώς το σκάψιμο ακόμα έπρεπε να γίνει με τις μεθόδους της εποχής (κυρίως χειρωνακτική εργασία).

Το πρώτο μηχάνημα διάνοιξης σηράγγων αναφέρεται ότι κατασκευάστηκε από τον Χένρι Τζόζεφ Μάους (Henri Joseph Maus) και ονομάζονταν «τεμαχιστής

---

4

[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B7%CF%87%CE%AC%CE%BD%CE%B7%CE%BC%CE%B1\\_%CE%B4%CE%B9%CE%AC%CE%BD%CE%BF%CE%B9%CE%BE%CE%B7%CF%82\\_%CF%83%CE%B7%CF%81%CE%AC%CE%B3%CE%B3%CF%89%CE%BD](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B7%CF%87%CE%AC%CE%BD%CE%B7%CE%BC%CE%B1_%CE%B4%CE%B9%CE%AC%CE%BD%CE%BF%CE%B9%CE%BE%CE%B7%CF%82_%CF%83%CE%B7%CF%81%CE%AC%CE%B3%CE%B3%CF%89%CE%BD)

βουνών» (Mountain Slicer). Ήταν παραγγελία του Βασιλιά της Σαρδηνίας Αλμπερτ το 1845 για να ανοιχθεί η σιδηροδρομική σήραγγα Φρέγιους (Fréjus) μεταξύ Γαλλίας και Ιταλίας διαμέσου των Άλπεων. Ο Μάους το κατασκεύασε το 1846 σε ένα εργοστάσιο όπλων κοντά στο Τορίνο. Βασικά αποτελούνταν από περισσότερα από 100 κρουστικά δράπανα τοποθετημένα μπροστά σε μηχάνημα μεγέθους βαγονιού τρένου με μηχανική ισχύ από την είσοδο της σήραγγας. Δυστυχώς, η επανάσταση του 1848 επηρέασε ανεπανόρθωτα την χρηματοδότηση του έργου και η σήραγγα ολοκληρώθηκε 10 χρόνια αργότερα, με την χρήση εξίσου καινοτόμων αλλά λιγότερο ακριβών μεθόδων, όπως πνευματικά δράπανα.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής το πρώτο μηχάνημα διάνοιξης σηράγγων που κατασκευάστηκε ήταν φτιαγμένο από χυτοσίδηρο και χρησιμοποιήθηκε το 1853 κατά την κατασκευή της σήραγγας Χούσακ (Hoosac Tunnel). Έσκαψε 3 μέτρα μέσα στο πέτρωμα και στην συνέχεια έπαθε βλάβη. Η σήραγγα τελικά ολοκληρώθηκε περισσότερο από 20 χρόνια αργότερα χρησιμοποιώντας (όπως και στην σήραγγα Φρέγιους) λιγότερο φιλόδοξες μεθόδους.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1950, ο Φ.Κ. Μίτρη κέρδισε ένα συμβόλαιο για την κατασκευή μιας εκτροπής για το φράγμα Οάχε στην Νότια Ντακότα, και συμβουλευτήκε τον Τζέιμς Σ. Ρόμπινς για την διάνοιξη της εκτροπής μέσα από ιδιαίτερα δύσκολο έδαφος. Ο Ρόμπινς κατασκεύασε ένα μηχάνημα που μπορούσε να σκάψει 55 μέτρα σε 24 ώρες, που ήταν δέκα φορές γρηγορότερα από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο εκσκαφής της εποχής.

Η εφεύρεση που έκανε τα μηχανήματα διάνοιξης σηράγγων αποτελεσματικά, οικονομικά και αξιόπιστα ήταν η περιστρεφόμενη κεφαλή, η οποία βασίζεται στις ίδιες αρχές με την κεφαλή με κρουστικά δράπανα του Χένρι Τζόζεφ Μάους, αλλά με βελτιωμένη απόδοση. Η βελτίωση οφείλεται στην μείωση του αριθμού των στοιχείων τριβής και στην περιστροφή τους σαν σύνολο μπροστά στο μέτωπο του εδάφους. Αρχικά ο Ρόμπινς χρησιμοποίησε ισχυρά καρφιά που περιστρέφονταν σε κυκλική κίνηση για να σκάψουν το μέτωπο την εκσκαφής, αλλά γρήγορα ανακάλυψε ότι όσο ισχυρά και να ήταν τα καρφιά, έσπαζαν συχνά και έπρεπε να αλλάζονται συνεχώς. Αλλάζοντας αυτά τα καρφιά με μεγαλύτερης διάρκειας ζωής δίσκους κοπής το πρόβλημα αυτό μειώθηκε σημαντικά. Από τότε, όλα τα πετυχημένα μηχανήματα διάνοιξης σηράγγων έχουν περιστρεφόμενες κεφαλές με δίσκους κοπής.

Οι κυριότεροι λόγοι οι οποίοι οδήγησαν στην ανάπτυξη της μηχανικής όρυξης σηράγγων, είναι το γεγονός ότι η χρησιμοποίηση εκρηκτικών υλών για την θραύση του πετρώματος έχει ως αποτέλεσμα τον επηρεασμό της περιοχής γύρω από την εκσκαφή.

Επιπλέον, ο κύκλος εκσκαφής με την χρήση εκρηκτικών είναι ασυνεχής υπό την έννοια ότι μεσολαβούν «νεκρά» χρονικά διαστήματα μεταξύ των διαφόρων φάσεων. Η μηχανική όρυξη σηράγγων πραγματοποιείται με τις Μηχανές Ολομέτωπης Κοπής (TBM-Tunnel Boring Machine).

Τα μηχανήματα ολομέτωπης κοπής (Tunnel boring machines, TBM και οι ασπίδες, shields) χρησιμοποιούνται για την διάνοιξη σηράγγων μέσα σε διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς. Μπορεί να χρησιμοποιηθούν το ίδιο αποτελεσματικά για τη διάνοιξη μέσα από σκληρά ή χαλαρά πετρώματα ή εδάφη. Οι διάμετροι διάνοιξης κυμαίνονται από 1m έως και 15m (με τάση να φθάσουν τα 19 m) και οι ταχύτητες προχώρησης ανάλογα με τις γεωλογικές συνθήκες από μερικά εκατοστά/εβδομάδα έως και 130 μέτρα/εβδομάδα.

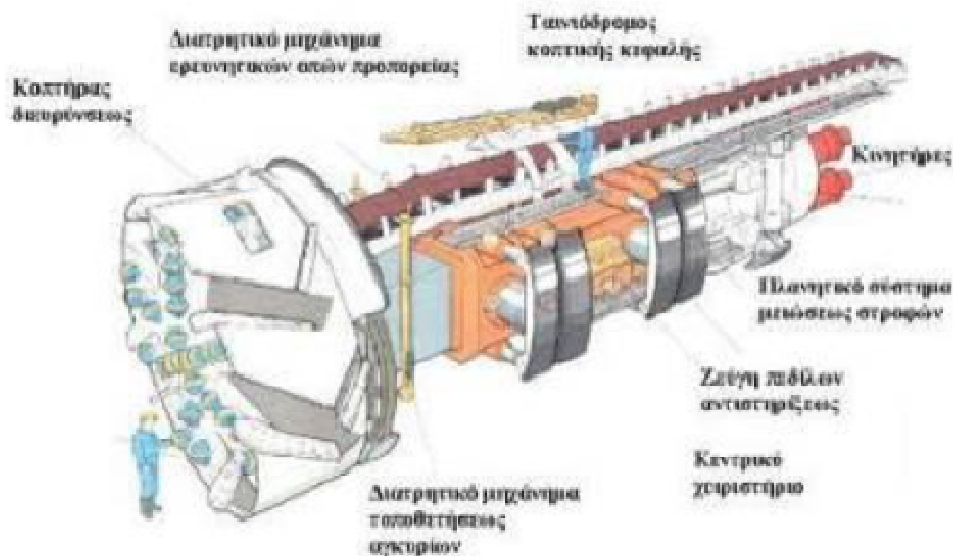


Εικόνα 16. α) TBM κατά την έξοδο του από τη σήραγγα σε βραχώμαζα β) TBM που χρησιμοποιήθηκε στο Μετρό Αθηνών

Ένα TBM συνήθως αποτελείται από ένα ή δυο ασπίδες, μεταλλικούς κυλίνδρους και από συστήματα υποστήριξης. Στο ένα άκρο της ασπίδας τοποθετείται η κοπτική κεφαλή. Η επιλογή της κοπτικής κεφαλής εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους. Πίσω από τον θάλαμο βρίσκονται μια σειρά υδραυλικών γρύλων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την προώθηση του μηχανήματος. Οι γρύλοι τοποθετούνται στην επένδυση της σήραγγας που βρίσκεται πίσω από το μηχάνημα και εν συνεχεία το ωθούν προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Η επιλογή μονής ή διπλής ασπίδας εξαρτάται κυρίως από τη γεωλογία της περιοχής καθώς και από την ταχύτητα προχώρησης. Διπλές ασπίδες χρησιμοποιούνται σε χαλαρά εδάφη ή ρηγματογόνες ζώνες όπου απαιτείται μεγάλη ταχύτητα προχώρησης. Αντίστοιχα η μονή ασπίδα χρησιμοποιείται σε σκληρά, συμπαγή πετρώματα.

- 1) Μηχανές χωρίς ασπίδα (Gripper TBM). Ένα Gripper TBM είναι κατάλληλο για εξόρυξη βραχομαζών που η ευστάθεια του μετώπου και του ανυποσύλωτου τμήματος της σήραγγας μπορεί να επιτευχθεί με προσωρινά μέσα υποσύλωσης όπως κοχλίες, μεταλλικά πλαίσια και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.
- 2) TBM με ασπίδα. Τα μηχανήματα ολομέτωπης κοπής με ασπίδα χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που η βραχώμαζα λόγω της μικρής της αντοχής δεν μπορεί να παραλάβει τις δυνάμεις στήριξης της μηχανής TBM, που είναι απαραίτητες για την μετάδοση των δυνάμεων πρόωσης.
- 3) Μηχάνημα με ισορροπία πίεσης γαιών (Earth Pressure Balance, EPB). Τα μηχανήματα EPB χρησιμοποιούνται σε τμήματα σήραγγας που βρίσκονται σε έδαφος και πέτρωμα μαζί. Εφαρμόζονται επίσης σε μεταβαλλόμενες γεωλογικές συνθήκες ή σε μικτές γεωλογίες μετώπων και σε πολύ αποσαθρωμένα πετρώματα.

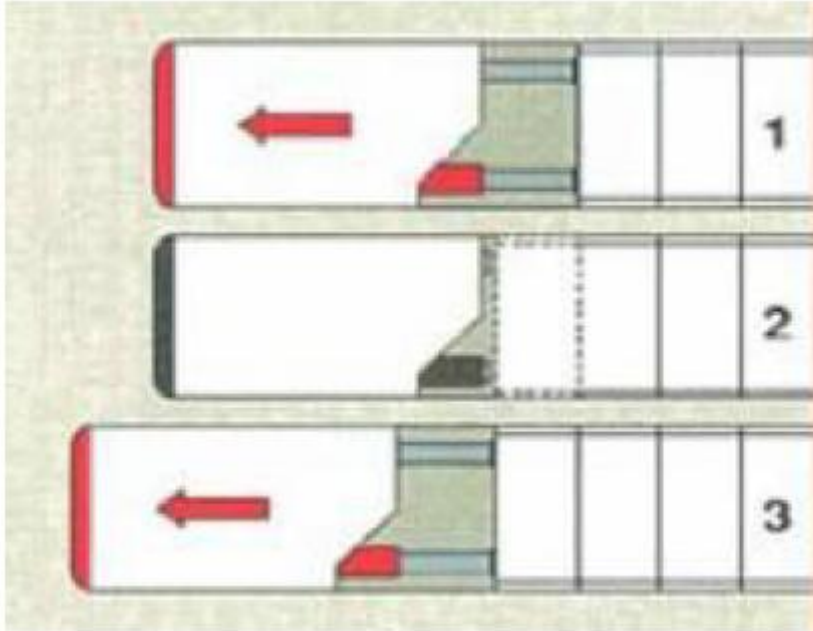


Εικόνα 17. Τυπική σχηματική διάταξη μηχανήματος ολομέτωπης κοπής.

Συνοπτικά, ο κύκλος λειτουργίας των μηχανημάτων αυτής της κατηγορίας, είναι ο εξής:

1. Διάνοιξη μετώπου

2. Τοποθέτηση τελικής επένδυσης/ στερέωση με την βοήθεια των πέλδων αντιστήριξης
3. Συνέχιση διάνοιξης μετώπου



Εικόνα 1. Φάσεις λειτουργίας TBM

Επίσης, όπως προαναφέρθηκε, στην κατηγορία αυτή των μηχανικών μεθόδων κατατάσσεται και η μέθοδος τμηματικής εκσκαφής, στην οποία χρησιμοποιούνται μηχανήματα σημειακής κοπής ή αλλιώς roadheaders και υδραυλικά ή πνευματικά σφυριά.

Η χρήση αυτής της μεθόδου ενδείκνυται σε ιδιαίτερα χαλαρά εδάφη, όπου ο κίνδυνος αστοχίας είναι μεγάλος. Ωστόσο, ο ρυθμός των εργασιών εκσκαφής με αυτή την μέθοδο είναι ιδιαίτερα αργός.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΠΕΔΑΦΟΣ – ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΓΟΥ

### 2.1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Ορισμοί:<sup>5</sup>

ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ: ο κλάδος εκείνος της γεωλογικής επιστήμης που διασφαλίζει ότι οι γεωλογικοί παράγοντες που επηρεάζουν το σχεδιασμό, την κατασκευή, τη λειτουργία και τη συντήρηση των τεχνικών έργων, έχουν επισημανθεί, έχουν κατάλληλα διασαφηνισθεί και έχουν σαφώς διατυπωθεί για σωστή χρήση στη μηχανική πρακτική.

ΣΚΟΠΟΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ : Συμβολή στην ομαδοποίηση και ταξινόμηση διαφόρων γεωλογικών ενοτήτων με κοινούς τεχνικογεωλογικούς χαρακτήρες. Συμβολή στην ασφαλή, οικονομική και ορθολογική κατασκευή των πάσης φύσεως τεχνικών έργων. Συμβολή στην καλή λειτουργικότητα των έργων, αναγνωρίζοντας τους κινδύνους αστοχιών, προτείνοντας κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισης

ΣΤΟΙΧΟΙ ΤΕΧΝ. ΓΕΩ. :

- ✚ Η γνώση των τεχνικογεωλογικών χαρακτήρων του εδάφους θεμελίωσης,
- ✚ Η πρόγνωση και αποφυγή καταστροφών,
- ✚ Η πρόβλεψη αλλαγών στο χώρο από τις τεχνικές εργασίες (διαμόρφωση τελικής γεωμηχανικής συμπεριφοράς εδάφους θεμελίωσης,
- ✚ Η γνώση των συνθηκών αλληλεπίδρασης εδάφους θεμελίωσης-κατασκευής, σε οικονομικότερη και ασφαλέστερη βάση,
- ✚ Η λήψη μέτρων προστασίας κατά την κατασκευή αλλά και λειτουργία των τεχνικών έργων
- ✚ Η σύνταξη τεχνικογεωλογικών-γεωτεχνικών χαρτών.

ΣΚΟΠΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ: Προσδιορισμός του γεωλογικού προσομοιώματος της περιοχής ενδιαφέροντος με την πλήρη διερεύνηση των

---

<sup>5</sup> «Γεωλογία και Τεχνικά Έργα», Δρ Γεωλογίας Γιάννης Βαβάσης, 2012, Αθήνα.

γεωλογικών, γεωμορφολογικών, τεκτονικών, υδρογεωλογικών και τεχνικών γεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή και τις αλληλεπιδράσεις με το προς κατασκευή έργο.

#### ΣΚΟΠΟΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ :

Απόληψη στοιχείων (φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων) που απαιτούνται για την τεχνική αξιολόγηση του υπεδάφους σε σχέση με τις ανάγκες του προς κατασκευή έργου. Σκοπός των ερευνών είναι ο προσδιορισμός του γεωτεχνικού προσομοιώματος (μηχανισμού συμπεριφοράς) και των παραμέτρων σχεδιασμού που θα αποτελέσουν τη βάση των μελετών Εδαφομηχανικής ή/και Βραχομηχανικής για την ανάλυση της συμπεριφοράς των εδαφικών και βραχωδών μαζών υπό την επίδραση εξωτερικών φορτίων

- ✚ Οι γεωλογικές μελέτες αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα των διαφορών σταδίων μελετών οποιουδήποτε τεχνικού έργου
- ✚ Σκοπός της γεωλογικής έρευνας και μελέτης είναι η πλήρης διερεύνηση των γεωλογικών, γεωμορφολογικών, τεκτονικών, υδρογεωλογικών και τεχνικογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή και που επηρεάζουν το προς κατασκευή έργο.
- ✚ Συγκεντρώνει τις απαραίτητες πληροφορίες για το έδαφος και το γεωπεριβάλλον του, τις επεξεργάζεται κατάλληλα και τις «μεταφράζει» για τα έργα του Μηχανικού περιλαμβάνονται σε μια μελέτη τεχνικής.

#### ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΟΥ ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΙ ΣΕ ΜΙΑ ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ :

Εξέταση και λεπτομερής περιγραφή των τεχνικογεωλογικών χαρακτήρων των λιθολογικών σχηματισμών, όπως συνεκτικότητα, έκταση και βαθμός αποσάθρωσης και εξαλλοίωσης, βαθμός κερματισμού, οι παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή, σεισμική επικινδυνότητα γεωλογικών σχηματισμών καθώς και ο προσδιορισμός της έκτασης και του τύπου των μετακινήσεων πρηνών και κλιτύων. Τεχνική περιγραφή των ασυνεπειών, στατιστική επεξεργασία ασυνεχειών. Κατατάξεις βραχώμαζας σύμφωνα με τα διεθνώς γνωστά συστήματα ταξινόμησης (RMR, Q, GSI κ.α.)

Εξέταση της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς των γεωλογικών σχηματισμών της διακύμανσης της στάθμης των υπόγειων νερών και των προβλημάτων που μπορεί



να προκύψουν με την κατασκευή επιχωμάτων και την εκσκαφή πρανών, τη διάνοιξη σηράγγων.

#### ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ :

- ✚ Συγκέντρωση και αξιολόγηση υπαρχόντων γεωλογικών τεχνικογεωλογικών, υδρογεωλογικών, σεισμολογικών και λοιπών στοιχείων.
- ✚ Μακροσκοπική εξέταση των γεωλογικών ενοτήτων ( τύπος πετρώματος, όρια, στρωματογραφική θέση, τεκτονική δομή) με επιτόπου έρευνες υπαίθρου (χαρτογραφήσεις, μετρήσεις κλπ).
- ✚ Ερμηνεία αεροφωτογραφιών, δορυφορικών εικόνων, αν υπάρχουν.
- ✚ Εξέταση και περιγραφή των γεωμορφολογικών στοιχείων της ευρύτερης περιοχής.

#### ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ ΣΤΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ :

##### 1)ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ - ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

- ∅ Θεμελίωσης τεχνικών έργων (πχ. γέφυρες)
- ∅ Φραγμάτων και των ταμιευτήρων τους
- ∅ Λιμνοδεξαμενών (lagoon)
- ∅ Συγκοινωνιακών έργων (οδικοί και σιδηροδρομικοί άξονες, αεροδρόμια κλπ)
- ∅ Σηράγγων και γενικώς υπόγειων έργων
- ∅ Λιμενικών έργων
- ∅ Ορυγμάτων
- ∅ Επιχωμάτων

##### 2)ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

##### 3)ΜΕΛΕΤΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΟΛΕΟΔΟΜΗΣΗ

#### ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΙΩΚΟΝΤΑΙ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΜΙΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΑΦΟΡΟΥΝ ΣΤΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ:

- α) της κατανομής της αντοχής, της υδροπερατότητας, της ικανότητας σε παραμόρφωση και χημική σταθερότητα του εδάφους θεμελίωσης,
- β) του υπόγειου νερού (στάθμη, ροή, ιδιότητες, κλπ),
- γ) των φυσικών καταστροφικών φαινομένων (κατολισθητικές τάσεις, σεισμική επικινδυνότητα, κλπ) και,

δ) των πιθανά πλησιέστερων θέσεων δανειοδότησης υλικών, σε περίπτωση τεχνικών έργων μεγάλου ενδιαφέροντος.

ΟΙ ΚΥΡΙΕΣ ΦΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗ ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΔΙΑΙΡΕΘΕΙ ΜΙΑ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ, ΕΊΝΑΙ ΟΙ ΕΞΗΣ:

Α Φάση δυνατότητας της κατασκευής,

Β Προκαταρκτική φάση σχεδιασμού,

Γ Τελική φάση σχεδιασμού,

Δ Φάση κατασκευής,

Ε Μετακατασκευαστική φάση (λειτουργίας-συντήρησης),

## 2.2 ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

Οι κατολισθήσεις<sup>6</sup> ως φαινόμενα είναι πολύ συνήθη στη Χώρα μας, διότι:

- η λιθολογική σύσταση των εδαφών, η σχετικά μικρή ηλικία των σχηματισμών,
- η γεωμορφολογική εξέλιξη
- η δράση πρόσφατων τεκτονικών δυνάμεων,
- οι υψηλές βροχοπτώσεις,

δημιουργούν τις κατάλληλες συνθήκες για την εκδήλωση συχνών αστοχιών πρηνών.

Η Δυτική και η Κεντρική Ελλάδα ικανοποιούν τις συνθήκες αυτές και οι συνέπειες είναι πολλές.

Οι μεγαλύτερες σε επιφανειακή εξάπλωση κατολισθήσεις στον Ελληνικό χώρο εντοπίζονται:

- σε θέσεις με πολύ απότομο ανάγλυφο (μεγάλες κλίσεις) και κάτω από την ισχυρή δράση κλιματολογικών συνθηκών.
- σε τεκτονικά καταπονημένους σχηματισμούς (π.χ. από επωθητικές κινήσεις)

Οι πιο μεγάλες κατολισθήσεις έχουν συμβεί σε ζώνες ανθρακικών πετρωμάτων έντονα τεκτονισμένων από επωθητικές κινήσεις. Αντίθετα, οι πλέον συχνές σε εμφάνιση κατολισθήσεις είναι σε σχηματισμούς φλύσχη, σχιστοκερατολίθων και νεογενών, αλλά και σε κορήματα κλιτύων ή/και, χαλαρά τεταρτογενή υλικά και προκαλούνται κυρίως από το συνδυασμό της ανθρωπογενούς δραστηριότητας, πυρκαγιές κλπ) και των αυξημένων ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

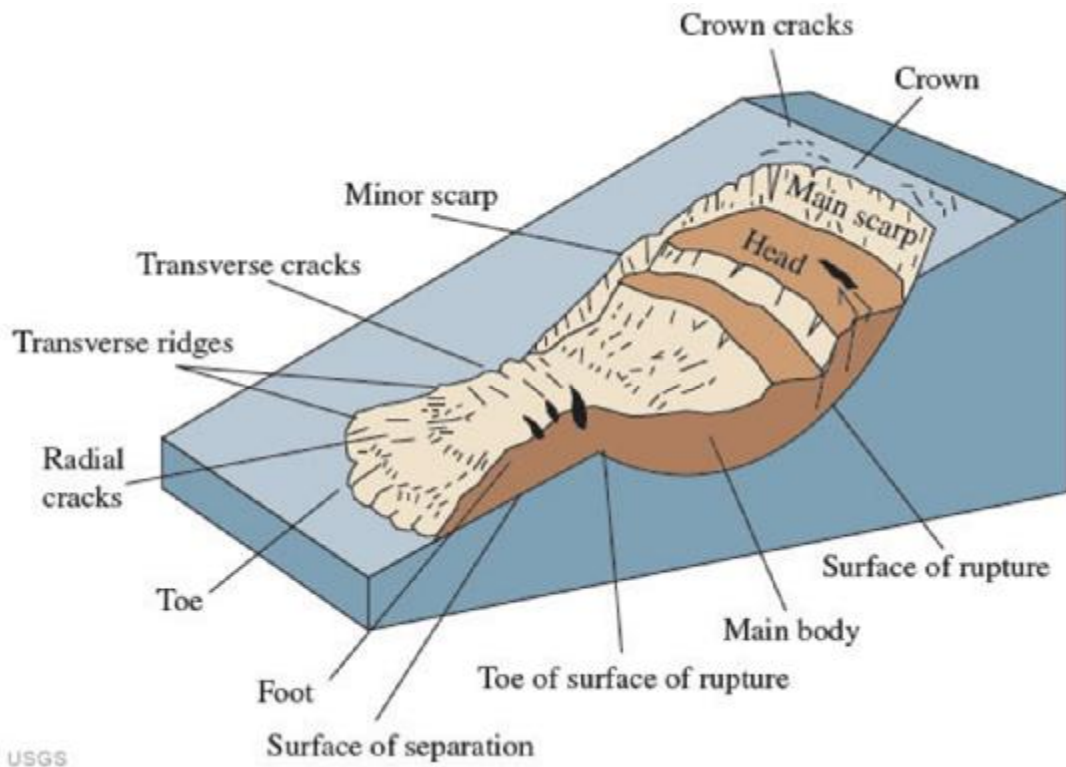
Ο όρος "**κατολισθητικά φαινόμενα**" πλέον αποδεκτός για όλες τις αστοχίες πρηνών, **ερπυσμούς, ολισθήσεις, ροές, ανατροπές, καταπτώσεις**, κλπ, σε ξηρά και θάλασσα.

Ο όρος "**κατολίσθηση (Landslide)**" αναφέρεται μόνο **στις ταχέως εκδηλούμενες κινήσεις εδαφικών μαζών** (όχι τεχνικά δόκιμος), και αφορά περιπτώσεις που "η ελκτική δύναμη της βαρύτητας σε γεωλογικούς σχηματισμούς υπερβαίνει την αντίσταση τριβής για κίνηση προς τα κάτω".

Οι κατολισθήσεις είναι γεωλογικοί κίνδυνοι με καταστροφές εκατομμυρίων ευρώ κατ' έτος στις κατασκευές και αρκετές απώλειες ζωών. *Η πλέον καταστροφική κατολίσθηση που αναφέρεται διεθνώς, στην Κίνα το 1920 μετά από σεισμό και προκάλεσε το θάνατο σε 100.000 ανθρώπους, καθώς τα σπίτια τους σκεπάστηκαν από μάζες ασβεστούχων πηλών (αιολικοί σχηματισμοί).*

---

<sup>6</sup>[http://www.ukgeohazards.info/pages/eng\\_geol/landslide\\_geohazard/eng\\_geol\\_landslides\\_classification.htm](http://www.ukgeohazards.info/pages/eng_geol/landslide_geohazard/eng_geol_landslides_classification.htm)



**Εικόνα 2. Αγγλικοί ορισμοί τμημάτων κατολίσθησης.(6)**

- Ø Αρχική επιφάνεια του εδάφους (Original ground surface). Η μορφολογία της επιφάνειας του εδάφους πριν την εκδήλωση της κατολίσθησης.
- Ø Στέψη (Crown). Το ανώτερο σταθερό τμήμα του φυσικού εδάφους, το πλησιέστερο προς την κύρια κατακρήμνιση.
- Ø Κύρια κατακρήμνιση (Main scarp). Η απότομη επιφάνεια του φυσικού εδάφους στο ανώτερο τμήμα της ολίσθησης, που προκλήθηκε από την κίνηση της ολισθαίνουσας μάζας.
- Ø Κεφαλή (Head). Τα ανώτερα τμήματα της κατολίσθησης κατά μήκος της επαφής μετακινούμενης μάζας και της κύριας κατακρήμνισης.
- Ø Δευτερεύουσα κατακρήμνιση (Minor scarp). Μικρότερη κατακρήμνιση στο σώμα της μάζας που έχει ολισθήσει και έχει προέλθει από διαφορετικές κινήσεις αυτής.
- Ø Κύριο σώμα (Main body). Η μετακινούμενη μάζα μεταξύ κύριας κατακρήμνισης και ποδός της κατολίσθησης που υπέρκειται της επιφάνειας ολίσθησης.
- Ø Επιφάνεια ολίσθησης (Surface of rupture). Η επέκταση της κύριας κατακρήμνισης κάτω από τη μετακινούμενη μάζα της κατολίσθησης.
- Ø Μετακινούμενη μάζα (Displaced material). Η μάζα του πρανούς που έχει μετακινηθεί από την αρχική της θέση, λόγω της κατολίσθησης.



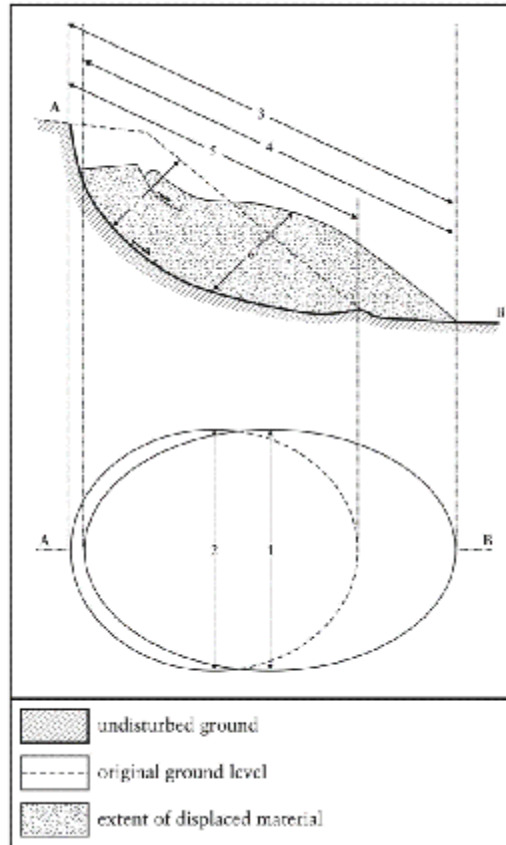
**Εικόνα 3. Σκαρίφημα Ελληνικών ορισμών.(6)**

- Ø Ζώνη απομείωσης (Zone of depletion). Η περιοχή της κατολίσθησης στην οποία η μετακινούμενη μάζα βρίσκεται κάτω από την αρχική επιφάνεια του φυσικού εδάφους.
- Ø Ζώνη συσσώρευσης (Zone of accumulation). Η περιοχή της κατολίσθησης στην οποία η μετακινούμενη μάζα κείται πάνω από την αρχική επιφάνεια του φυσικού εδάφους
- Ø Εγκάρσιες ρωγμές (Transverse cracks). Ρωγματώσεις εγκάρσια στην κύρια διεύθυνση της κίνησης, μεταξύ κύριου σώματος και ποδός.
- Ø Ακτινωτές ρωγμές (Radial cracks). Ρωγματώσεις που σημειώνονται στον πόδα της ατολίσθησης.
- Ø Εγκάρσιες διογκώσεις (Transverse ridges). Διογκώσεις στα υλικά του ποδός της κατολίσθησης.
- Ø Πόδας (Foot). Το κάτω τμήμα της κατολίσθησης που υπέρκειται της αρχικής επιφάνειας του εδάφους.
- Ø Δάκτυλος ποδός (Toe). Το κατώτερο, συνήθως κυρτό όριο του ποδός, (έχει τη μεγαλύτερη απόσταση από τη στέψη της κατολίσθησης).
- Ø Πλευρά (Flank). Η δεξιά ή αριστερή πλευρά της κατολίσθησης, όπως καθορίζεται κοιτώντας από τη στέψη προς τη μάζα της κατολίσθησης.

Αναφορικά με τα χρήσιμα γεωμετρικά στοιχεία που θα πρέπει να μετρούνται, κατά τη μελέτη μιας κατολίσθησης είναι τα παρακάτω :

- 1) Μέγιστο πλάτος ολισθαίνουσας μάζας. *Η πλευρική απόσταση της ολισθαίνουσας μάζας.*
- 2) Μέγιστο πλάτος επιφάνειας ολίσθησης. *Οι αποστάσεις των πλευρών της κατολίσθησης.*

- 3) Ολικό μήκος. Η απόσταση από το άκρο μέχρι τη στέψη της κατολίσθησης.
- 4) Μέγιστο μήκος ολισθαίνουσας μάζας. Η απόσταση από το κατάντη άκρο της ολίσθησης μέχρι την κορυφή της.



**Εικόνα 4. Σκαρίφημα ολίσθησης.**

- 5) Μήκος επιφάνειας ολίσθησης. Είναι το μήκος από τη στέψη της ολίσθησης μέχρι τον πόδα.
- 6) Μέγιστο πάχος ολισθαίνουσας μάζας. Η κάθετη απόσταση από την άνω επιφάνεια της μετακινούμενης μάζας μέχρι την επιφάνεια ολίσθησης .
- 7) Μέγιστο βάθος επιφάνειας ολίσθησης. Η κάθετη απόσταση από την αρχική επιφάνεια του φυσικού εδάφους, της επιφάνειας ολίσθησης.

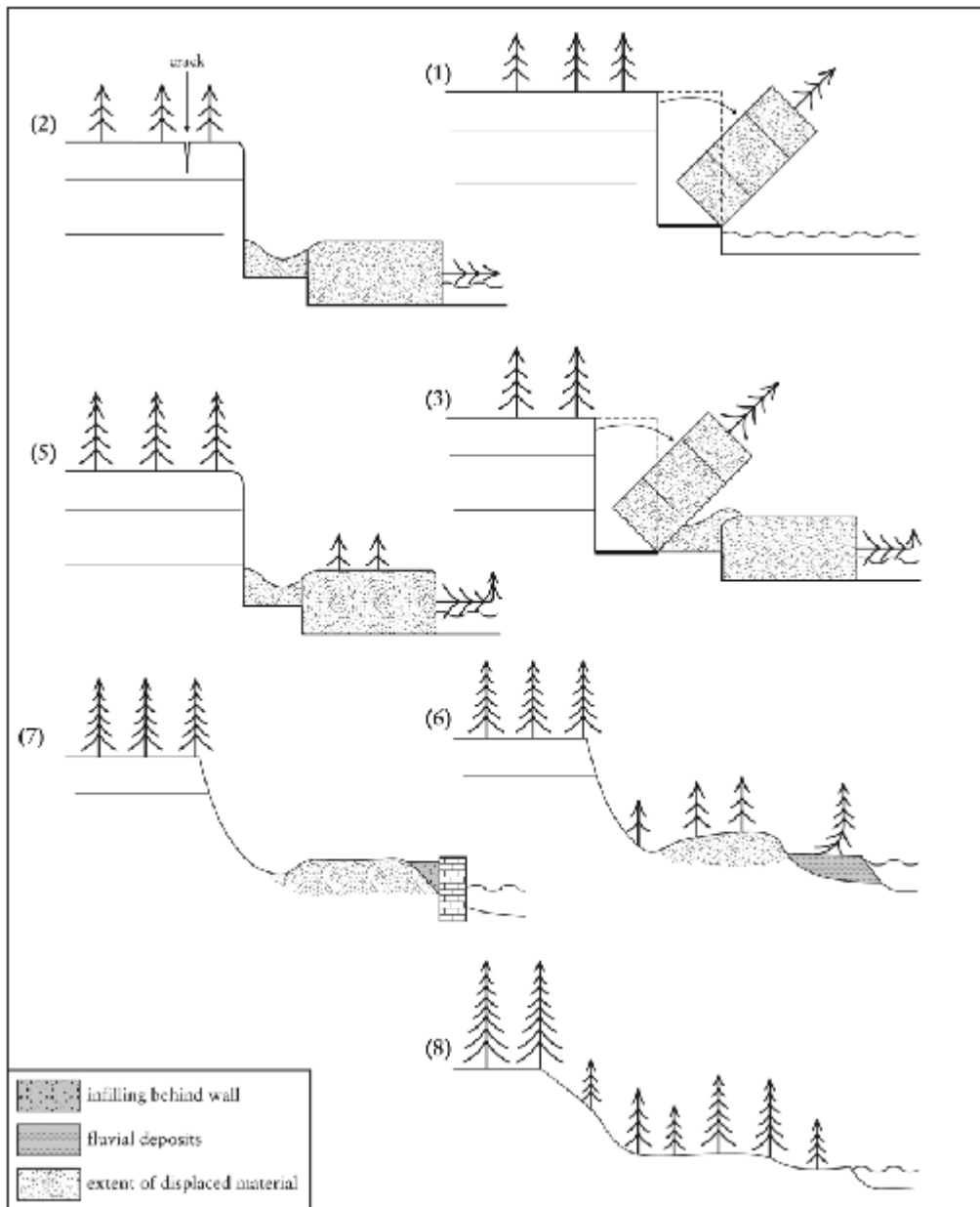
Κατά καιρούς διάφορα συστήματα ταξινόμησης των κατολισθήσεων, που βασίζονται σε πληθώρα παραμέτρων όπως:

- (α) το είδος του υλικού που ολισθαίνει,
- (β) ο τύπος κίνησης (ολίσθηση, ροή, κατάπτωση, κλπ),
- (γ) η ταχύτητα μετακίνησης,
- (δ) το αίτιο κίνησης (ανθρωπογενής δράση, είδος φόρτισης, νερό, κλπ),

- (ε) ο βαθμός εξέλιξης (ενεργή, παλιά, επαναδραστηριοποιημένη, κλπ),
- (στ) ο μηχανισμός ολίσθησης,
- (ζ) οι περιβαλλοντολογικές και κλιματικές συνθήκες,
- (η) η γεωμετρία, το μέγεθος, οι καταστροφικές συνέπειες κλπ,
- (θ) η μορφή επιφάνειας ολίσθησης (περιστροφική, επιπεδόμορφη

Ο *Erskine*, ταξινομεί τις κατολισθήσεις στις παρακάτω τέσσερις κατηγορίες, με βάση την εξέλιξή τους, δίνοντας βαρύτητα στις επιπτώσεις που πιθανόν να έχουν στα διάφορα έργα:

- Ø Σταθεροποιημένες (δεν έχουν ενδείξεις πρόσφατης ενεργοποίησης),
- Ø Πρόσφατες ενεργές (εκδηλώνονται με πρόσφατες κινήσεις),
- Ø Ενεργές (αυτές που δείχνουν να μην έχουν σταθεροποιηθεί),
- Ø Επαναδραστηριοποιημένες πρόσφατα (επαναδραστηριοποίηση μετά από περίοδο σταθεροποίησης).



**Εικόνα 5. 1)Ενεργή 2) Πρόσφατα ενεργή (σε αναστολή) 3) Επαναδραστηριοποιημένη 4) Ανενεργές (περιπτώσεις 5 έως 8)**

Παρά την πληθώρα ταξινομήσεων που έχουν υπάρξει, η ταξινόμηση που χρησιμοποιείται πάρα πολύ σήμερα (τείνει να επικρατήσει) είναι αυτή που έχει προτείνει το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας των ΗΠΑ και έχει τροποποιηθεί από τον Varnes (1978, 1980).

Η ταξινόμηση αυτή στηρίζεται:

(α) στο είδος της κίνησης και

(β) στον τύπο του υλικού που μετακινείται .

(α) Ανάλογα με το είδος της κίνησης, ο Varnes διακρίνει:

Ø καταπτώσεις (falls)


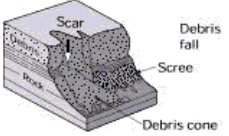
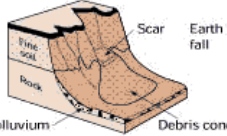
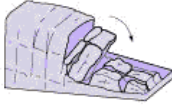
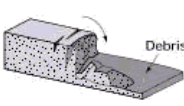
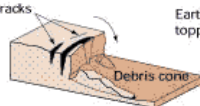
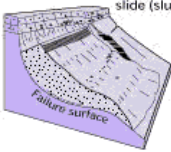
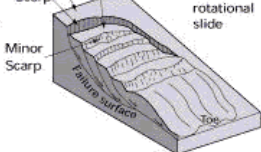
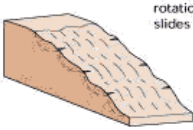
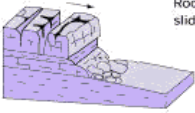
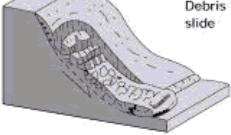
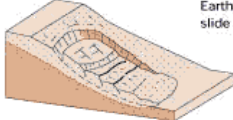


- Ø ανατροπές (topplings)
- Ø ολισθήσεις (slides)
- Ø πλευρικές εξαπλώσεις (lateral spreads)
- Ø ροές (flows)
- Ø σύνθετες κινήσεις (complex)
- Ø ερπυσμοί

(β) Ανάλογα με τον τύπο του υλικού που μετακινείται διακρίνονται οι κινήσεις που εκδηλώνονται:

Ø στο βραχώδες υπόβαθρο (bedrock) και

Ø στα επιφανειακά εδάφη (engineering soils) που διαχωρίζονται σε κορήματα (debris) και γαίες (earth).

Material		ROCK	DEBRIS	EARTH
Movement type				
FALLS				
	TOPPLES			
SLIDES	Rotational			
	Translational (Planar)			

Εικόνα 6. Ταξινόμηση κατολισθήσεων (Α)

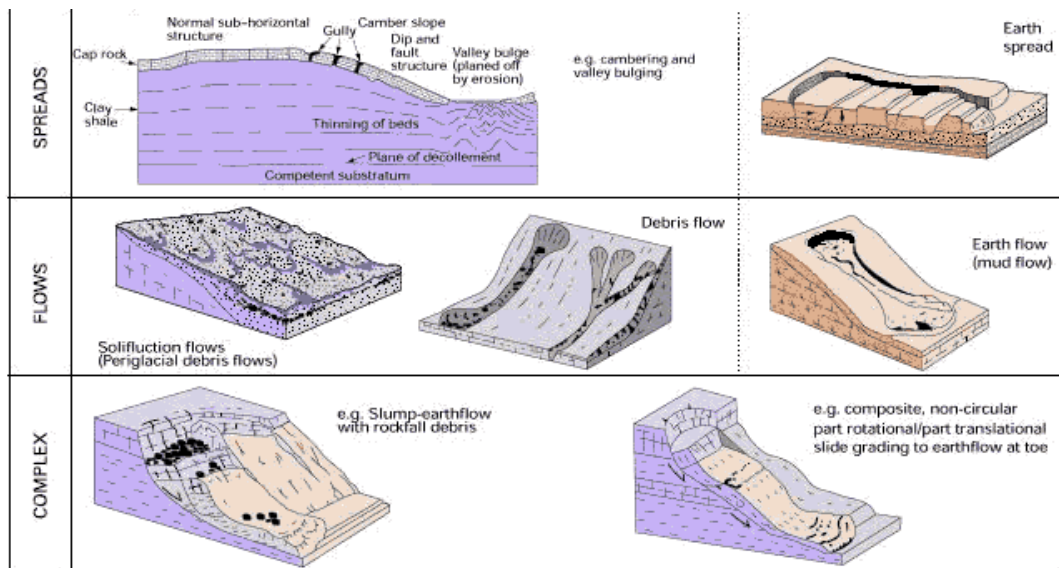


Figure 2 Classification of type of landslide (modified after Varnes, 1978 and DoE., 1990).

**Falls** mass detached from steep slope/cliff along surface with little or no shear displacement, descends mostly through the air by free fall, bouncing or rolling. Topples forward rotation about a pivot point.  
**Rotational slides** sliding outwards and downwards on one or more concave-upward failure surfaces.  
**Translational (planar) slides** sliding on a planar failure surface running more-or less parallel to the slope.  
**Spreads** fracturing and lateral extension of coherent rock or soil materials due to liquefaction or plastic flow of subjacent material.

**Flows** slow to rapid mass movements in saturated materials which advance by viscous flow, usually following initial sliding movement. Some flows may be bounded by basal and marginal shear surfaces but the dominant movement of the displaced mass is by flowage.  
**Complex slides** slides involving two or more of the main movement types in combination.

### Εικόνα 7. Ταξινόμηση κατολισθήσεων (B)

Velocity Class	Description	Velocity (mm/sec)	Typical Velocity	Probable Destructive Significance
7	Extremely Rapid	$5 \times 10^5$	5 m/sec	Catastrophe of major violence, buildings destroyed by impact of displaced material, many deaths, escape unlikely
6	Very Rapid	$5 \times 10^4$	3 m/min	Some lives lost; velocity too great to permit all persons to escape
5	Rapid	$5 \times 10^3$	1.8 m/hr	Escape evacuation possible; structures, possessions, and equipment destroyed
4	Moderate	$5 \times 10^2$	13 m/month	Some temporary and insensitive structures can be temporarily maintained
3	Slow	$5 \times 10^1$	1.6 m/year	Remedial construction can be undertaken during movement; insensitive structures can be maintained with frequent maintenance work if total movement is not large during a particular acceleration phase
2	Very Slow	$5 \times 10^0$	15 mm/year	Some permanent structures undamaged by movement
	Extremely SLOW	$5 \times 10^{-1}$		Imperceptible without instruments; construction POSSIBLE WITH PRECAUTIONS

### Εικόνα 8. Ποσοτικά μεγέθη κατολισθήσεων

## 2.3 ΔΟΜΗ Ν. ΑΧΑΪΑΣ

### Μορφολογία

Ο Νομός Αχαΐας<sup>7</sup> βρίσκεται στη βορειοδυτική Πελοπόννησο. Έχει έκταση 3.271 τετραγωνικά χιλιόμετρα, πληθυσμό 327316 κατοίκους (απογραφή του 2001) και αποτελεί μια βασική πύλη σύνδεσης της Ελλάδας με τις υπόλοιπες Μεσογειακές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μέσω του λιμανιού της Πάτρας. Αποτελεί το γεωγραφικό κέντρο βάρους της περιφέρειας, καθώς κατέχει το 29% της συνολικής έκτασης και το 43% του συνολικού πληθυσμού της. Οι ορεινοί όγκοι (65,4% της συνολικής επιφάνειας του νομού), οι ημιορεινοί (13,8%), οι πεδινόι (20,8%) και οι παράκτιοι χώροι, οι εδαφικές και κλιματικές συνθήκες και τα επιφανειακά νερά ευνοούν την ανάπτυξη. Ο βαθμός φυτοκάλυψης του νομού είναι υψηλότερος και προσεγγίζει το 97% (έκταση 3.233 τετρ. χλμ.).

Η λιθολογική σύσταση καθώς και η τεκτονική δομή του ευρύτερου τμήματος της βόρειας και δυτικής Πελοποννήσου, συμβάλουν κατά το πλείστον στην μορφολογική εικόνα αυτής σύμφωνα με τον Ρόζος (1989). Ασφαλώς η συνδυασμένη δράση της διάβρωσης και της αποσάθρωσης που επιταχύνεται λόγω των έντονων βροχοπτώσεων στην δυτική Ελλάδα, είναι παράγοντες καθοριστικοί στην δημιουργία της σημερινής γεωμορφολογίας (ΕΙΚΟΝΑ 9).

Η περιοχή χαρακτηρίζεται σαν ορεινή - ημιορεινή σε ποσοστό περίπου 60%. Οι κύριοι ασβεστολιθικοί ορεινοί όγκοι αναπτύσσονται στα νότια και είναι το Παναχαϊκό, ο Ερύμανθος και ο Χελμός. Περιφερειακά αυτών, αποτυπώνεται μια λοφώδης περιοχή, της οποίας οι κορυφές εμφανίζονται συνήθως στρογγυλεμένες. Η αποστράγγιση της περιοχής γίνεται μέσω πολυάριθμων ποταμών, χειμάρρων και ρυακιών, τα οποία σχηματίζουν ένα μέτρια αναπτυγμένο υδρογραφικό σύστημα με κοιλάδες ωστόσο συμμετρικές. Είναι αξιοσημείωτο ότι οι ποταμοί παρουσιάζουν εποχιακά κυμαινόμενη μεταφορική ικανότητα, ενώ μέρος των υδάτων κατεισδύει στους ασβεστόλιθους και ρέει δια μέσω καρστικών αγωγών. Τέλος θα πρέπει να τονιστεί το ότι οι ποταμοί έχουν μικρή σχετικά προσφορά κλαστικών υλικών και σε συνάρτηση των ανοδικών κινήσεων, δεν αναπτύσσονται μεγάλα δελταϊκά πεδία.

---

<sup>7</sup> «ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΚΑΤΩΤΕΡΟΥΣ ΜΑΡΓΑΪΚΟΥΣ ΟΡΙΖΟΝΤΕΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΑΧΑΪΑΣ.», Τσάντζαλος, ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2, Πανεπιστήμιο Πατρών.

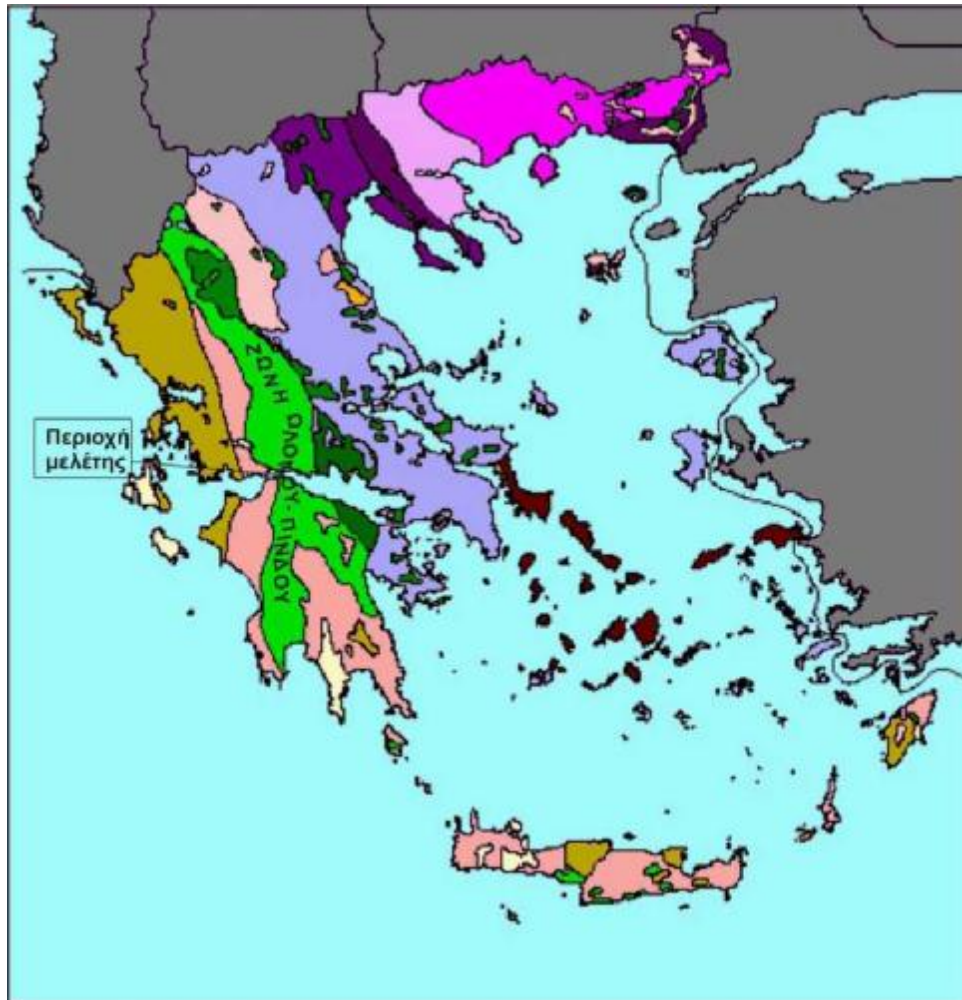


Εικόνα 9. Μορφολογική απεικόνιση του Ν. Αχαΐας

## Γεωλογική σύσταση και δομή

### Γενικά

Ο Ελληνικός χώρος κατά τον Αλπικό κύκλο ορογένεσης δέχθηκε έντονες επιδράσεις, αλλάζοντας σε μεγάλο βαθμό την έως τότε γεωγραφική του εξέλιξη. Η τεκτονική εξέλιξη διαμόρφωσε 15 λιθοστρωματογραφικές ενότητες που από Δυτικά προς τα Ανατολικά αποτελούν τις εξωτερικές και εσωτερικές Ελληνίδες. Η κύρια διαφοροποίηση τους έγκειται στο ότι οι εσωτερικές ζώνες επηρεάστηκαν από το Παλαιοαλπικό (Αν. Κρητιδικό) και το Μεσοαλπικό (Hώκαινο) ορογενετικό φαινόμενο, ενώ οι εξωτερικές μόνο από την Μεσοαλπική ορογενετική φάση (ΕΙΚΟΝΑ 10).

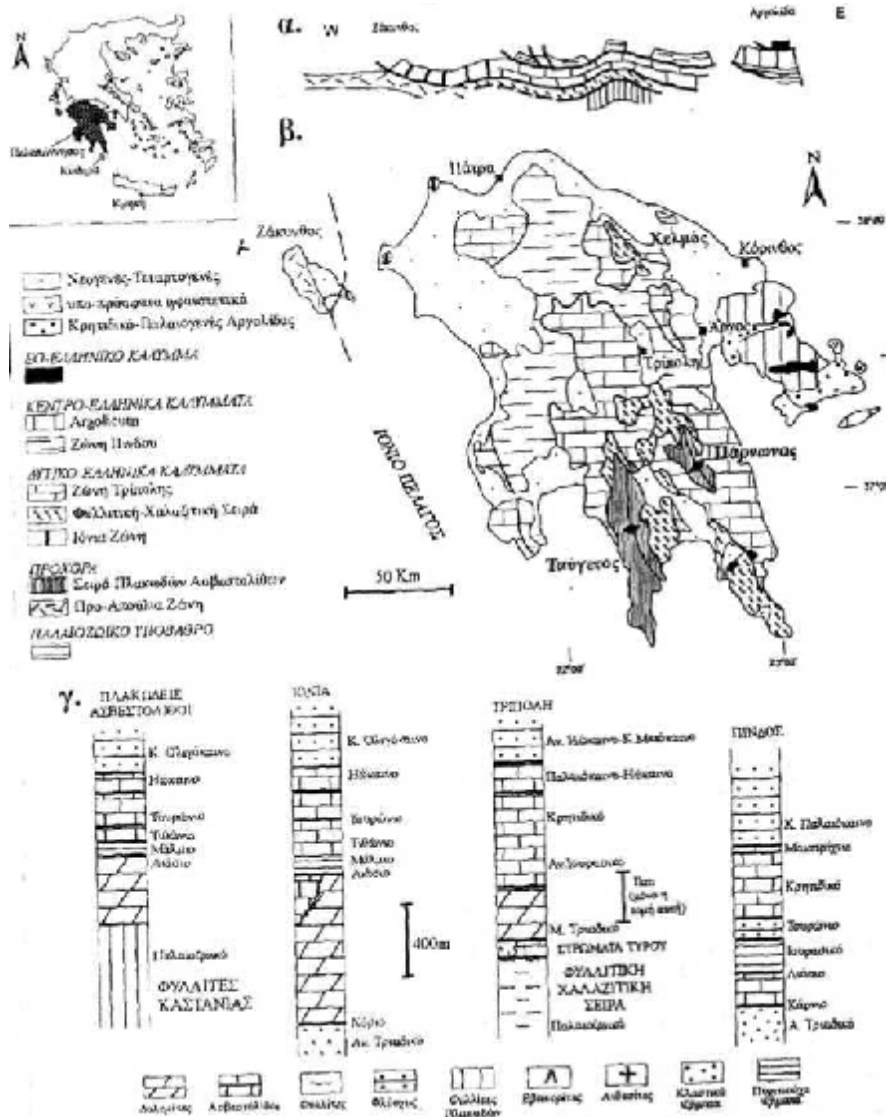


**Εικόνα 10. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος.**

Γεωλογική-Στρωματογραφική διάρθρωση του Ν.Αχαΐας.

Στην δυτική Πελοπόννησο και συγκεκριμένα στον Ν. Αχαΐας οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συνιστούν την δομή της περιοχής προέρχονται από τις εξωτερικές Ελληνίδες, οι οποίες δομούν το Αλπικό υπόβαθρο και ακολουθούν τα μετααλπικά ιζήματα του νεογενούς και του πλειστοκαίνου αλλά και οι Ολοκαινικές αποθέσεις.

Σύμφωνα με τους γεωλογικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε σε κλίμακα 1:50.000 που αναφέρονται στον νομό Αχαΐας, οι ζώνες του αλπικού υποβάθρου που συναντάμε είναι αυτές της Ωλονού - Πίνδου, Γαβρόβου - Τριπόλεως και της Ιονίου (ΕΙΚΟΝΑ 11).



Εικόνα 11. Γεωλογική-Στρωματογραφική διάρθρωση Πελοποννήσου

### ΖΩΝΗ ΩΛΟΝΟΥ-ΠΙΝΔΟΥ

Η ζώνη Ωλονού-Πίνδου αποτελούσε κατά τη διάρκεια του Μεσοζωικού την βαθύτερη αύλακα των εξωτερικών Ελληνίδων και λόγω του «αρχικού μαγματισμού» της από ανδσειτικές και σπηλιτικές λάβες κατά το Τριαδικό και Ιουρασικό θεωρήθηκε σύμφωνα με τις κλασικές αντιλήψεις ως ένα «ευγεωσύγκλινο». Ανάλογα με τη σχέση της με τις παρακείμενες ισοπικές ζώνες η ζώνη αυτή διαιρέθηκε εσωτερικά σε α) το δυτικό τμήμα του οποίου οι Κρητιδικές αποθέσεις αναπτύσσονται με πελαγικές φάσεις παρόμοιες με εκείνες της ζώνης Γαβρόβου-Τριπόλεως, β) το ανατολικό τμήμα, η «υπερπινδική υποζώνη», με ασβεστόλιθους ανάλογους με αυτούς της Υποπελαγονικής ζώνης και γ) την αξονική περιοχή με ιζήματα βαθιάς θάλασσας.

Η στρωματογραφία της ζώνης Πίνδου χαρακτηρίζεται γενικά από πελαγικά ιζήματα με ηλικίες από το Τριαδικό έως το Ηώκαινο, με εξαίρεση τις παρυφές της

Πινδικής αύλακας όπου υπάρχουν παρενστρώσεις μικρολατυποπαγών ασβεστολίθων.

Αναλυτικότερα, τη βάση της στρωματογραφικής στήλης της ζώνης Πίνδου (ΕΙΚΟΝΑ 12) αποτελούν Μέσο-Τριαδικής ηλικίας φλυσχοειδείς κλαστικές αποθέσεις, όπως εναλλαγές πηλιτών με λεπτοπλακώδεις ή μικρολατυποπαγείς απολιθωματοφόρους ασβεστόλιθους.

Προς τα επάνω ακολουθούν πυριτιούχοι ασβεστόλιθοι του Ανωτέρου Τριαδικού (Αν. Κάρνιο-Νόριο), με πάχος 150m περίπου, οι οποίοι έχουν συχνά μαργαϊκές ή δολομιτικές παρενστρώσεις. Σε ορισμένες περιοχές οι ασβεστόλιθοι αυτοί γίνονται ερυθροί και κονδυλώδεις, περιβάλλονται από ηφαιστειακούς τόφφους και είναι πλούσιοι σε αμμωνίτες (φάση του “Ammonitico Rosso”).

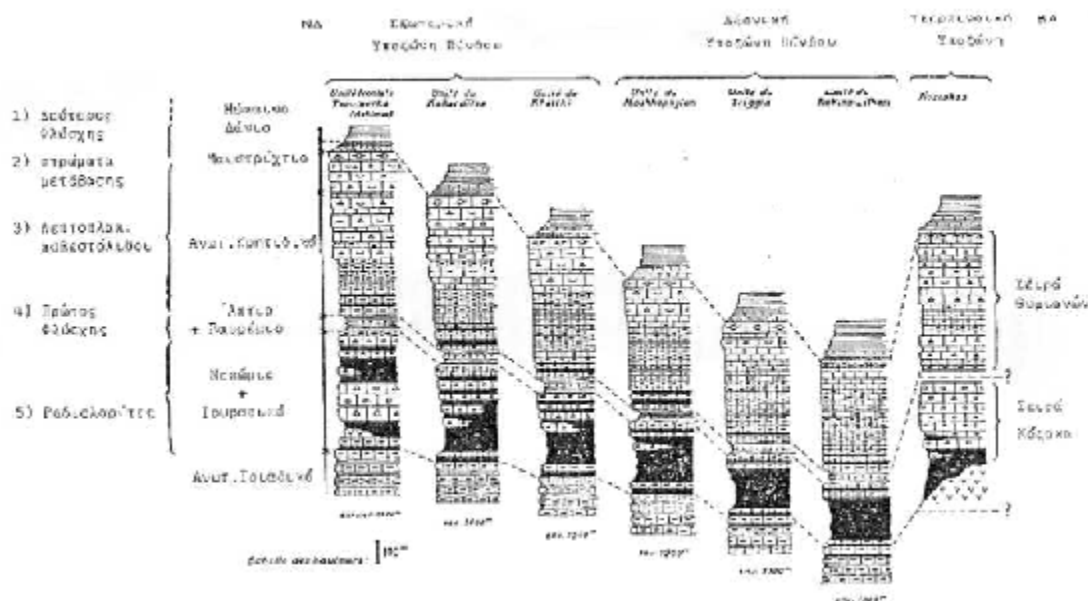
Επάνω στους ασβεστόλιθους του Αν. Τριαδικού αποτίθενται καθ' όλη τη διάρκεια του Ιουρασικού ραδιολαρίτες κόκκινου ή πράσινου χρώματος και πηλίτες που εναλλάσσονται με λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους με τα χαρακτηριστικά για την ενότητα αυτή κοκκινοπράσινα χρώματα. Το μέσο πάχος της ενότητας αυτής είναι 150-250m.

Τους ραδιολαρίτες ακολουθεί ο «πρώτος φλύσχη» της ζώνης Πίνδου. Η ηλικία του είναι μεταξύ Βαρρεμίου-Απτίου (Κατ. Κρητιδικό), όμως αυτή διαφέρει από περιοχή σε περιοχή, φτάνοντας μέχρι και το Κενομάνιο-Σενώνιο. Διαφοροποιήσεις κατά περιοχές παρουσιάζουν όμως το πάχος και η λιθολογία. Το μέγιστο πάχος του πρώτου φλύσχη φτάνει τα 140m, ενώ από πλευράς λιθολογίας αποτελείται από πηλίτες με λεπτά στρώματα ασβεστολίθων και ασβεστο-ψαμμιτών πλούσιους σε πρασινόλιθους, καθώς και από ψαμμιτικούς πάγκους.

Τον «πρώτο φλύσχη» ακολουθούν προς τα επάνω οι ασβεστόλιθοι του Ανώτερου Κρητιδικού. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί είναι πελαγικοί, λεπτοπλακώδεις με πυριτόλιθους και το πάχος τους είναι περίπου 500m. Σε περιοχές που αντιπροσωπεύουν τις παρυφές της αύλακας μέσα στους ασβεστόλιθους αυτούς υπάρχουν παρεμβολές λατυποπαγών ασβεστολίθων με ρουδιστές.

Στην κορυφή των παραπάνω λεπτοπλακωδών ασβεστολίθων πραγματοποιείται η μετάβαση προς τον «δεύτερο φλύσχη» της ζώνης της Πίνδου μέσω των λεγόμενων στρωμάτων μετάβασης. Το πάχος των στρωμάτων αυτών κυμαίνεται από 50-100m και η ηλικία τους από το Μαιστρίχτιο (Ανώτατο Κρητιδικό) έως και το Δάνιο Παλαιόκαινο.

Ο «δεύτερος φλύσχη» της ζώνης της Πίνδου που ακολουθεί έχει ηλικία έως το τέλος του Ηωκαίνου και παρουσιάζει πάχος 1000-1500m. Στα ανατολικά κυριαρχείται από την φάση των κροκαλοπαγών, ενώ προς τα δυτικά είναι περισσότερο ψαμμιτικός και ψαμμιτο-μαργαϊκός.



Εικόνα 12. Στρωματογραφικές στήλες της ζώνης Πίνδου. (από Γ.Ε. Χριστοδούλου 1982, κατά J. Aubouin).

Από τεκτονική άποψη, κύριο χαρακτηριστικό της ζώνης Ωλονού-Πίνδου είναι ότι είναι αλλόχθονη και βρίσκεται επωθημένη επάνω στη ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως προς τα δυτικά με μία έντονη τεκτονική επωθήσεων και επιπτεύσεων. Αποτέλεσμα της έντονης αυτής τεκτονικής ήταν η δημιουργία μιας μεγάλης ζώνης αποκόλλησης επάνω από την οποία απελευθερώθηκε το Κρητιδικό και ο φλύσχης, σχηματίζοντας τη χαρακτηριστική για τη ζώνη λεπιοειδή δομή. Έχουν διακριθεί έντεκα λέπια με διεύθυνση από Ανατολή προς Δύση, που έχουν ως αποτέλεσμα τις συνεχείς επαναλήψεις των στρωματογραφικών ενοτήτων και τη μεγάλη τους επιφανειακή εξάπλωση. Οι πολύ συχνές λιθολογικές εναλλαγές προκαλούν μεγάλη ετερογένεια και το σχηματισμό των χαρακτηριστικών για τη ζώνη πτυχών. Από τα δυτικά η ζώνη περιορίζεται από την επώθηση της Πίνδου, ενώ στα ανατολικά έχουν επωθηθεί επάνω σε αυτή οφιόλιθοι της Νέο-Τηθύος.

Η ζώνη της Πίνδου χαρακτηρίζεται από μεγάλη αστάθεια των σχηματισμών της και ιδιαίτερα στις περιοχές που αποτελούνται από κορήματα κλιτύων, αργιλομιγρή ιζημάτα, στα μεταβατικά στρώματα προς το φλύσχη, καθώς και στους έντονα τεκτονισμένους ασβεστόλιθους και κερατόλιθους.



## ΖΩΝΗ ΓΑΒΒΡΟΒΟΥ-ΤΡΙΠΟΛΕΩΣ

Το χαρακτηριστικό της ζώνης είναι ότι σε όλο τον νομό Αχαΐας εμφανίζεται με δύο ενότητες, το ημιμεταμορφωμένο υπόβαθρο και την ιζηματολογική ακολουθία. Ο πρώτος σχηματισμός αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα με σερικιτικούς σχιστόλιθους, καθώς και ιζηματογενή πετρώματα με ασβεστόλιθους, γύψους και δολομιτικούς ασβεστόλιθους. Όλη η ακολουθία χαρακτηρίζεται από ηφαιστειακές διεισδύσεις.

Στην ιζηματολογική σειρά σε ολόκληρη την στρωματογραφική στήλη βλέπουμε:

- Δολομίτες του Κατ. Κρητιδικού με εναλλαγές μαύρων δολομιτικών και νηριτικών ασβεστόλιθων.
- Ακολουθούν δολομίτες του Αν. Κρητιδικού και οι παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι με ρουδιστές.
- Αν. Ηωκαινικής ηλικίας νηριτικοί ασβεστόλιθοι με δολομιτικούς ορίζοντες, που μεταπίπτουν σε ασβεστόλιθους με μαργαϊκά υλικά και κροκαλοπαγή. Η ακολουθία είναι μια ζώνη μετάβασης προς τον φλύσχη.
- Φλύσχος με ηλικία Αν. Ηώκαινο - Ολιγόκαινο. Στρωματογραφικά αποτελείται από ιλυόλιθους και πηλίτες στην βάση του, ακολουθούν ιλυούχοι ψαμμίτες και ψαμμίτες με ενστρώσεις κροκαλοπαγών, ενώ σιους ανώτερους ορίζοντες απαντώνται κροκαλοπαγή. Το πάχος τους φτάνει και τα 3500m.

## ΙΟΝΤΑ ΖΩΝΗ

- Η σειρά ξεκινάει με πλακώδεις ασβεστόλιθους του Αν. Ιουρασικού - Κατ. Κρητιδικού, τους ασβεστόλιθους της Βίγλας. Χαρακτηριστικό της σειράς είναι η έντονη δολομιτίωση των ασβεστόλιθων.
- Ακολουθούν οι πελαγικοί ασβεστόλιθοι του Κατ. Κρητιδικού που εξελίσσονται σε ωολιθικούς με τρηματοφόρα και πάλι σε πελαγικούς με ακτινόζωα.
- Στη συνέχεια αποτίβενται ασβεστόλιθοι πελαγικοί με πυριτόλιθους του Παλαιοκαίνου - Κατ. Ηωκαίνου
- Τέλος συναντάμε τον φλύσχη του Ηωκαίνου που αποτελείται από εναλλαγές αργίλων, μαργών και ψαμμιτών.

Τα Νεογενή - Πλειστοκαινικά ιζήματα σύμφωνα με τον Ρόζο (1989), έχουν την μεγαλύτερη εξάπλωση στον νομό. Αποτελούνται από Θαλάσσιους, λιμνοθαλάσσιους, λιμναίους και χερσαίους σχηματισμούς. Διακρίνονται σε λεπτομερή και αδρομερή ιζήματα. Τα πρώτα δομούνται από αργίλους, μάργες, λεπτόκοκκους και μεσόκοκκους άμμους, το χαρακτηριστικό γνώρισμα των οποίων είναι οι εναλλαγές οριζόντων από μικτές φάσεις των παραπάνω υλικών. Τα δεύτερα ιζήματα αποτελούνται από κροκαλοπαγή ισχυρά συγκολλημένα, αλλά κατά Θέσεις με μέτρια συνεκτικότητα.

Πρόκειται για ένα πολυγενή σχηματισμό που η σύστασή του αποτελείται από ασβεστολιθικές, κερατολιθικές, ψαμμιτικές κροκάλες ενώ η συνδεδετική του ύλη είναι ασβεστοψαμμιτική.

Οι Ολοκαινικές αποθέσεις έχουν μεγάλη επιφανειακή εξάπλωση στα βόρεια και παράκτια μέρη του νομού λόγω της έντονης τεκτονικής .

Διακρίνονται σε:

- Αλλουβιακές παλιές αποθέσεις κροκαλοπαγών και λατυποπαγών με ασθενή συγκόλληση.
- Ασβεστολιθικούς παλαιούς και σύγχρονους κώνους κορημάτων.
- Πλευρικά ασβεστολιθικά κορήματα
- Σύγχρονες αποθέσεις κοιλάδων ποταμοχειμάρων.
- Λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις και αποθέσεις τελμάτων από ιλύ και αργιλοαμμώδη υλικά.
- Παράκτιους άμμους.

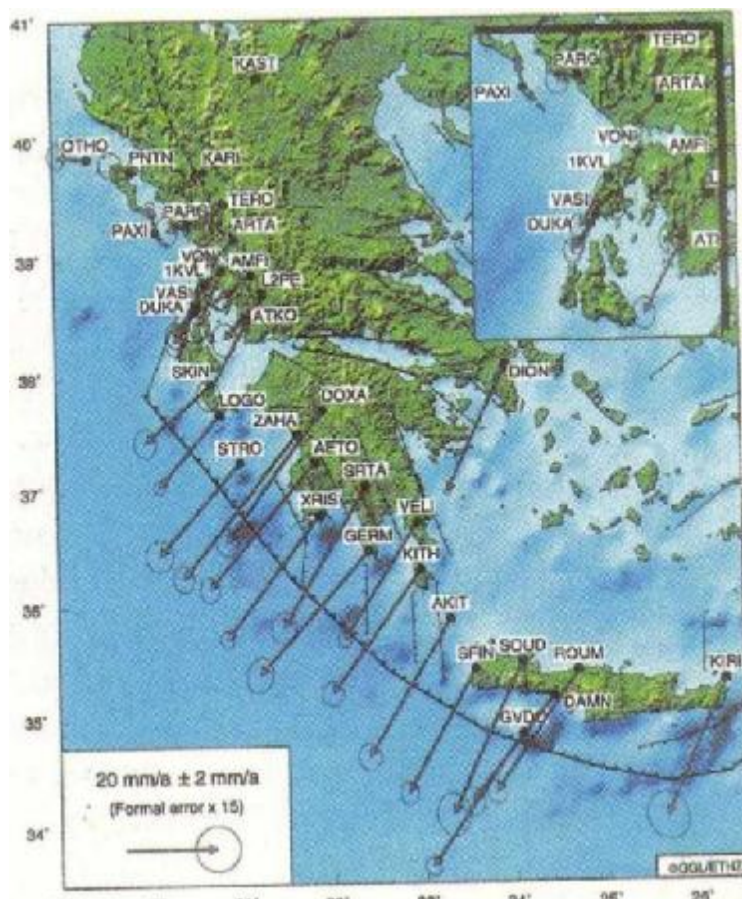
Τεκτονική

Πριν από δέκα περίπου εκατομμύρια χρόνια, συμπληρώθηκε με την παροξυσμική φάση των αλπικών πτυχώσεων ο σχηματισμός των Ελληνίδων οροσειρών, που ακολούθησαν το γνωστό τοξοειδές σχήμα, με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ στη Δυτική Ελλάδα, σχεδόν Α-Δ στην Κρήτη και ΒΑ-ΝΔ στην περιοχή του νοτιοανατολικού Αιγαίου. Οι ισχυρές συμπιεστικές τάσεις που διαμόρφωσαν τις οροσειρές ευθύνονται για τη δημιουργία μεγάλων επωθήσεων μεταξύ των γεωτεκτονικών ζωνών, με σπουδαιότερη την επώθηση της Πίνδου πάνω στους σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης.

Ακολούθησε έντονη νεοτεκτονική δραστηριότητα, κυρίως εφελκυστική, που σε συνδυασμό με γεωμορφολογικούς παράγοντες προκάλεσε το σχηματισμό εκτεταμένων νεογενών και τεταρτογενών λεκανών στα περιθώρια των οποίων απαντούν μεγάλα κανονικά ρήγματα. Σ' αυτές τις λεκάνες, παράλληλες ή κάθετες στον ορογενετικό άξονα αποτέθηκαν ηπειρωτικά ή θαλάσσια ιζήματα των οποίων το πάχος σε ορισμένες περιπτώσεις φθάνει αρκετές χιλιάδες μέτρα.

Ανάλογα με το είδος των τεκτονικών τάσεων που επηρέασαν τις διάφορες περιοχές, ο Ελληνικός χώρος χωρίζεται σε δύο τομείς: τον εξωτερικό, που περιλαμβάνει κυρίως τα Ιόνια νησιά στα οποία επικρατούσαν συμπιεστικές τάσεις (όπως και κατά μήκος όλων των ορίων του Ελληνικού τόξου) και τον εσωτερικό τομέα, στον οποίο ανήκει η υπόλοιπη Ελλάδα, όπου ο τεκτονισμός ήταν πολυφασικός. Δηλαδή, κατά το μεγαλύτερο διάστημα επικρατούσαν εφελκυστικές τάσεις, που διακόπτονταν από σύντομα συμπιεστικά τεκτονικά επεισόδια.

Σύμφωνα με τις πολυάριθμες νεοτεκτονικές έρευνες που κάλυψαν όλο σχεδόν τον Ελληνικό χώρο, οι σύγχρονες τεκτονικές τάσεις που συνδέονται με την εκδήλωση της σεισμικότητας, είναι επίσης συμπιεστικές στα Ιόνια νησιά και τις γειτονικές ακτές με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, ενώ στην υπόλοιπη Ελλάδα και το Αιγαίο είναι εφελκυστικές, με διεύθυνση περίπου Β-Ν (ΕΙΚΟΝΑ 13).



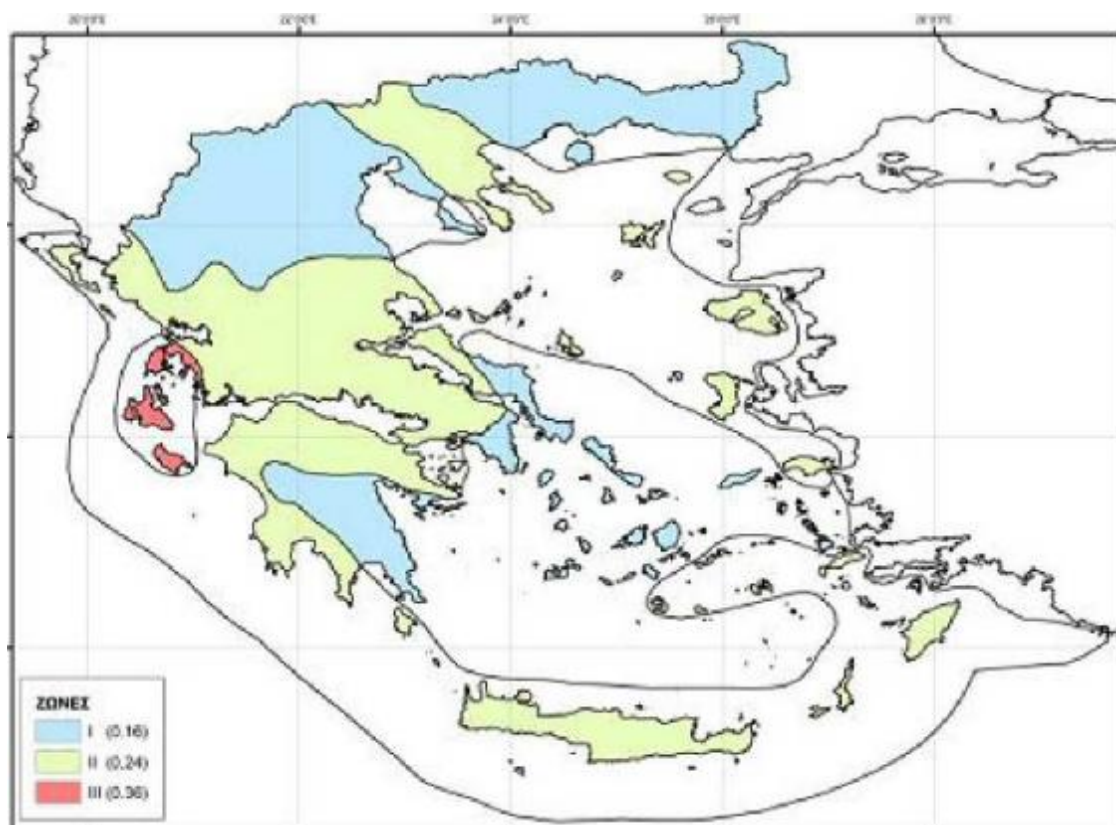
**Εικόνα 13. Ετήσιοι ρυθμοί μετατόπισης κατά μήκος του δυτικού τμήματος του Ελληνικού Τόξου σε σχέση με την Ευρώπη, GPS μετρήσεις στο διάστημα 1993-1998 (από Cocard et al 1999)**

Ίδιες σε φύση και προσανατολισμό τεκτονικές τάσεις προσδιορίστηκαν και από την επίλυση του μηχανισμού γένεσης των σεισμών από διάφορους ερευνητές, όπως Drakopoulos & Delibasis (1982), Παπαζάχος και Παπαζάχου (1989).

#### Σεισμικότητα

Η ευρύτερη περιοχή του Ν. Αχαΐας ανήκει, όπως φαίνεται και στον παρακάτω χάρτη (ΕΙΚΟΝΑ 14), στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II από τις τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας που διαιρείται ο Ελληνικός χώρος με βάση την κατανομή των μέγιστων αναμενόμενων εδαφικών επιταχύνσεων.

## ΝΕΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Εικόνα 14. Οι τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας του Ελληνικού χώρου

Η περιοχή της δυτικής Ελλάδας (και ιδιαίτερα ο Ν. Αχαΐας) διακρίνεται από την ιδιαίτερα μεγάλη σεισμικότητα της, η οποία αποδεικνύεται και από το πλήθος των ιστορικών καταγραφών. Οι πρόσφατες καταγραφές άρχισαν την τελευταία 20ετία με σύγχρονα όργανα και μεγάλο αριθμό σταθμών.

Η δυτική Ελλάδα χαρακτηρίζεται από συσσώρευση ενδιάμεσου βάθους σεισμών κατά μήκος της Ελληνικής διαύλου και συγκεκριμένα στην περιοχή όπου συναντώνται ο Πατραϊκός κόλπος με το σύστημα τάφρων Κορίνθου - Τριχωνίδας. Επιπλέον από καταγραφές παρατηρούμε ότι η δυτική Πελοπόννησο είναι πιο ενεργή από την ανατολική, με έξαρση κατά περιόδους της σεισμικότητας στην λεκάνη του Ρίου. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται τόσο στο μεγάλο βαθμό ρηγμάτωσης του φλοιού προς τα δυτικά, όσο και σε μια προοδευτική αύξηση της παραμόρφωσης προς την ίδια κατεύθυνση.

Στον παρακάτω πίνακα (ΠΙΝΑΚΑ 1) παρατίθενται σεισμοί μεγέθους άνω των 3,2R που πραγματοποιήθηκαν στην ευρύτερη περιοχή του Ν. Αχαΐας από το έτος 1972 μέχρι το έτος 1999.

ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΓΕΩΓΡΑΦ. ΠΛΑΤΟΣ	ΓΕΩΓΡΑΦ. ΜΗΚΟΣ	ΕΣΤΙΑΚΟ ΒΑΘΟΣ (Km)	ΜΕΓΕΘΟΣ (Richter)
1972	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	31	38.2	21.9	-	3.5
1974	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	29	38.3	22	-	4
1975	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	31	38.3	21.9	-	3.7
1976	ΙΟΥΝΙΟΣ	21	38.3	21.9	11	3.5
1979	ΙΟΥΝΙΟΣ	28	38.3	22	-	3.3
1980	ΜΑΡΤΙΟΣ	9	38.2	21.9	-	3.3
1980	ΜΑΡΤΙΟΣ	20	38.3	22	-	3.4
1980	ΜΑΙΟΣ	5	38.3	21.9	-	3.4
1980	ΙΟΥΛΙΟΣ	2	38.3	22	-	4
1981	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	29	38.3	22	-	3.8
1982	ΙΟΥΝΙΟΣ	9	38.3	21.9	-	3.9
1983	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	25	38.3	21.92	7	3.4
1993	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	4	38.3	21.89	22	3.4
1994	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	24	38.3	21.87	5	3.4
1994	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	12	38.24	21.87	34	3.8
1995	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	23	38.2	21.94	21	3.5
1995	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	10	38.3	21.94	5	3.3
1997	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	22	38.28	21.93	5	3.3
1998	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	13	38.28	21.95	5	3.5
1998	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	17	38.27	21.99	5	3.4
1998	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	26	38.23	22	5	3.9
1998	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	26	38.31	21.98	5	3.4
1999	ΜΑΙΟΣ	21	38.32	21.95	5	3.3
1999	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	21	38.32	21.84	5	3.3
1999	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	31	38.31	21.92	10	3.3

## 2.4 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ – ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

### Γεωλογία<sup>8</sup>

Η πόλη της Πάτρας, είναι κτισμένη κατά το μεγαλύτερο μέρος της πάνω σε προσχωσιγενείς αποθέσεις ολοκαινικής ηλικίας καθώς και στα νεογενή ιζήματα. Οι πρώτες συνίστανται από αργιλοαμμώδη κυρίως υλικά με διάσπαρτες κροκάλες και λατύπες, το δε πάχος τους φθάνει κατά θέσεις τα 70 μέτρα.

Το τμήμα βόρεια της πόλης καλύπτεται από υλικά κώνων κορημάτων, όπως άμμους και ασύνδετα αποστρογγυλευμένα τεμάχια ανθρακικής σύστασης, τα οποία σχηματίζονται στις εξόδους των μεγάλων χειμάρρων που διασχίζουν την ευρύτερη, περιοχή. Στα Ανατολικά της πόλης επικρατούν τα παραπάνω νεογενή ιζήματα Άνω Πλειοκαινικής - Πλειστοκαινικής ηλικίας με μεγάλη εξάπλωση και συνολικό πάχος που φθάνει τα 1.200 μέτρα. Οι αποθέσεις αυτές είναι εναλλαγές λιμναίων, υφάλμυρων και θαλάσσιων ιζημάτων αποτελούμενων από κροκαλοπαγή, αμμούχες μάργες, αμμούχους πηλούς και αργίλους.

Οι νεογενείς και τεταρτογενείς αυτές αποθέσεις, που θα αναφερθούν με λεπτομέρεια παρακάτω, καλύπτουν τους προνεογενείς σχηματισμούς των γεωτεκτονικών ζωνών Ιονίου, Γαβρόβου - Τριπόλεως και Ωλονού Πίνδου που συνιστούν το γεωλογικό υπόβαθρο της ευρύτερης περιοχής τον νομού Αχαΐας. Οι σχηματισμοί αυτοί έχουν μελετηθεί λεπτομερώς από γεωλογικής, τεχνικογεωλογικής και γεωτεχνικής πλευράς στη διδακτορική διατριβή του Δ. Ρόζος (1989).

Γεωμορφολογία-Υδρογεωλογία ευρύτερης περιοχής Πατρών.

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης, ανήκει στην λεκάνη ιζηματογένεσης Πάτρας - Ρίου, η οποία έχει μια επιμήκη ανάπτυξη. Παρά το γεγονός αυτό, η εμφάνιση των Πλειοπλειστοκαινικών ιζημάτων περιορίζεται σημαντικά λόγω της δράσης των αλουβιακών ριπιδίων και των Τεταρτογενών αποθέσεων. Μορφολογικά έχει ήπιο χαρακτήρα με την παρουσία λοφοειδών εξάρσεων με μικρό σχετικά υψόμετρο που δεν ξεπερνά τα 200m. Η κλίση των στρωμάτων κυμαίνεται από 10° - 30° με γενική διεύθυνση προς τον νότο.

Σχετικά με την υδροφορία των Πλειοκαινικών και Τεταρτογενών της ευρύτερης περιοχής της πόλης των Πατρών, οι σχηματισμοί κατατάσσονται σε υδροπερατούς αλλά και ημιπερατούς. Στους πρώτους εντάσσονται οι εναλλαγές των χαλαρών κροκαλοπαγών, των μαργών, των άμμων και των χαλικιών. Αντίθετα την λεπτομερή φάση των Πλειο-Πλειστοκαινικών αποθέσεων, που μας απασχολεί από πλευράς έρευνας, κατατάσσονται στην δεύτερη κατηγορία. Στα υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά των ημιπερατών σχηματισμών, προσδίδεται μια υδρογεωλογική συμπεριφορά που κυμαίνεται από πολύ υδροπερατά έως πρακτικά στεγανά. Παράλληλα η υδροφορία των περισσότερο αδρομερών υλικών από την ενότητα αυτή, χαρακτηρίζεται κατά τόπους από σημαντική ειδική απόδοση (παροχή / πτώση στάθμης) της τάξης των 0,21 m /h/m. Ο Ρόζος (1990), υπολογίζοντας την υδροπερατότητα τους, την βρήκε να κυμαίνεται από 102 - 106 cm/sec. Έντονο είναι

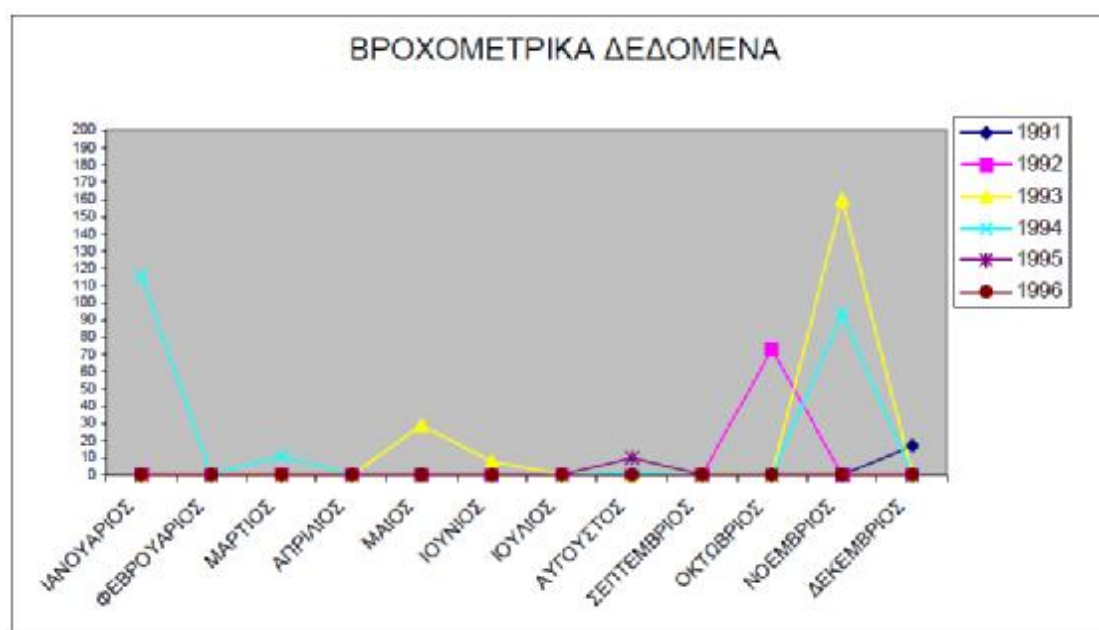
<sup>8</sup> «ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΚΑΤΩΤΕΡΟΥΣ ΜΑΡΓΑΪΚΟΥΣ ΟΡΙΖΟΝΤΕΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΑΧΑΪΑΣ.», Τσάντζαλος, ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3, Πανεπιστήμιο Πατρών.

και το φαινόμενο μέσα στις αποθέσεις αυτές, της ανάπτυξης επάλληλων υπό πίεση υδροφόρων, λόγω της γρήγορης εναλλαγής των λιθοστρωματογραφικών ενοτήτων.

Γενικά, με την βοήθεια γεωτρήσεων, διαπιστώνεται ότι το υδροφόρο πεδίο τόσο της πεδινής όσο και της χαμηλά υψομετρικά λοφώδους περιοχής αποτελείται από επάλληλους υπό πίεση υδροφόρους ορίζοντες αδρομερούς προσχωματικού υλικού, με παρεμβολές λεπτών στρωμάτων. Το πάχος των αργιλικών στρωμάτων είναι μεγαλύτερο προς την πλευρά των εκβολών των ποταμοχειμάρρων συμβάλλοντας έτσι στην δημιουργία φαινομένων αρτεσιανισμού.

Το κλίμα παράλληλα, είναι μεσογειακό εύκρατο χωρίς σημαντικές θερμοκρασιακές μεταβολές. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι περίπου 18 βαθμοί Κελσίου, ενώ στην πόλη της Πάτρας η μέση διακύμανση της θερμοκρασίας είναι μεταξύ 8,5-28,1 βαθμοί Κελσίου (1990-1994). Από τα στοιχεία της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας φαίνεται πως ψυχρότερος μήνας είναι ο Φεβρουάριος και θερμότερος ο Αύγουστος. Ψυχρότερο είναι το κλίμα στα ορεινά του νομού. Όσον αφορά τις βροχοπτώσεις, ο μήνας με το μεγαλύτερο ύψος βροχής είναι ο Νοέμβριος και ξηρότεροι οι μήνες Ιούλιος και Αύγουστος. Οι επικρατούντες άνεμοι είναι βόρειοι βορειοδυτικοί ενώ το μέσο ύψος διανομής της βροχής 800-1000 χιλιοστά στα παράλια και λίγο μεγαλύτερο από 1000 χιλ. στα ορεινά.

Στην (ΕΙΚΟΝΑ 15) παρατίθενται βροχομετρικά δεδομένα για την ευρύτερη περιοχή για τα έτη 1991-1996, μέσα από το σχετικό γράφημα του μηνιαίου ύψους βροχής καθώς και στον ΠΙΝΑΚΑ 2 πληροφορίες για τα έτη 1960-1999 .

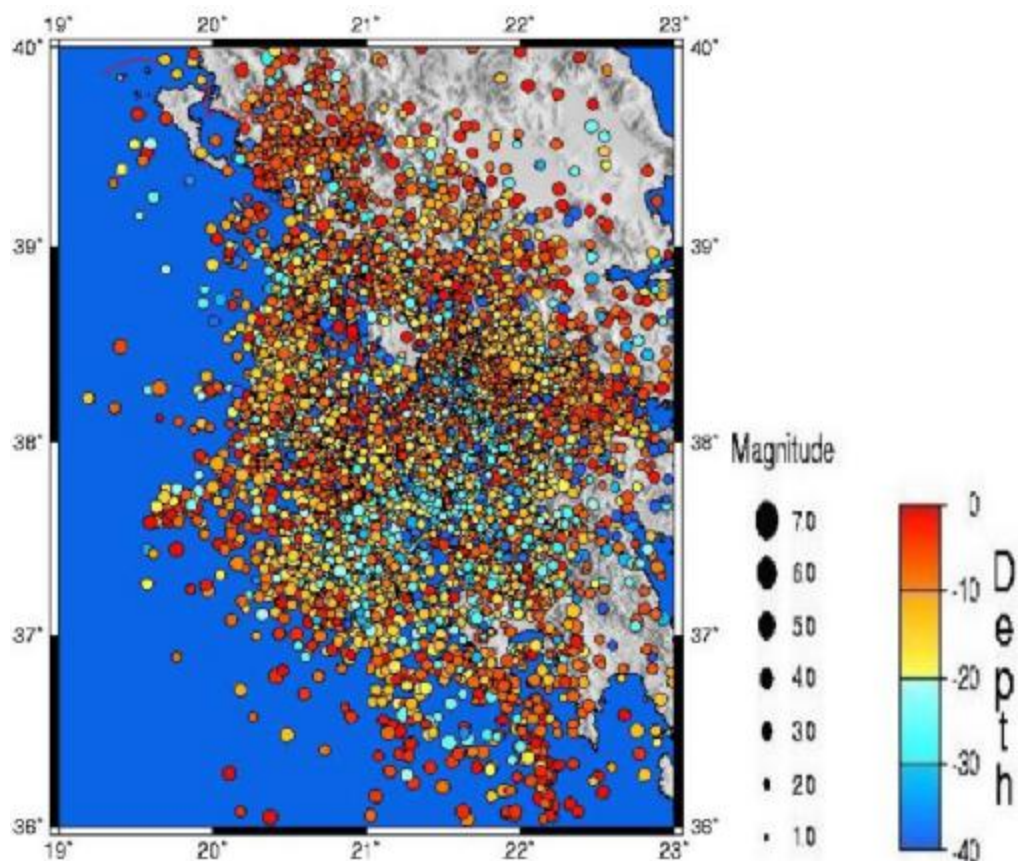


Εικόνα 15. Γράφημα μηνιαίου ύψους βροχής για τα έτη 1991-1996





Ακόμα, με βάση τις διαστάσεις των ρηγμάτων της περιοχής ζεύξης και τη χρήση εμπειρικών μεθόδων, καταλήγουν ότι το αναμενόμενο μέγιστο μέγεθος σεισμού, σε περίπτωση ενεργοποίησης της κύριας ρηξιγενούς γραμμής της περιοχής, είναι 6.6 R. Τέλος, αναμενόμενη μέγιστη μακροσεισμική ένταση στην περιοχή που αναπτύσσεται με κέντρο το δίαυλο Ρίου-Αντιρρίου και ακτίνα 130 χλμ γύρω από αυτόν τα επόμενα 100 χρόνια, αναφέρουν αυτήν των 8 βαθμών της τροποποιημένης κλίμακας Mercalli. Έτσι, λόγω της υψηλής σεισμικότητας και της γεωλογικής της δομής η περιοχή Πατρών στο νέο χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας του ΟΑΣΠ, καθώς και στον Νέο Αντισεισμικό Κανονισμό κατατάσσεται ζώνη II.



Εικόνα 16. Καταγραφή σεισμικών επικέντρων στην ευρύτερη περιοχή της ΒΔ Πελοποννήσου.

### Νεοτεκτονική και παλαιογραφική εξέλιξη

Η πόλη της Πάτρας βρίσκεται σε μία περιοχή του Ελληνικού χώρου, που χαρακτηρίζεται από πρόσφατες τεκτονικές δομές. Το πλήθος και το μέγεθος των ρηγμάτων που απαντούν στην ευρύτερη περιοχή, μαρτυρούν μια έντονη νεοτεκτονική δραστηριότητα που συνεχίζεται μέχρι σήμερα με την εκδήλωση μεγάλης σεισμικότητας.

Οι Doutsos κ.ά. (1988) αναφέρουν ότι το σύστημα των τεκτονικών βυθισμάτων Κορίνθου - Πάτρας σχηματίστηκε κατά το Μέσο Πλειόκαινο, με διαφορετικό τρόπο από γεωδυναμική άποψη. Κατ' αυτούς η διαμόρφωση του Πατραϊκού κόλπου οφείλεται στη δράση προϋπαρχόντων ρηγμάτων διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ που επαναδραστηριοποιήθηκαν κατά τη σύμπτυξη της Προαπούλιας ζώνης κάτω από την

Πελοπόννησο, ενώ ο Κορινθιακός δημιουργήθηκε από τη δράση παλαιών ρηγμάτων που έδρασαν κάτω από έναν εφελκυσμό διεύθυνσης BBA-NNΔ, που επηρέασε όλη την περιοχή του Αιγαίου.

Υποθαλάσσιες έρευνες στον Πατραϊκό κόλπο (Feredmos κ.ά. 1985) έδειξαν την ύπαρξη δύο συστημάτων ρηγμάτων, με κύριες διευθύνσεις ΔΒΔΑΝΑ και ΒΑ-ΝΔ. Το πρώτο σύστημα είναι αυτό που ελέγχει τη βαθυμετρία του κόλπου. Κατά τους ίδιους ερευνητές, ο θαλάσσιος πυθμένας στο στενό Ρίου-Αντιρρίου, δεν φαίνεται να επηρεάζεται από ενεργά ρήγματα.

Οι Mariolakos κ.ά. (1985) διαπιστώνουν ότι στη ΒΔ/κή Πελοπόννησο, η νεοτεκτονική δράση χαρακτηρίζεται από σεισμικώς ενεργά ρήγματα μέσης διεύθυνσης Α-Δ με υψηλό βαθμό παραμόρφωσης που διαμορφώνουν παράλληλα κέρατα και βυθίσματα, τα οποία κλίνουν προς νότο.

Οι Περισσοράτης κ.ά. (1986) που πραγματοποίησαν λεπτομερείς υποθαλάσσιες έρευνες στο στενό Ρίου-Αντιρρίου το θεωρούν τεκτονικό βύθισμα, που δημιουργήθηκε κατά το Τεταρτογενές. Τα πρόσφατα ιζήματα (εκτός από τα Ολοκαινικά) έχουν επηρεαστεί από ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ και ΒΔ-ΝΑ.

Σύμφωνα με τους Doutsos κ.ά. (1987, 1988) το βύθισμα της Πάτρας συνδέεται με μια ρηξιγενή ζώνη μήκους 40 χλμ. και πλάτους 5 περίπου χλμ, που εκτείνεται από το ακρωτήριο του 'Αραξου μέχρι το χωριό του Ελληνικού. Τα πρόσφατα ιζήματα της περιοχής είναι διευθετημένα σε τεκτονικά τεμάχια που προήλθαν από μία σειρά λιστρικών ρηγμάτων που επηρεάζουν και τη βαθυμετρία του Πατραϊκού κόλπου.

Η ύπαρξη επίσης κανονικών ρηγμάτων με κύρια διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και δευτερεύουσες ΒΒΔ και ΒΒΑ έχει σαν αποτέλεσμα μια επέκταση της περιοχής περίπου 10%. Απαντούν επίσης πρόσφατα ρήγματα διεύθυνσης ΑΒΑ που έχουν μετατοπίσει ποτάμια αναβαθμίδες.

Σύμφωνα με τους ίδιους συγγραφείς, οι μικρού πάχους ποταμολιμναίες και παράκτιες αποθέσεις του βυθίσματος της Πάτρας έχουν παρόμοια λιθοστρωματογραφική ανάπτυξη με τις μεγάλης πάχους πλειο-πλειστοκαινικές αποθέσεις της περιοχής τον Κορινθιακό κόλπο.

Τα περισσότερα ρήγματα που επηρεάζουν την περιοχή τον Ρίου ειδικότερα, έχουν διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ μέχρι ΑΒΑ-ΔΝΔ, ενώ απαντούν και ρήγματα ΒΒΔ και ΔΒΔ διεύθυνσης. Τα ρήγματα αυτά είναι κανονικά, και προκαλούν επέκταση της τάξεως του 30%. Τα ρήγματα διεύθυνσης ΔΒΔ και ΑΒΑ πρέπει να είναι σύγχρονα αφού και τα δύο μετατοπίζουν θαλάσσιες αναβαθμίδες.

Οι ίδιοι συγγραφείς αναφέρουν τέλος ότι πολλά από τα ρήγματα της περιοχής του Ρίου διεύθυνσης ΑΒΑ και ΔΒΔ βαθμιαία κάμπτονται και αποκτούν διεύθυνση Α-Δ, όπως αυτή που έχουν τα ρήγματα βόρεια και νότια από την Πανεπιστημιούπολη της Πάτρας.

Σε εργασία των Καρφάκη-Μουγιάρη (1988) αναφέρεται ότι ο Κορινθιακός κόλπος ελέγχεται από κανονικά ρήγματα ΔΒΔ διεύθυνσης καθώς και ΑΒΑ διεύθυνσης, τα οποία παρουσιάζουν και οριζόντια συνιστώσα της κίνησης.

Τέλος, ο Ρόζος (1989) αναφέρει για τη λεκάνη τον Κορινθιακό την παρουσία τριών κυρίων συστημάτων ρηγμάτων. Στο πρώτο με δ/νση σχεδόν Α-Δ εντάσσονται τα κανονικά ρήγματα που διαμορφώνουν την παράκτια περιοχή ενώ τα δύο αλλά με ΒΔ/κή και ΒΑ δ/νση αντίστοιχα διαμορφώνουν ορθογώνιο σύστημα ρηγμάτων.

Στο χάρτη διαρρήξεων - ρηγμάτων της ευρύτερης περιοχής της πόλης των Πατρών (ΕΙΚΟΝΑ 3-3) παρατηρούμε τα εξής:

Υπάρχει ένα δίκτυο ρηγμάτων και διαρρήξεων με επικρατούσα διεύθυνση ΒΑ- ΝΔ. Η διεύθυνση αυτή ελέγχει αφενός την επαφή μεταξύ των αλπικού υποβάθρου (στα ΝΑ της πόλης) με τα νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα της λεκάνης. Διαρρήξεις ίδιας διεύθυνσης επικρατούν και μέσα στις νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις.

Χαρακτηριστική είναι η ομάδα παράλληλων ρηγμάτων στην περιοχή μεταξύ του λιμανιού της πόλης και του Γλαυκού ποταμού η οποία ξεκινά από την παραλιακή ζώνη, διασχίζει κατοικημένη περιοχή και φθάνει μέχρι τους λόφους που υψώνονται ανατολικά της πόλης (Β του Διάκου).

Στην ομάδα αυτή ανήκει και το γνωστό ρήγμα που περνά από την Αγ. Τριάδα και που έδρασε πρόσφατα (με τους σεισμούς του 1987) προξενώντας ζημιές τόσο στους δρόμους όσο και στα κτίρια που έχουν κτιστεί κατά μήκος του ίχνους του και σε στενή ζώνη εκατέρωθεν αυτού.

Άλλη επικρατούσα διεύθυνση που διασχίζει την περιοχή είναι η ΒΔ-ΝΑ. Πολλά από τα ρήγματα της διεύθυνσης αυτής εμφανίζονται τόσο το υπόβαθρο όσο και στα ιζήματα της λεκάνης τα περισσότερα των οποίων ελέγχουν την διεύθυνση της κοίτης των μεγάλων ρεμάτων, καθώς και την έντονη τοπογραφική διαφορά που φαίνεται στην περιοχή της Εγλυκάδας η οποία συμπίπτει με το όριο των νεογενών σχηματισμών και της αλλουβιακής πεδιάδας.



Εικόνα 17. Χάρτης διαρρήξεων της ευρύτερης περιοχής της πόλης των Πατρών.

## Λιθοστρωματογραφία

Λόγω της ανάπτυξης των κύριων αστικών κέντρων πάνω στα Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα, τα τελευταία έγιναν κέντρο μελέτης από πολλούς ερευνητές με σκοπό την πλήρη διερεύνηση τους. Έτσι μετά την καταγραφή της ηλικίας τους, διακρίθηκαν σε δύο φάσεις όπου την κατώτερη αποτελούσαν μάργες με αργίλους και την ανώτερη κροκαλοπαγή. Μεταγενέστερες εργασίες έδωσαν απαντήσεις για την προέλευση τους, τη λιθοστρωματογραφική τους διάθρωση και την τεκτονική τους δομή.

Η δημιουργία της Πατραϊκής-Κορινθιακής λεκάνης τοποθετείται γεωχρονολογικά στο Ανώτερο Πλειόκαινο. Τα περιβάλλοντα ιζηματογένεσης παρουσιάζονται με μεγάλη ποικιλία κοκκομετρικής διαβάθμισης αλλά και λιθολογικής σύστασης.

Σύμφωνα με ερευνητικές εργασίες, ποτάμιες αποθέσεις υπέρκεινται σύμφωνα των λιμνοθαλάσσιων αποθέσεων που εμφανίζονται στα δυτικά της λεκάνης. Ωστόσο προς το νότιο τμήμα της λεκάνης έχουμε πλευρική μετάβαση των ποτάμιων αποθέσεων με τα αλουβιακά ριπίδια. Τα αδρομερή κλαστικά υλικά είχαν πηγή τροφοδοσίας προς το νότο, έτσι τα αλουβιακά περιβάλλοντα συνδέονται με την ζώνη της Πίνδου καθ' όσον γύρω από τους όγκους της ζώνης Τριπόλεως αποτίθενται ποταμολιμναία ιζήματα.

Ένας ιζηματολογικός, στρωματογραφικός αλλά και παλαιοντολογικός διαχωρισμός για τις ενότητες των Πλειοπλειστοκαινικών σχηματισμών, είναι ο εξής: Η λεπτομερής μακροσκοπική εξέταση των δειγμάτων των γεωτρήσεων που εκτελέστηκαν, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών κατ' επιτόπου δοκιμών, επέτρεψαν τη διάκριση των εδαφικών σχηματισμών της περιοχής έρευνας σε τέσσερις (4) γεωτεχνικές ενότητες. αυτό ήταν αποτέλεσμα της ταξινόμησης και αξιολόγησης όλων των γεωλογικών και γεωτεχνικών πληροφοριών κατά τέτοιο τρόπο ώστε τελικά να ομαδοποιηθούν σε συγκεκριμένες ζώνες (γεωτεχνικές ενότητες), όπου κάθε ζώνη να εκφράζει ποιοτικά ή και ποσοτικά ένα ορισμένο πλαίσιο ομοιογένειας ως προς τη μηχανική συμπεριφορά του εδάφους.

Η ταξινόμηση των γεωτεχνικών ενότητων έχει ως εξής:

Ενότητα I: Τεφρή μαλακή ιλύς ή ιλυώδης άργιλος, παράκτιας φάσης.

Ενότητα II: Αλλουβιακές, - Διλουβιακές αποθέσεις μικτής φάσης.

Υποενότητα IIα: Καστανές, καστανότεφρες, τεφροκίτρινες, καστανοκίτρινες, καστανέρυθρες ιλύες και άργιλοι.

Υποενότητα IIβ: Καστανές, καστανότεφρες κ.λπ., ιλυώδεις - αργιλώδεις άμμοι και αμμοχάλικα.

Υποενότητα IIγ: Ιλυώδεις αποθέσεις και οργανικές αλλουβιακές αποθέσεις.

Ενότητα III: Τεφρές - καστανότεφρες σιφρές άργιλοι και ιλύες πλειστοκαινικής ηλικίας

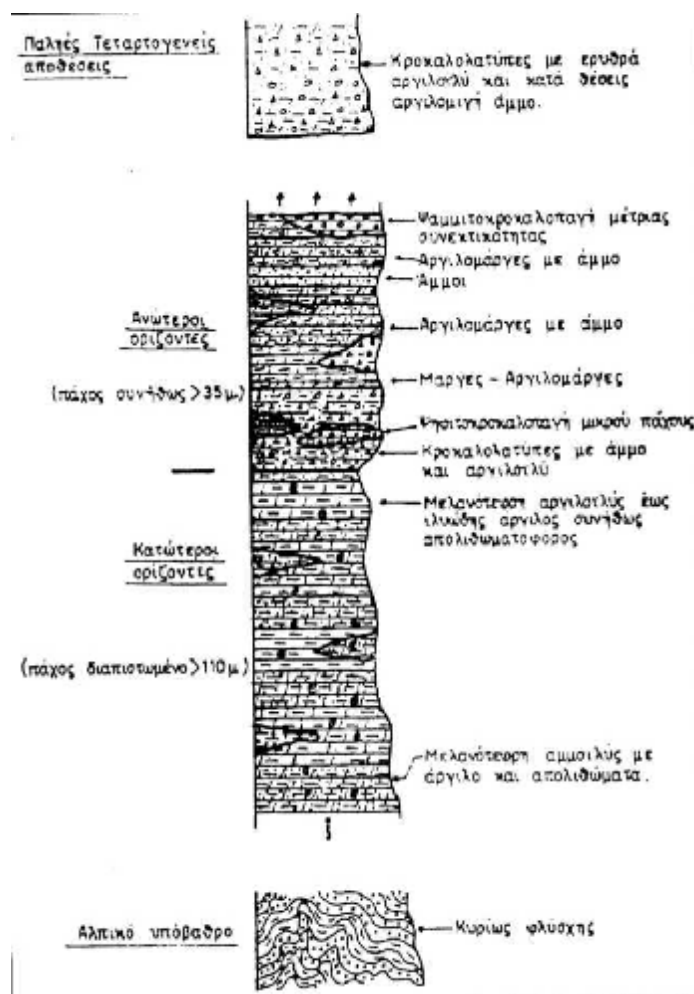
Υποενότητα IIIα: Τεφρές - καστανότεφρες άργιλοι και ιλύες.

Υποενότητα IIIβ: Τεφρά - καστανότεφρα ιλυώδη αμμοχάλικα και άμμοι.

Ενότητα IV: Μαργαϊκό υπόβαθρο (πλειοπλειστόκαινο).

Οι επιχωματώσεις και οι τελείως πρόσφατες αποθέσεις έχουν ληφθεί υπόψη, αλλά δεν έχουν ενταχθεί σε κάποια γεωτεχνική ενότητα.

Ωστόσο οι επιφανειακές εμφανίσεις των αργιλομαργαϊκών και μαργαϊκών σχηματισμών που αποτελούν και το αντικείμενο έρευνας της παρούσης διπλωματικής, παρουσιάζουν μικρή εξάπλωση στην ευρύτερη περιοχή της Πάτρας. Η δομή τους, αποκαλύπτεται είτε με την επέκταση της οικιστικής ανάπτυξης της πόλης, που λόγω των εκσκαφών θεμελίωσης, δημιουργούνται τεχνητά πρηνή, είτε με την συνδυασμένη δράση της διάβρωσης και της τεκτονικής που σε χαμηλότερα υψομετρικά επίπεδα, βοηθούν στον εντοπισμό του κατώτερου στρωματογραφικού ορίζοντα μέσα σε κοιλάδες ποταμών και χειμάρρων. Έτσι όπου εντοπίστηκαν, έγινε δειγματοληψία για την καταγραφή των φυσικών και μηχανικών τους χαρακτηριστικών όπως θα παρουσιαστεί στα επόμενα κεφάλαια.



Εικόνα 18. Στρωματογραφική τομή της λεκάνης ιζηματογένεσης της Πάτρας.(Ρόζος 1989).

### Αργιλομαργαϊκοί-μαργαϊκοί σχηματισμοί

Τα λεπτομερή Πλείο -Πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα, αποτελούν ένα σχηματισμό που τόσο στον Ελληνικό όσο και τον και τον Διεθνή επιστημονικό χώρο αντιμετωπίζεται με διαφορετικά κριτήρια κατάταξης ανάμεσα στον γεωλόγο και τον μηχανικό. Έχει επικρατήσει ο όρος μάργα να είναι ο πιο διαδεδομένος για να χαρακτηρίσει αυτούς τους σχηματισμούς. Βέβαια η ονοματολογία αυτή αναφέρονταν

κύρια στο χρώμα που ήταν το κίτρινο. Πρόσφατα, γίνεται προσπάθεια από πολλούς φορείς και επιστήμονες να ολοκληρωθεί η καταγραφή και ταξινόμηση σύμφωνα με τις ιδιότητες τους. Για τον λόγο αυτό παρουσιάζονται μετέπειτα, βιβλιογραφικές αναφορές που αφορούν την «μάργα».

Ο καθαρά πετρογραφικός ορισμός της μάργας είναι ο εξής: Πρόκειται για πέτρωμα ασβεστολιθικής σύστασης, που περιέχει όμως σε αξιόλογη αναλογία και αργιλικό υλικό κλαστικής προέλευσης, ενώ το ασβεστολιθικό υλικό είναι οργανογενούς προέλευσης ( Χατζηπαναγιώτου1997).

Η μάργα είναι χαλαρό πέτρωμα πολύ διαδεδομένο σε όλα τα διαμερίσματα της Ελλάδας το οποίο είναι συνήθως νεογενούς ηλικίας. Συχνή είναι η παρουσία και διάφορων πετρογενετικών ορυκτών όπως χαλαζία, των αστρίων, των αμφιβόλων καθώς εμφανείς είναι και η παρουσία οξειδίων του σιδήρου.

Γενικότερα η μάργα υπάγεται στην κατηγορία βιοχημικών τα οποία οφείλουν το σχηματισμό τους σε βιομηχανικές και βιοχημικές διεργασίες. Οι διεργασίες αυτές οφείλονται στη δράση του βιόκοσμου που ζει και πεθαίνει συνήθως μέσα στο νερό. Ο οργανικός κόσμος δηλαδή, ζωικός και φυτικός, συμμετέχει στην γένεση και εμφάνιση των πετρωμάτων της ομάδας αυτής. Λείψανα από τους οργανισμούς μπορεί να διατηρούνται μέσα στις μάζες των ιζημάτων ή να αφήνουν ίχνη τους ή ακόμη εξαιτίας της εντονότερης επεξεργασίας τους να μην διακρίνεται κανένα ίχνος τους, όπως συμβαίνει τις περισσότερες φορές με τα πετρώματα των ορυκτών ανθράκων και βιτουμενίων.

Η επενέργεια τον οργανικού κόσμου κατά τον σχηματισμό των βιοχημικών ιζημάτων είναι πολλαπλή.

Έτσι π.χ. ο οργανικός κόσμος παραλαμβάνει διάφορες ανόργανες ουσίες από το άμεσο περιβάλλον τον για τον σχηματισμό κελυφών, οστράκων, σκελετών κλπ . Μετά το θάνατο τους τα λείψανα αποτίθενται, συγκεντρώνονται και αποτελούν υλικά συστατικά των πετρωμάτων.

Ορισμένα φύκη παίρνουν από το περιβάλλον το απαραίτητο για αυτά CO<sub>2</sub> και έτσι συντελούν στην καθίζηση των Ca<sup>2+</sup> με την μεταβολή του Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> σε ουδέτερο CaCO<sub>3</sub>. Η καθίζηση αυτή δεν προκαλείται από χημικά αίτια, αλλά συντελείται με την παρεμβολή του οργανικού κόσμου.

Κατά τον εμπλουτισμό των οργανικών λειψάνων σχηματίζονται εξαιτίας της σήψης τους διάφορα αμμωνιακά άλατα, τα οποία είναι δυνατό να προκαλέσουν αναγωγικά φαινόμενα. Επειδή στον πυθμένα των θαλασσών , λιμνών κλπ . συγκεντρώνονται τα θειικά άλατα ως χημικά ιζήματα, είναι δυνατή η μετατροπή τους σε ανθρακικά με την επίδραση μικροοργανισμών που προκαλούν φαινόμενα αποθείωσης:



Γεωμηχανική περιγραφή των αργιλομαργών-μαργών.

Στην γλώσσα των τεχνικών η μάργα είναι γνωστή με τον όρο κυμηλιά. Με την μέχρι τώρα εμπειρία από τεχνικά έργα, οι αργιλομαργαϊκοί και μαργαϊκοί σχηματισμοί κατατάσσονται στην κατηγορία «σκληρών εδαφών - μαλακών βράχων». Δηλαδή κατηγορία που αποτελείται από γεωλογικά υλικά ενδιάμεσης συμπεριφοράς και με ένα εύρος αντοχών σε ανεμπόδιση θλίψη από 0.5 μέχρι 25 kPa).

Η αντοχή της μεταβάλλεται ανάλογα με την περιεκτικότητα σε  $\text{CaCO}_3$  και αντιστρόφως ανάλογη με την περιεκτικότητα σε άργιλο.

Με βάση την περιεκτικότητα σε άργιλο και  $\text{CaCO}_3$  διακρίνονται οι παρακάτω τύποι μαργαϊκών πετρωμάτων.

Ποσοστό %		Τύπος Πετρώματος
$\text{CaCO}_3$	Άργιλου	
100-95	0-5	Ασβεστόλιθος
95-80	5-20	Μαργαϊκός ασβεστόλιθος
80-65	20-35	Ασβεστολιθική μάργα
65-35	35-65	Μάργα
35-20	65-80	Άργιλούχος μάργα
20-5	80-95	Μαργαϊκή άργιλος
5-0	95-100	Άργιλος

**Εικόνα 19. Κυριότεροι τύποι μαργών με βάση τα ποσοστά συμμετοχής σε άργιλο και  $\text{CaCO}_3$**

Επιπλέον παράγοντες που επηρεάζουν την συμπεριφορά της μάργας και έχουν καταγραφεί μετά από αστοχίες κατά το στάδιο κατασκευής είναι:

- Το είδος του αργιλικού ορυκτού, διότι αργιλικά ορυκτά όπως ο μοντμοριλλονίτης προκαλούν μεγάλου βαθμού διογκώσεις στην δομή τους.
- Ο βαθμός αποσάθρωσης επίσης, μειώνει την συνοχή του πετρώματος με αποτέλεσμα την επακόλουθη μείωση της διατμητικής αντοχής.
- Η ελάττωση της υγρασίας ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες, προκαλεί αύξηση των ενεργών τάσεων. Αποτέλεσμα είναι η δημιουργία των εξαγωνικών δομών ξηρασίας που κάτω από παρατεταμένη αύξηση της θερμοκρασίας προκαλούν σημαντική αύξηση της πίεσης των πόρων με μείωση των ενεργών τάσεων.
- Η προστερεοποίηση λόγω των γεωλογικών διεργασιών και την ιδιότητα των αργιλικών ορυκτών να "θυμούνται" το πεδίο τάσεων που αποτέθηκαν, έχει ως αποτέλεσμα την πλευρική διόγκωση με την αφαίρεση πλευρικών, αφού οι πλευρικές επιτόπου τάσεις είναι μεγαλύτερες από τις κατακόρυφες. Το φαινόμενο αυτό μειώνεται με το βάθος.

Οι μαργαϊκοί σχηματισμοί είναι ψαθυροί σε ξηρή κατάσταση, αλλά όταν έρθουν σε επαφή με το νερό γίνονται αρκετά πλαστικοί. Βέβαια είναι λιγότερο πλαστικές από τις αργίλους. Έχουν αρκετά μεγάλο βαθμό διαγένεσης παρουσιάζοντας χαρακτήρα καλά συγκολλημένου πετρώματος. Το χρώμα τους βρίσκεται στην κλίμακα του τεφρού και του κίτρινου ανάλογα το περιβάλλον απόθεσης. Μακροσκοπικό γνώρισμα τους είναι ο αναβρασμός όταν έρθουν σε επαφή με διάλυμα  $\text{HCl}$  καθώς κολλούν στα χέρια όταν διαβρέχονται.

## 2.5 ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΕΡΓΟΥ – ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΓΟΥ

Το παρόν έργο της σήραγγας T13A είναι κομμάτι του αυτοκινητόδρομου Ελευσίνας – Κορίνθου – Πατρών – Πύργου – Τσακώνα. Περιλαμβάνεται στο τμήμα Κορίνθου – Πατρών του αυτοκινητόδρομου και είναι μέρος της παράκαμψης της περιοχής της Ακράτας.

Σύμφωνα με το σχέδιο ευθυγράμμισης για την παράκαμψη του τμήματος της εθνικής οδού στην Ακράτα, η αριστερή διακλάδωση της εθνικής οδού αποκλίνει από την κύρια εθνική οδό προς Πάτρα προς τα νότια τέμνοντας τους υπάρχοντες λόφους και δύο σήραγγες πρόκειται να κατασκευαστούν.

Η πρώτη σήραγγα T13A τέμνει το λόφο που είναι μεταξύ των κοιλάδων των ποταμών του Κριού και του Θολοπόταμου, ενώ η δεύτερη σήραγγα T13B τέμνει το λόφο που βρίσκεται στην δυτική πλευρά του Θολοπόταμου ποταμού. Η συγκεκριμένη σήραγγα είναι μονής οπής με μήκος 845 μέτρων (Χ.Θ. 59+083 έως την Χ.Θ.59+882) και είναι ο αριστερός κλάδος του αυτοκινητόδρομου που θα εξυπηρετεί την κίνηση προς την κατεύθυνση από Πάτρα προς την Κόρινθο.



Εικόνα 20. Σήραγγα T13A της Ακράτας





Εικόνα 21. Σήραγγα T13A της Ακράτας

### Γεωμορφολογία της περιοχής

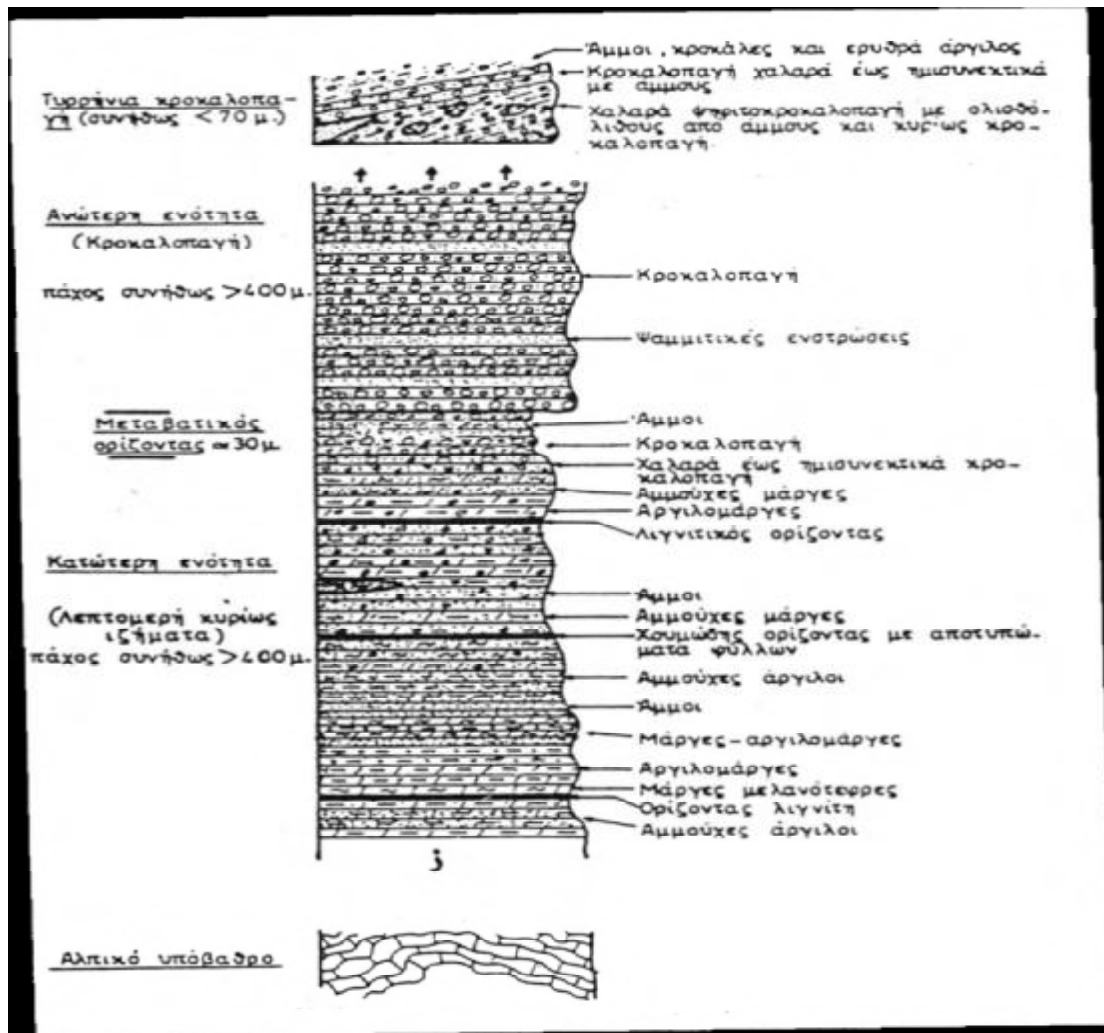
Το Νοτιοδυτικό τμήμα του Κορινθιακού Κόλπου στο οποίο βρίσκεται το έργο μας χαρακτηρίζεται από:

- 1)Πελαγικούς ασβεστόλιθους και ραδιολαρίτες της ενότητας της Πίνδου
- 2)Μάργες , αργίλους καθώς και δελταικές αποθέσεις Πλειοκαινικής – Πλειστοκαινικής ηλικίας
- 3)Πλειστοκαινικές – Ολοκαινικές αλλούβιες αποθέσεις κατά μήκος των ακτών.

Πιο συγκεκριμένα, η σήραγγα για το τμήμα του αυτοκινητόδρομου της παράκαμψης της Ακράτας το οποίο θα ανασκαφεί στους παράκτιους λόφους των οικισμών του Μαρμαρά και του Γουμαίκα. Ο πρώτος λόφος (δηλαδή του Μαρμαρά) σχηματίζεται μεταξύ των κοιλάδων των ποταμών Κριός και Θολοπόταμος, ενώ ο δεύτερος υπάρχει αμέσως μετά την κοιλάδα του ποταμού του Θολοπόταμου. Η δομή των λόφων είναι από Πλειοκαινικής – Πλειστοκαινικής ηλικίας ιζήματα.

Ο κυρίαρχος σχηματισμός που έχει εκσκαφεί είναι αυτός της μπλε μάργας, που αποτελείται το περισσότερο μέρος της περιοχής. Αυτός ο σχηματισμός αποτελείται από ορυκτά χρώματος μπλε – γκρι σε στρώσεις, που φέρουν αμμώδεις μάργες και λεπτές στρώσεις από ψαμμίτη με περιορισμένο πάχος περίπου 2-3 μέτρα και στρώσεις λιθολογικών ενοτήτων σε τοπικό επίπεδο φαίνεται να αποσυντίθενται στο έδαφος, γεγονός που δημιουργεί μια ετερογενής μάζα που συμπεριφέρεται ως βράχος ή ως μαλακός βράχος σαν υλικό στο έδαφος. Επίσης οι ασυνέχειες είναι σπάνιες αλλά προς τον παρόν και γενικά η επιφάνεια είναι λεία και επίπεδη.





Εικόνα 23. Σχηματική λιθολογική τομή των Πλειο-Πλειστοκαινικών ιζημάτων της λεκάνης Κορινθιακού Κόλπου – Ν.Αχαΐας (Ρόζος, 1991)

### Κατώτεροι ορίζοντες

Αποτελούνται από ιλυώδεις αργίλους, αργιλοιλύες και αμμοιλύες με εναλλαγές κατά την κατακόρυφο αλλά και με τις πλευρικές αποσφηνώσεις. Είναι σχηματισμοί μελανότεφρου χρώματος με εγκλείσματα οστράκων ή θραυσμάτων τους (απολιθώματα) και παρουσιάζουν συνήθως υψηλή πλαστικότητα. Με βάση στοιχεία γεωμετρήσεων οι ορίζοντες αυτοί έχουν πάχος μεγαλύτερο από 110 μέτρα. Καλύπτουν συνήθως τα υποκείμενα μέλη των Πλειο-Πλειστοκαινικών ιζημάτων και δεν εμφανίζονται επιφανειακά. Εντοπίζονται σε μικρά βάθη, περίπου 10-20, κάτω από τα κατώτερα μέλη των ανώτερων οριζόντων.

### Ανώτεροι ορίζοντες

Αρχίζουν με εναλλαγές αργιλομαργών με άμμο, κροκαλολατυπών με άμμο και αργιλοιλύων με λεπτούς φακούς συνεκτικού ψηφικοκροκαλοπαγούς. Οι παραπάνω λιθολογικές μονάδες παρουσιάζουν συχνά πλευρικές μεταβολές ωστόσο επικρατούν τόσο κατά την κατακόρυφο, όσο και κατά τον οριζόντια, τα κροκαλοπαγή με άμμο και

αργιλοίλους. Ακολουθούν εναλλαγές αργιλομαργών, μαργών, άμμων και ενστρώσεις ψηφιοκροκαλών και χαλίκων με άμμο και αργιλοίλυ που χαρακτηρίζονται και αυτές από συχνές πλευρικές μεταβολές. Προς τα πάνω ακολουθούν εναλλαγές αριλομαργών με άμμο ασθενούς έως μέτριας διαγένεσης και αυξημένο ποσοστό των κροκαλών. Τοπικά το ποσοστό των κροκαλών υπερτερεί δίνοντας ψηφιοκροκαλοπαγή μικρού πάχους και ασθενούς έως μέτριας συνεκτικότητας.

#### Αργιλομαργαικοί – Μαργαικοί σχηματισμοί

Τα λεπτομερή Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα τα οποία δομούν την περιοχή της ερευνάς μας, αποτελούν ένα σχηματισμό που τόσο στον Ελληνικό όσο και στον Διεθνή επιστημονικό χώρο αντιμετωπίζεται με διαφορετικά κριτήρια κατατάξης ανάμεσα στον γεωλόγο και στον μηχανικό, αλλά και μέσα σε επιστήμονες συναφούς κλάδου. Έχει επικρατήσει ο όρος μάργα να είναι ο πιο διαδεδομένος για να χαρακτηρίσει αυτούς τους σχηματισμούς. Βέβαια η ονοματολογία αυτή αναφερόταν κύρια στην σιφρότητα και βασικά στο χρώμα που ήταν το κίτρινο. Πρόσφατα, γίνεται προσπάθεια από πολλούς φορείς και επιστήμονες να ολοκληρωθεί η καταγραφή και η ταξινόμηση σύμφωνα με τις ιδιότητες τους. Για το λόγο αυτό παρουσιάζονται μετέπειτα, βιβλιογραφικές αναφορές που αφορούν την 'μάργα'.

Η μάργα, με βάση την πετρογραφική της ορολογία είναι ένα χαλαρό πέτρωμα κύριας νεογενούς ηλικίας, ασβεστολιθικής (ασβεστιτικής) σύστασης, που περιέχει όμως σε σημαντική αναλογία και αργιλικό υλικό κλαστικής προέλευσης. Το ασβεστιτικό υλικό είναι οργανογενούς προέλευσης. Από την άλλη, πολλοί ερευνητές προσδίδουν σε αυτό χημική σύσταση. Συχνή είναι και η παρουσία διαφόρων πετρογενετικών ορυκτών όπως του χαλαζία, των αστρίων, του μαρμαρυγία και των αμφιβόλων, που προέρχονται από την διάβρωση των προϋπαρχόντων πετρωμάτων. Επιπλέον, χαρακτηριστική είναι η συμμετοχή των οξειδίων του σιδήρου, καθώς ο συνδυασμός τους με τα αργιλικά ορυκτά είναι ένας παράγοντας συγκόλλησης των κόκκων. Οι μάργες επίσης είναι κατά κανόνα πλούσιες σε θραύσματα και κελύφη απολιθωμάτων.

Τα κλαστικά ή μηχανικά ιζήματα είναι προϊόντα φυσικής-μηχανικής αποσάθρωσης των πετρωμάτων. Στην ομάδα αυτή κυριαρχεί το κλαστικό υλικό, δηλαδή οι κόκκοι ορυκτών τα θραύσματα πετρωμάτων και σπανιότερα το υπολειμματικό υλικό. Το κλαστικό υλικό αποκολλήθηκε από το μητρικό πέτρωμα και στην συνέχεια μεταφέρθηκε κυρίως με την βοήθεια του νερού, του αέρα και του πάγου στην λεκάνη της ιζηματογένεσης όπου και αποτέθηκε. Τα ιζήματα αυτά διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: τα χονδρόκοκκα (κροκάλες, λατύπες και χαλίκια), τα μεσόκοκκα (κυρίως άμμοι) και τέλος τα λεπτόκοκκα αργιλικά ιζήματα που συνίστανται από αργίλους και ιλύες.

Σύμφωνα με το Αμερικάνικο σύστημα ταξινόμησης, το μέγεθος των πεπλατυσμένων σωματιδίων της αργίλου είναι μικρότερο από 0,002 χιλιοστά. Ωστόσο το όριο αυτό προκαλεί πολλές φορές σύγχυση. Ανεξάρτητα της χημικής σύστασης, στην γεωτεχνική εφαρμόζεται το πιο πάνω όριο για να καθορίσει το μέγεθος της στερεάς φάσης των αργιλικών ιζημάτων και των εδαφών. Αντίθετα, όταν ο όρος άργιλος χρησιμοποιείται με την καθαρή του ορυκτολογική σύσταση, αναφέρεται μόνο στα σωματίδια που είναι ορατά και μη από το μικροσκόπιο και

αφορά στην κατάταξή τους στην ομάδα των αργιλικών ορυκτών. Τις περισσότερες φορές το ποσοστό των σωματιδίων μεγέθους αργίλου και το ποσοστό αργιλικών ορυκτών είναι ποσότητες εντελώς διαφορετικές μεταξύ τους και αυτό φαίνεται από τον υπολογισμό της ενεργότητας. Αναφορικά με τις χημικές διεργασίες παραγωγής του ασβεστικού υλικού, πρέπει να αναφερθεί ότι σε αυτή την περίπτωση συμμετέχει ο ζωικός και φυτικός οργανικός κόσμος που ζει και πεθαίνει μέσα στο νερό. Μετά τον θάνατό τους, τα λείψανα των οργανισμών αποτίθενται, συγκεντρώνονται και αποτελούν υλικά συστατικά των πετρωμάτων. Λόγω αναγωγικών φαινομένων, στον πυθμένα των θαλασσών, λιμνοθαλασσών ή των λιμνών όπου συνβαίνουν αυτά, σσσωρεύονται θειικά άλατα ως χημικά και μετατρέπονται σε ανθρακικά με το φαινόμενο της αποθείωσης.

Με την μέχρι τώρα εμπειρία από τεχνικά έργα, οι αργιλομαργαικοί και μαργαικοί σχηματισμοί κατατάσσονται στην κατηγορία 'σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων'. Δηλαδή πρόκειται για γεωλογικά υλικά ενδιάμεσης συμπεριφοράς, που έχει ερευνηθεί ότι παρουσιάζουν ένα έρος αντοχών σε ανεμπτόδιση θλίψη, από 0.5 μέχρι 25 KPa. Η αντοχή τους, γενικά, μεταβάλλεται ανάλογα με την περιεκτικότητα σε CaCO<sub>3</sub> και αντιστρόφως ανάλογα προς την περιεκτικότητα σε άργιλο.

Επιπλέον παράγοντες που επηρεάζουν την συμπεριφορά της μάργας και έχουν καταγραφεί μετά από αστοχίες κατά το στάδιο κατασκευής είναι:

- ∅ Το είδος του αργιλικού ορυκτού, διότι αργιλικά ορυκτά όπως π.χ ο μοντμοριλλονίτης προκαλούν μεγάλου βαθμού διογκώσεις στην δομή τους.
- ∅ Ο βαθμός αποσάρθρωσης επίσης, μειώνει την συνοχή του πετρώματος με αποτέλεσμα την αλλοίωση της δομής και την επακόλουθη ελάττωση της διατμητικής αντοχής.
- ∅ Η απώλεια της υγρασίας ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες, προκαλεί αύξηση των ενεργών τάσεων. Αποτέλεσμα είναι η δημιουργία των εξαγωνικών δομών ξηρασίας.
- ∅ Η προστεροποίηση λόγω των γεωλογικών διεργασιών και η ιδιότητα των αργιλικών ορυκτών να 'καταγράφουν' στις εσωτερικές δομές τους το πεδίο τάσεων που αποτέθηκαν, έχει ως αποτέλεσμα την πλευρική διόγκωση με την αφαίρεση πλευρικών τάσεων, αφού οι πλευρικές επιτόπου τάσεις είναι μεγαλύτερες από τις κατακόρυφες. Το φαινόμενο αυτό μειώνεται με το βάθος.

Οι μαργαικοί σχηματισμοί είναι γενικά ψαθυροί σε ξηρή κατάσταση, αλλά όταν έρθουν σε επαφή με το νερό γίνονται αρκετά πλαστικοί. Βέβαια είναι υλικά λιγότερο πλαστικά από τις αργίλους. Έχουν αρκετά προχωρημένο βαθμό διαγένεσης παρουσιάζοντας χαρακτήρα καλά συγκολλημένου πετρώματος. Το χρώμα της κυμαίνεται από τεφρό-κυανότεφρο ως κίτρινο ή καστανό, ανάλογα με το περιβάλλον απόθεσης. Ένα επιπλέον μακροσκοπικό γνώρισμα τους είναι ο αναβρασμός όταν έρθουν σε επαφή με το διάλυμα HCl (λόγω της συμμετοχής του ανθρακικού ασβεστίου), ενώ επίσης κολλούν στα χέρια όταν διαβραχούν.

#### Ψαμμίτες

Στην οικογένεια των ψαμμιτών, ανήκουν όλα εκείνα τα κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα που οι διαστάσεις των κόκκων τους κυμαίνονται από 2 χιλιοστά έως 0.063 χιλιοστά.

Μακροσκοπικά οι αποθέσεις ψαμμιτών παρουσιάζουν χαρακτηριστική στρωμάτωση. Το χρώμα τους είναι κυρίως ανοιχτό τεφρό, ερυθροκάστανο ή κιτρινωπό και έχουν τραχιά και κοκκώδη υφή.

Το χαλαρό ίζημα αυτής της κατηγορίας είναι η άμμος. Αναλόγως με την προέλευσή της διακρίνεται σε λιμναία, ποτάμια, ηφαιστειακή και άμμος παγετώνων. Ο ψαμμίτης αποτελεί το αντίστοιχο συμπαγές πέτρωμα και προέρχεται από την διαγένεση της άμμου δηλαδή από την συμπαγοποίηση των κόκκων της. Σαν πέτρωμα, περιέχει πολλά ορυκτά, με τον χαλαζία να κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής. Ακολουθούν οι άστριοι, το υλικό πλήρωσης, το συγκολλητικό υλικό, θραύσματα πετρωμάτων, αλλά και κάποια βαρέα ορυκτά (γρανάτες, πυρόξενοι). Επίσης, μπορεί να περιέχουν μοσχοβίτη, γλαυκονίτη, απατίτη κτλ.

Ως υλικό πλήρωσης αναφέρεται η λεπτομερής ύλη που γεμίζει τα κενά μεταξύ των κόκκων του πετρώματος. Αποτελείται κυρίως από αργιλικά ορυκτά αλλά και από μικρούς κόκκους χαλαζία. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το υλικό αυτό αποτίθεται ταυτόχρονα με τα κύρια κλαστικά συστατικά του ψαμμίτη.

Το συγκολλητικό υλικό είναι η ουσία που έχει αποτεθεί κατά τη διαγένεση γύρω και ανάμεσα στους κόκκους και είναι υπεύθυνη για την συγκόλληση τους και συνεπώς για την μετατροπή του χαλαρού ιζήματος σε συμπαγές ιζηματογενές πέτρωμα.

## Τεκτονική της περιοχής

Σεισμολογικά η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα μεγάλη σεισμική δραστηριότητα που έχει δώσει αρκετά μεγάλους σεισμούς, και μάλιστα στο εγγύς παρελθόν. Με βάση την Ν.Ε.Α.Κ. (Απόφαση Δ17α/115/9/ΦΝ275 ΦΕΚ 1154 12/8/2003), η χώρα υποδιαιρείται σε τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας I, II, III, τα όρια των οποίων καθορίζονται στο χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας.

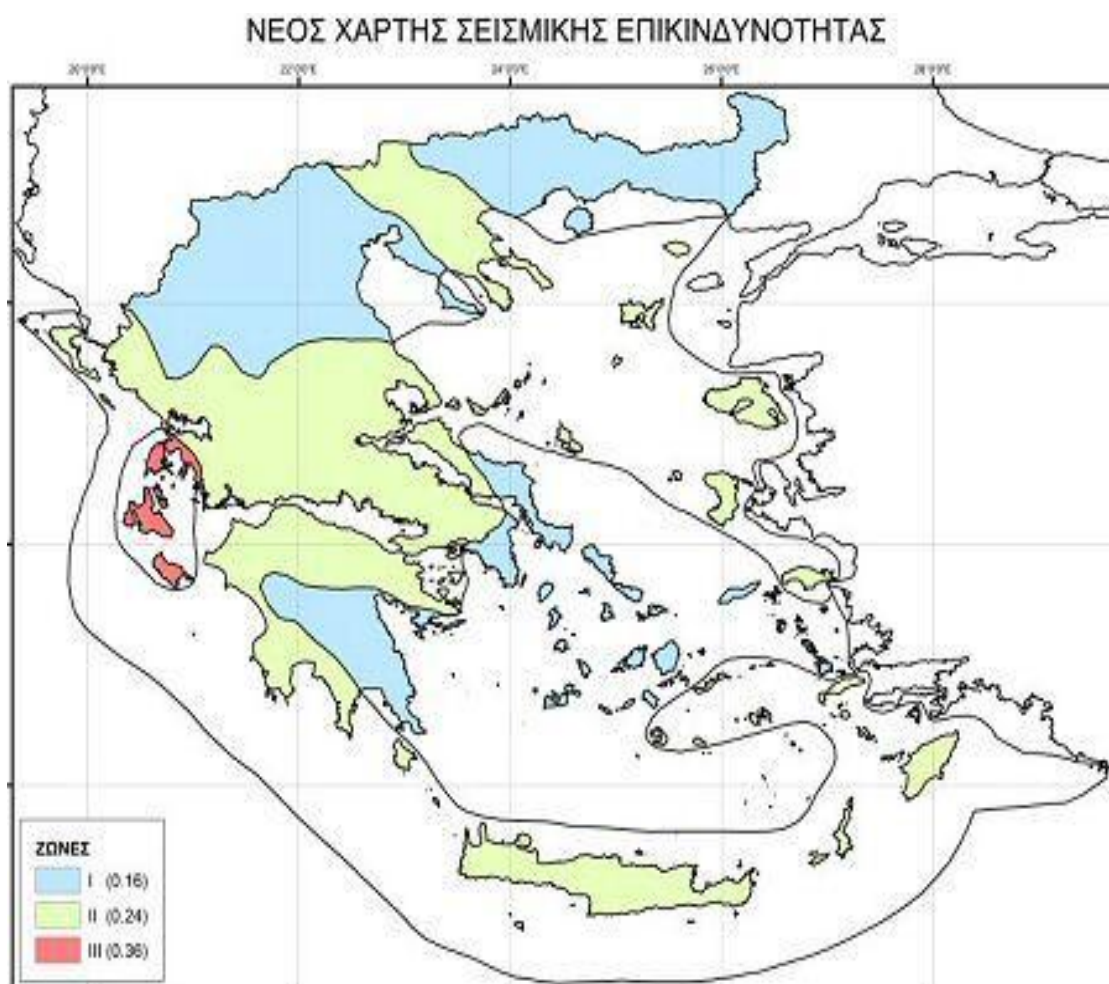
Κάθε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας αντιστοιχεί μια τιμή σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους  $A=a \times g$  ( $g$  : επιτάχυνση της βαρύτητας), σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

### Σεισμική επιτάχυνση του εδάφους

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας	I	II	III
$a$	0.16	0.24	0.36

Οι τιμές των σεισμικών επιταχύνσεων εδάφους του παραπάνω πίνακα εκτιμώνται σύμφωνα με τα σεισμολογικά δεδομένα ότι έχουν πιθανότητα υπέρβασης 10% στα επόμενα 50 χρόνια. Σύμφωνα με το Ν.Ε.Α.Κ., η ευρύτερη περιοχή ανήκει στη ζώνη II.

Η περιοχή της Ακράτας βρίσκεται στην νότιο-δυτική περιοχή του Κορινθιακού Κόλπου και από έρευνες που έχουν γίνει κατά διαστήματα στον Κορινθιακό Κόλπο ξέρουμε ότι είναι μια περιοχή με έντονη σεισμικότητα όπως άλλωστε μπορούμε να στον νέο χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας.(Ν.Χ.Σ.Ε.Ε.)



Γενικά η περιοχή του Κορινθιακού Κόλπου χαρακτηρίζεται από σύνθετες κατολισθήσεις

Οι οποίες αναπτύσσονται σε δομικά πολύπλοκες συνθέσεις συμπεριλαμβανομένου του φλύσχη ο οποίος θεωρείται ως ο πιο επιρρεπείς σε κατολισθήσεις, γεωλογικός σχηματισμός στην Ελλάδα.

Σε αυτό το μέρος της Ελλάδας, στο νότιο δηλαδή τμήμα του Κορινθιακού Κόλπου, τα περιοδικά κατολισθητικά συμβάντα προκαλούνται από τις ισχυρές βροχοπτώσεις, σεισμούς και την ανθρώπινη δραστηριότητα που είναι άμεσα συνδεδεμένα με την ενεργό τεκτονική της περιοχής.

Τα γεωτεκτονικά προβλήματα που προκύπτουν τόσο από τις μετακινήσεις μέσω του οδικού δικτύου, όσο και στις αγροτικές χρήσεις της γης και της αστικής ανάπτυξης είναι τέτοιες που ένας μεγάλος αριθμός γεωτεχνικών αξιολογήσεων έχουν πραγματοποιηθεί με σκοπό την δημιουργία μιας σειράς διορθωτικών έργων

που είτε έχουν υλοποιηθεί είτε είναι προς υλοποίηση. Ένα τέτοιο κατασκευής έργο είναι και η οδική σήραγγα στην περιοχή της Ακράτας.

### **Γεωλογικά - Γεωτεχνικές δεδομένα**

Οι σήραγγες κατασκευάστηκαν για το τμήμα της Ακράτας του αυτοκινητοδρόμου και θα ανασκαφούν οι λόφοι Μαρμαρά και Γουμάικα. Και οι δύο αποτελούνται από. Πλειο-Πλειστόκαινα ιζήματα.

Πιο συγκεκριμένα στη T13A σήραγγα κυριαρχούν σχηματισμοί από μπλε μάργες (blue marl) , που αποτελεί το θεμέλιο της περιοχής. Ο σχηματισμός αυτός αποτελείται από γαλαζωπές γκρι (bluish grey), στρωματοποιημένες, ορυκτά από αμμώδεις μάργες, με λεπτές στρώσεις ψαμμίτη περιορισμένου πάχους (έως 2 - 3m), και στρώματα ή φακούς συσσωρευμάτων. Πρόκειται για αποθέσεις λιμνοθάλασσας και ανήκουν στο σχηματισμό του Βαλιμή. Όλες οι λιθολογικές μονάδες τοπικά εμφανίζουν αποσυντεθημένο έδαφος, γεγονός που δημιουργεί μια ανομοιογενή μάζα που συμπεριφέρεται είτε ως βράχο ή ως μαλακό πέτρωμα στο έδαφος σαν υλικό. Ασυνέχειες είναι γενικά σπάνιες, γενικά είναι λείες και επίπεδες.

Σε μικρά βάθη, προς την επιφάνεια, οι μαργαρικοί σχηματισμοί εμφανίζονται οξειδωμένοι, είναι χρωματισμένοι καφετί κίτρινο με οξειδία στους αρμούς.

Στην Ανατολική Περιοχή εισόδου :

- Σάρα που αποτελείται από κόκκινο άμμο και βότσαλα και λάσπη, τοπικά περιέχει τεράστια κομμάτια ετερογενών υλικών. Το πάχος αυτού του στρώματος είναι της τάξεως του 3,50 - 8,0 m.
- Χαλαρό χώμα – ετερογενή συστατικά : ανοιχτό γκρι θαλάσσιων αποθέσεων, χαλίκια και βότσαλα με διάφορα αλλά υλικά, τμήματα από αμμώδη και αργιλώδη υλικό.

Προς την επιφάνεια αναπτύσσουν ένα λεπτό υλικό σαν κρούστα που συμπιέζεται από το εσωτερικό, με το τελευταίο να γδέρνεται εύκολα με ένα γεωλογικό σφυρί. Περιέχουν λεπτά αμμώδη στρώματα. Τοπικά εμφανίζονται μεγάλες διαβρώσεις.

Ο τελευταίος σχηματισμός αναμένεται να ανασκαφεί για περίπου τα πρώτα 80 m από την υπόγεια εκσκαφή. Η επιφάνεια επαφής μεταξύ χαλαρών χωμάτων και μάργες αναμένεται να μην είναι άνετος.

Στη Δυτική Περιοχή εισόδου :

Η Δυτική περιοχή βρίσκεται μέσα σε μια παλιά κατολίσθηση. Η κατολίσθηση εκτιμάται ότι είναι μεγάλη, ρηχή, 300m σε μήκος και 150 μέτρα πλάτος. Σε γεώτρηση που έγινε (59ΓΝ4) βρέθηκε ότι βρίσκεται σε ζώνη οξειδωσης με αποχρωματισμό των σχηματισμών από μάργες, σε 10.20 m βάθος κάτω από την επιφάνεια.

Τα υλικά της κατολίσθησης είναι μάργες προέλευσης, ωστόσο, περιλαμβάνει υλικό από τους υπερκείμενους σχηματισμούς, όπως χαλαρό αμμοχάλικο.



Σε τοπικό επίπεδο, υπάρχει χονδροειδές υλικό και ογκόλιθοι, που προέρχονται από ετερογενή δραστηριότητες, μέσω της δευτερογενούς ολίσθησης και ανατροπής στην κορυφή του σώματος της κατολίσθησης.

Τα παραπάνω υλικά αναμένεται να βρεθούν στην κορυφή του τούνελ για τα πρώτα λίγα μέτρα της υπόγειας εκσκαφής.

Όσον αφορά την εμφάνιση των υπόγειων υδάτων, έχουμε τα ακόλουθα : ο υδροφόρος ορίζοντας αναμένεται να επηρεάσει τα έργα επηρεάζονται από το βάθος. Ο κυρίαρχος σχηματισμός είναι γενικά αδιαπέραστος και κάθε εμφάνιση νερού θα πρέπει να συνδέεται με την ύπαρξη κροκαλοπαγών ή ψαμμιτών ενδιάμεσα στις στρώσεις από τις μάργες. Σε κάθε περίπτωση, οι σημαντικές εισροές νερού αναμένονται στο μεγαλύτερο μέρος του μήκους της σήραγγας. Πιθανή αύξηση της ροής μπορεί να συναντηθεί, αλλά σε περιορισμένο βαθμό:

- Σε σχέση με την εμφάνιση των πολύ χαλαρών κροκαλοπαγών στρωμάτων στην επιφάνεια επαφής μεταξύ φακών και μαργών
- Κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου σε περιοχές κοντά των πυλών.

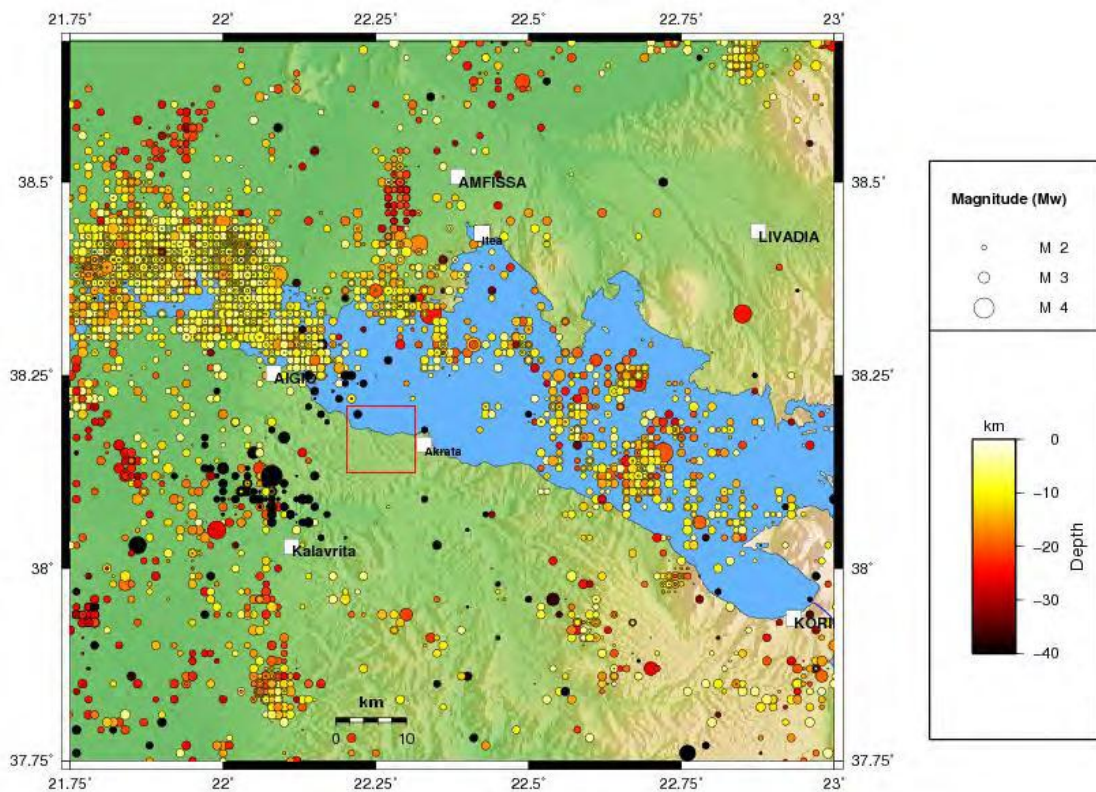
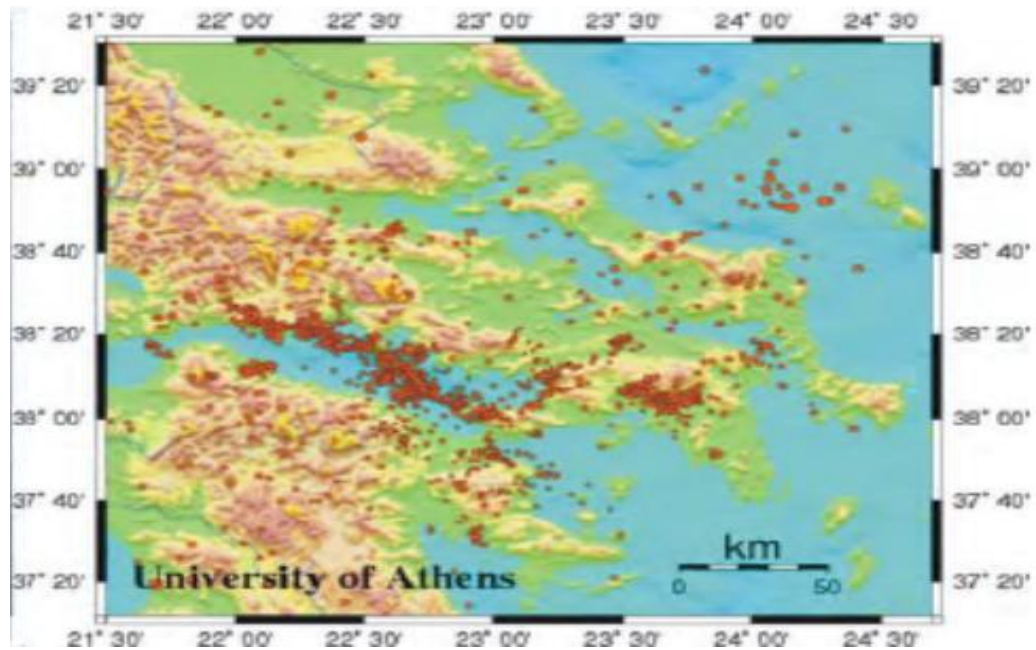
### **Σεισμικότητα του Κορινθιακού Κόλπου**

Σήμερα, η σεισμικότητα του Κορινθιακού Κόλπου είναι εξίσου έντονη και καταστρεπτική σε σχέση με την αρχαιότητα. Είναι σημαντικό ότι πέντε γεγονότα με μέγιστο σεισμικό μέγεθος μεγαλύτερο από 5.8 ρίχτερ έχουν παρατηρηθεί στην περιοχή του Κοριανθιακού Κόλπου κατά την διάρκεια των τελευταίων 40 χρόνων. Η πλειοψηφία των γεγονότων αυτών σχετίζεται με μια μικρού βάθους, με κλίση προς το βορρά , σεισμική ζώνη. Η εντονότερη συγκέντρωση σεισμικών επικέντρων τοποθετείται σε βάθος μεταξύ 6 – 12 χιλιόμετρα με πιο σύνηθες το βάθος των 10 χιλιομέτρων. Τα σεισμικά γεγονότα εμφανίζουν μεγαλύτερη συγκέντρωση στις περιοχές μεταξύ του Αιγίου και της Ακράτας και μεταξύ Κορίνθου και Αλκυονίδων νήσων. Αυτή η συγκέντρωση συμπίπτει χωρικά με το δυτικό όριο (περιοχή Αιγίου – Ακράτας) και το ανατολικό όριο (Αλκυονίδες νήσοι) του Κορινθιακού Κόλπου.

Ο Κορινθιακός Κόλπος παρουσιάζει χαρακτηριστικά μιας ασύμμετρης “λεκάνης” με το νότιο τμήμα του να ανυψώνεται. Μια σειρά τριών κυρίων ενεργών ρηγμάτων, του Ψαθόπυργου, της Ελίκης και του Ξυλόκαστρου τα οποία κλίνουν βόρεια και έχουν διεύθυνση Α-Δ, μέγιστο μέγεθος σεισμού με κάθε ένα από τα ρήγματα αυτά να είναι 6.7 βαθμοί της κλίμακας ρίχτερ περίπου. Αν και η χαρτογράφηση των ενεργών ρηγμάτων στην επιφάνεια είναι γενικά αποδεκτή , η γεωμετρία τους με το βάθος τους δεν είναι ξεκάθαρη, με αποτέλεσμα να έχουν προταθεί “λυστρικού” τύπου ρήγματα, μια σχεδόν επίπεδη ενεργή σεισμική ζώνη και ρήγματα σχετιζόμενα με το ανώτερο τμήμα του φλοιού με πλάστιμη παραμόρφωση για να ερμηνευτεί η παραμόρφωση στην περιοχή.

Θεωρείται ότι ο Κορινθιακός είναι μια τεκτονική τάφρος η οποία είναι η ταχύτερα εκτεινόμενη στην Ευρώπη και την Μεσόγειο. Η γρήγορη επέκτασή της φτάνει ως και 14 με 16 χιλιοστά τον χρόνο στο δυτικό τμήμα και συνοδεύεται από πολύ ενεργές δομές με κανονική διάρρηξη τόσο στην ξηρά όσο και στο θαλάσσιο

χώρο. Η σχετική σεισμικότητα είναι υψηλή με πλήθος ισχυρών σεισμών τόσο κατά την ιστορική περίοδο όσο και κατά την ενόργανη. Η πλέον πρόσφατη ακολουθία ισχυρών σεισμών έγινε το 1981, η οποία εμφάνισε έντονες επιφανειακές διαρρήξεις.

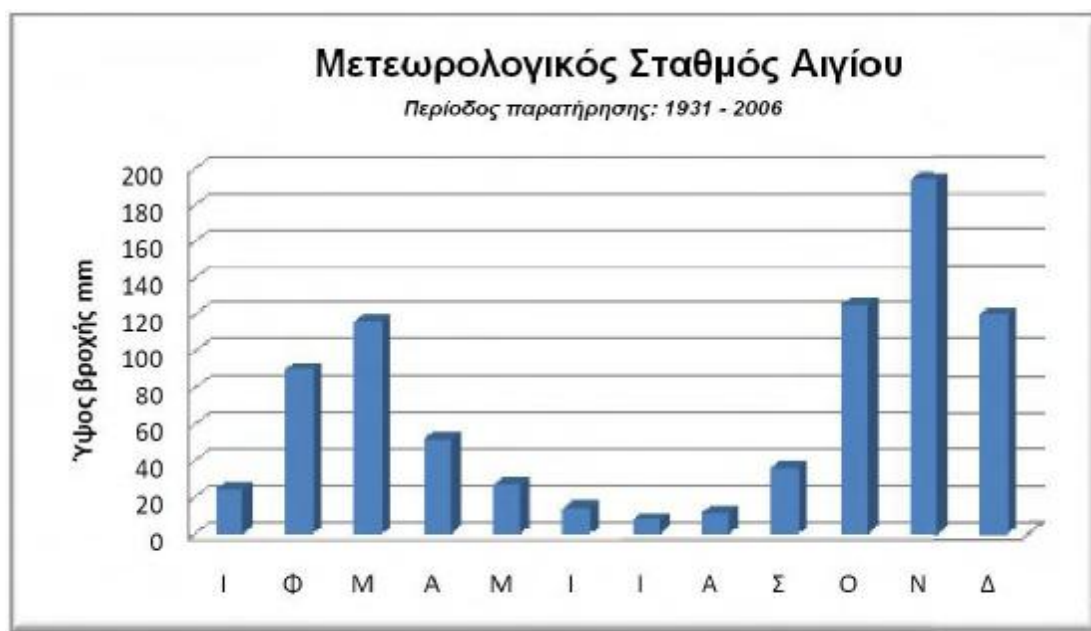


## Κατολισθήσεις

### Μετεωρολογικά Χαρακτηριστικά της Δυτικής Ελλάδας

Το κλίμα του νομού της Αχαΐας είναι εύκρατο με ξηρό θέρος. Από υδρολογικής σκοπιάς οι πλέον ξηροί μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος, ενώ αντίθετα οι μέγιστες τιμές βροχόπτωσης εμφανίζονται στους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο. Η βροχόπτωση αυξάνεται με το υψόμετρο. Σε τοπική κλίμακα είναι δυνατόν να παρατηρηθούν διαφοροποιήσεις, που έχουν να κάνουν με δευτερεύοντες παράγοντες που επηρεάζουν την κατανομή των βροχοπτώσεων, όπως το ανάγλυφο, αλλά σε γενικές γραμμές αυτές δεν επηρεάζουν την γενική εικόνα. Στο σύνολο του νομού έχει διαπιστωθεί ήπια πτωτική πορεία των ετησίων τιμών βροχόπτωσης κατά τα τελευταία 70 χρόνια. Οι άνεμοι είναι γενικώς ισχυροί με επικρατούσες διευθύνσεις που κυμαίνονται για κάθε σταθμό, εκτός των σταθμών του Αιγίου και των Καλαβρύτων όπου επικρατούν ΒΔ-ΝΑ και Β-Ν άνεμοι αντίστοιχα. Η σχετική υγρασία παρουσιάζει την ίδια πορεία με αυτή των βροχοπτώσεων, ενώ το αντίθετο παρατηρείται με την πορεία της σχετικής υγρασίας με τη θερμοκρασία (Νίκας, 2004).

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των βροχομετρικών<sup>10</sup> στοιχείων όπως καταγράφηκαν από το μετεωρολογικό σταθμό της ΕΜΥ στο Αίγιο για την περίοδο 1931 έως 2006. Παρουσιάζονται οι μέσες τιμές ανά μήνα για την περίοδο αυτή.

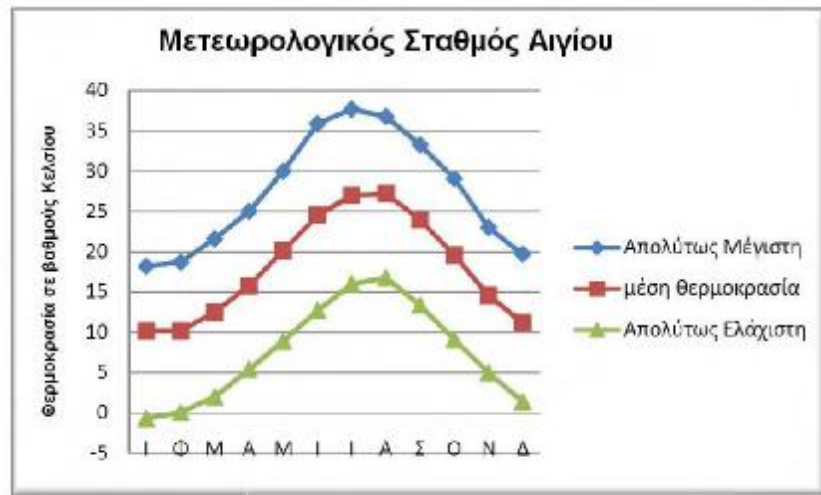


Διάγραμμα του μέσου ετήσιου ύψους ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, σύμφωνα με τις καταγραφές του Μετεωρολογικού σταθμού Αιγίου, για τα έτη 1931-2006 (Κατσέλης, 2008)

Σύμφωνα με τα δεδομένα αυτά, το μεγαλύτερο ύψος βροχής παρατηρείται το μήνα Νοέμβρη με ύψος βροχής 190 χιλιοστά, ενώ το μικρότερο ύψος βροχής παρατηρείται το μήνα Αύγουστο με ύψος βροχής λιγότερο από 10 χιλιοστά.

<sup>10</sup> Κατσέλης, 2008

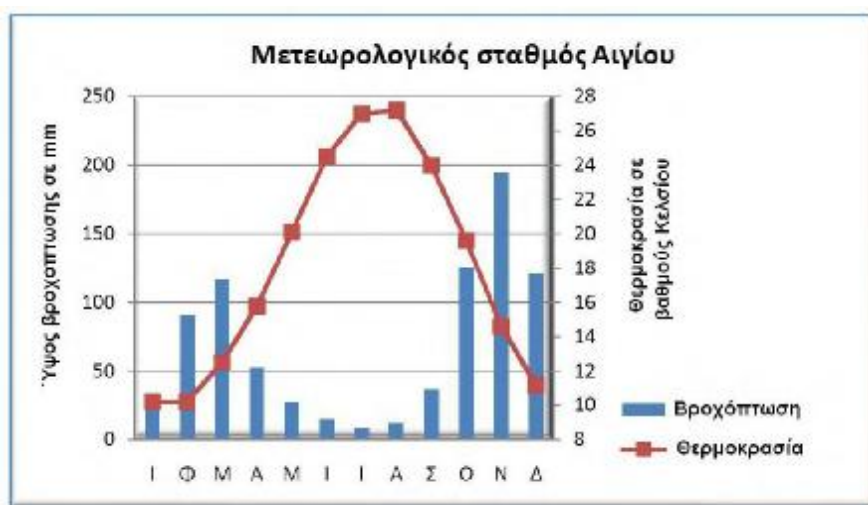
Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των στοιχείων θερμοκρασίας όπως καταγράφηκαν από το μετεωρολογικό σταθμό της ΕΜΥ στο Αίγιο για την περίοδο 1931 έως 2006.



Διάγραμμα τιμών θερμοκρασίας, σύμφωνα με τις καταγραφές του Μετεωρολογικού σταθμού Αιγίου, για τα έτη 1931-2006 (Κατσέλης, 2008)

Παρουσιάζονται οι απολύτως ελάχιστες, οι μέσες και απολύτως μέγιστες τιμές ανά μήνα για την περίοδο αυτή. Η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 10 και 27 βαθμών Κελσίου, με μέσο όρο τους 18 βαθμούς Κελσίου. Κατά την χειμερινή περίοδο η θερμοκρασία σπάνια πέφτει υπό του μηδενός κατά τους μήνες Δεκέμβριο έως Φεβρουάριο. Η ελάχιστη θερμοκρασία παρατηρείται το μήνα Ιανουάριο με -2 βαθμούς ενώ η μέγιστη, το μήνα Ιούλιο με 38 βαθμούς. Το φθινόπωρο εμφανίζεται θερμότερο από την άνοιξη.

Τέλος, στο σχήμα παρουσιάζεται η σχέση θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, σε επίπεδο μέσων τιμών ανά μήνα για την περίοδο αυτή.



Διάγραμμα σχέσης θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, σύμφωνα με τις καταγραφές του Μετεωρολογικού σταθμού Αιγίου, για τα έτη 1931-2006 (Κατσέλης, 2008)

Από το κοινό διάγραμμα ύψους βροχής-θερμοκρασίας για την περιοχή μελέτης προκύπτει πως η πορεία των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στη διάρκεια του έτους είναι ακριβώς αντίθετη από αυτήν την θερμοκρασίας. Εμφανίζονται δύο περίοδοι: η ψυχρή και υγρή από τον Νοέμβριο έως τον Μάρτιο και η θερμή και ξηρή από τον Απρίλιο έως και τον Οκτώβριο. Αυτό δηλώνει μεγαλύτερες παροχές για την υγρή περίοδο του έτους. Δεδομένης της ευδιάβρωτης λιθολογίας των Πλειο-Πλειστοκαινικών σχηματισμών της λεκάνης αναμένονται υψηλότερες τιμές παροχής κατά τις υγρές περιόδους του έτους.

Η γεωγραφική θέση και το μορφολογικό ανάγλυφο επιδρούν στην ανάπτυξη των ισουέτιων καμπύλων, που ακολουθούν γενικά τις ισουψείς και έχουν τιμές 600-1000 χιλιοστά στις πεδινές περιοχές, ενώ στα ορεινά τμήματα φθάνουν τα 1600 χιλιοστά. Έτσι, δημιουργούνται σημαντικές απορροές προς τις παράκτιες περιοχές και έντονες διαβρωτικές διεργασίες στις ορεινές. (Ρόζος, 1991)

*Πρώτη φάση της σήραγγας: εισροές υδάτων από βροχοπτώσεις*



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Γενικά περί συστημάτων ταξινόμησης - Ιστορική αναδρομή<sup>11</sup>.

Κατά τη διάρκεια της προκαταρκτικής φάσης έρευνας για την κατασκευή ενός τεχνικού έργου, οπότε και τα στοιχεία που διαθέτουμε για τη γεωμηχανική συμπεριφορά της βραχώμαζας είναι περιορισμένα, δηλαδή λείπουν οι λεπτομερείς γνώσεις αναφορικά με τις τάσεις που αναπτύσσονται στο χώρο του έργου, τις ιδιότητες της βραχώμαζας κλπ, η χρήση συστημάτων ταξινόμησης της βραχώμαζας, προσφέρει σημαντικές υπηρεσίες στον σωστό σχεδιασμό του έργου.

Με άλλα λόγια, οι ταξινομήσεις της βραχώμαζας αποτελούν τη ραχοκοκαλιά του εμπειρικού σχεδιασμού ενός τεχνικού έργου δηλαδή βασικό εργαλείο στη μηχανική προσέγγιση των πετρωμάτων. Πράγματι, σε όλες σχεδόν τις σήραγγες η κατασκευή αρχίζει με τη χρήση κάποιου συστήματος ταξινόμησης.

Εδώ θα πρέπει να τονισθεί ότι οποιοδήποτε σύστημα ταξινόμησης δεν μπορεί να υποκαταστήσει τις πλέον εξειδικευμένες τεχνικές σχεδιασμού, αναφορικά με το τασικό πεδίο, τις ιδιότητες της βραχώμαζας αλλά και των μεθόδων εκσκαφής που ανταποκρίνονται καλύτερα στις επιτόπου συνθήκες.

Όμως, καθώς αυτά τα στοιχεία σε ένα πρώιμο στάδιο έρευνας δεν είναι διαθέσιμα, η χρήση των συστημάτων ταξινόμησης αποκτά σημαντικό ενδιαφέρον.

Βέβαια, στη συνέχεια και αφού τα υπόψη στοιχεία αποκτηθούν από τη λεπτομερή έρευνα, τα αποτελέσματα των συστημάτων ταξινόμησης θα πρέπει να αναθεωρούνται και να χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με αυτά της λεπτομερούς έρευνας.

Αναλυτικότερα, η ανάπτυξη των συστημάτων ταξινόμησης στη- ρίχθηκε στην εμπειρία που είχε αποκτηθεί στο πεδίο κατασκευής των διαφόρων τεχνικών έργων και οι πρώτες σχετικές προσπάθειες ανάγονται εδώ και περισσότερο από 100 χρόνια, οπότε επιχειρήθηκε για πρώτη φορά η διαμόρφωση εμπειρικών προσεγγίσεων στο σχεδιασμό σηράγγων.

Οι αρχικές προσπάθειες στηρίχθηκαν σε χαρακτηριστικό γνώρισμα του υγιούς (ακέραιου) βράχου, όπως η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη.

Μια πρώτη προσπάθεια ταξινόμησης έγινε από τον Ritter (1879) προκειμένου να μορφοποιήσει και να προσεγγίσει εμπειρικά το σχεδιασμό σηράγγων για τον προσδιορισμό της κατάλληλης μεθόδου αντιστήριξης.

Επίσης μια σχετική προσπάθεια ταξινόμησης, που λάμβανε υπόψη τις ιδιότητες της βραχώμαζας ήταν αυτή που εφαρμόστηκε κατά τη διάνοιξη του καναλιού του Παναμά (1884) και ονομάστηκε "Ταξινόμηση του καναλιού του Παναμά".

---

<sup>11</sup> Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας ΙΙ. [http://www.legah.metal.ntua.gr/pdf/tex2/2012/D3\\_P.pdf](http://www.legah.metal.ntua.gr/pdf/tex2/2012/D3_P.pdf)

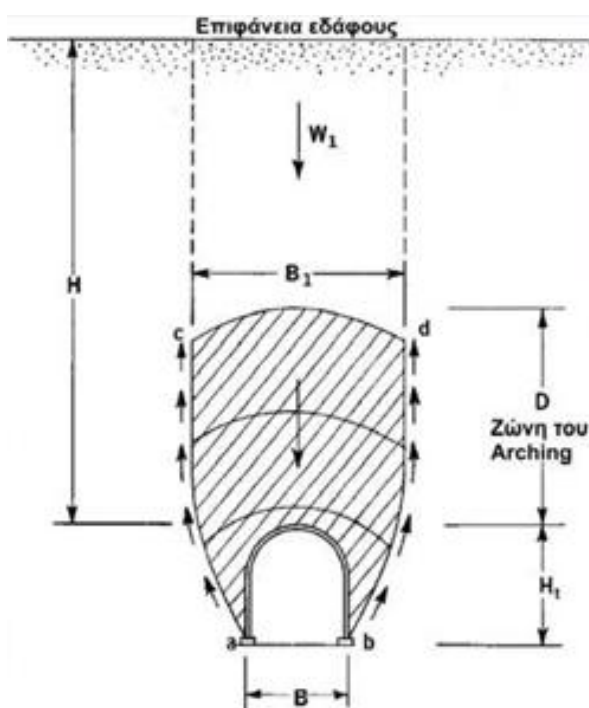
### 3.1 ΜΕΘΟΔΟΣ TERZAGHI

Ο Terzaghi<sup>10</sup>, το 1946, διαμόρφωσε την μέθοδο ταξινόμησης του βραχώδους φορτίου (Rock load classification method), *εκτιμώντας τα κατάλληλα φορτία για σιδηρά πλαίσια στη βάση περιγραφικής ταξινόμησης*. Το είδος αυτής της αντιστήριξης χρησιμοποιείται για αρκετές δεκαετίες και συνεπώς η μέθοδος αυτή είχε μεγάλη σημασία στα υπόγεια έργα.

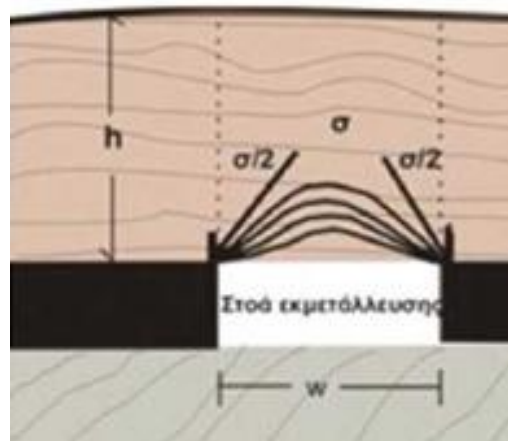
Όμως σήμερα που με τις σύγχρονες μεθόδους η αντιστήριξη βασίζεται κυρίως στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και στις αγκυρώσεις, η μέθοδος αυτή δεν κυριαρχεί.

Στο διπλανό Σχήμα οι δυνάμεις τριβής ανθίστανται στην κίνηση της χαλαρωμένης βραχώμαζας (acdb) και βοηθούν στη μεταφορά του μεγαλύτερου μέρους από το βάρος των υπερκειμένων στη βραχώμαζα των πλευρών της σήραγγας.

Επομένως η οροφή και οι παρειές της σήραγγας υποστηρίζουν ένα φορτίο  $H_p$ , το οποίο ο Terzaghi συνδέει με τις διαστάσεις της σήραγγας ( $B$  &  $H_s$ ) και τα χαρακτηριστικά του πετρώματος, όπως, κερματισμό, διογκωσιμότητα, συμπιεστότητα, κλπ



Εικόνα 24. Φορτία σήραγγας κατά Terzaghi.



Εικόνα 25. Κατανομή τάσεων (στοά εκμετάλλευσης).

Είδος πετρώματος και φορτίου κατά Terzaghi

Κατάσταση πετρώματος	Φορτίο, $H_p$	Παρατηρήσεις αντιστήριξης
Σκληρό και άρρηκτο πέτρωμα	0	Χωρίς
Πέτρωμα με στρώση ή σχιστότητα	0 - 0,5B	
Πέτρωμα με μέτριο κερματισμό	0 - 0,25B	Ελαφρά τελική επένδυση τοπικά
Μέτρια θρυμματισμένο πέτρωμα	0,25B - 0,35 (B+M)	Ελαφρά αντιστήριξη σε θέσεις απολέπισης
Ισχυρά θρυμματισμένο πέτρωμα	(0,35 - 1,10) (B+M)	Όχι πλευρικές πιέσεις
Πλήρως θρυμματισμένο πέτρωμα	1,10 (B+M)	Λίγες ή καθόλου πλευρικές πιέσεις
• Συμπιεζόμενο πέτρωμα σε μικρό βάθος	(1,10 - 2,10) (B+H)	Σημαντικές πλευρικές πιέσεις. Η δράση των εκροών στη χαλάρωση επιβάλλει είτε υποστήριξη των κάτω άκρων των πλαισίων είτε κυκλικά πλαίσια.
• Συμπιεζόμενο πέτρωμα σε μεγάλο βάθος	(2,10 - 4,50) (B+M)	Υψηλές πλευρικές πιέσεις. Ανάστροφο τόξο απαιτείται, ενώ συστήνεται η χρήση κυκλικών πλαισίων.
• Διογκούμενο πέτρωμα	Μέχρι και 80m το $H_p$ είναι ανεξάρτητο του (B+M)	Συστήνεται η χρήση κυκλικών πλαισίων. Σε ακραίες περιπτώσεις απαιτείται η χρήση ευέλικτης αντιστήριξης.



## Δοκιμή πρότυπης διείσδυσης S.P.T.<sup>12</sup> (αλλιώς Terzaghi)

Χρησιμοποιείται για την ποιοτική ένδειξη των επιτόπου ιδιοτήτων των εδαφών και στον προσδιορισμό:

Με άμεσο τρόπο:

- της σχετικής πυκνότητας,
- της αντίστασης των σχηματισμών στη διείσδυση

Με έμμεσο τρόπο :

- των παραμέτρων διατμητικής αντοχής και συμπιεστότητας με τη χρήση εμπειρικών συσχετίσεων.
- στον καθορισμό της επιτρεπόμενης φέρουσας ικανότητας.
- στον υπολογισμό των καθιζήσεων των κατασκευών.

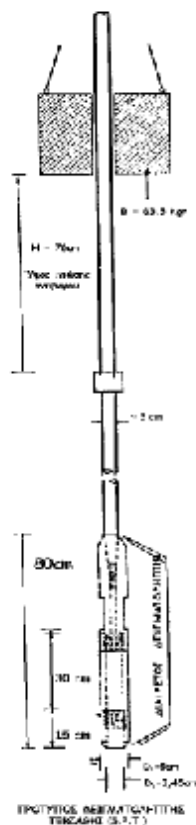
Διαδικασία δοκιμής :

Με τη βοήθεια γεωτρητικού εξοπλισμού κατά την ανόρυξη των γεωτρήσεων, σε διάφορα βάθη αυτών, έχουμε τα εξής :

1. Προσδιορίζουμε τον αριθμό των κρούσεων (N) για προχώρηση του ειδικού δειγματολήπτη Terzaghi με την πτώση αντίβαρου βάρους 63,5kg από ύψους 76,2cm, κατά 45cm σε τρία διαδοχικά τμήματα των 15cm.
2. Ο αριθμός των κρούσεων για τη διείσδυση του δειγματολήπτη στο πρώτο τμήμα των 15cm απορρίπτεται (διαταραγμένο από τη διαδικασία διάτρησης υλικό, ή πληρωμένο με υλικά που έχουν καταπέσει από το ασωλήνωτο τμήμα της γεώτρησης).
3. Ο χαρακτηρισμός των δειγμάτων γίνεται βάση της προχώρησης στα δύο υπόλοιπα τμήματα των 15cm (σύνολο 30cm), όπως δίνεται βιβλιογραφικά, σύμφωνα με σχετικούς πίνακες.
4. Στην περίπτωση που η δοκιμή εκτελείται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα, οι τιμές πρέπει να διορθωθούν όσον αφορά την επίδραση του νερού στη στήλη εκτέλεσης της δοκιμής και η γενική διόρθωση που ισχύει είναι:

$$N' = 15 + \frac{1}{2} (N-15), \quad \text{για } N > 15$$

<sup>12</sup> E.M.Π. <http://www.metal.ntua.gr/uploads/3536/THEORIA - SPT.pdf>



**Εικόνα 26. Διαγραμματική απεικόνιση της διάταξης εκτέλεσης της δοκιμής πρότυπης διείσδυσης.**

Πάντως, όταν οι τιμές του SPT πρόκειται να συσχετισθούν με τα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά του εδάφους στην περίπτωση σχεδιασμού θεμελίωσης, όλες οι διαδικασίες εκτέλεσης της δοκιμής, δηλαδή της προχώρησης του δειγματολήπτη μέσα στο έδαφος, χρειάζονται λεπτομερή θεώρηση, αφού η ενέργεια που μεταδίδεται στο δειγματολήπτη επηρεάζεται από το αντίβαρο, τη διαδικασία πτώσης αυτού (σημαντικό ρόλο παίζει εδώ η εμπειρία του χειριστή) κλπ.

Πρόσφατες βελτιώσεις, από την εμπειρία εκτέλεσης, οδηγούν σε διορθώσεις της υπαίθριας τιμής  $N$  σχετικά με την αποτελεσματική ενέργεια πρόσκρουσης του αντίβαρου που λαμβάνεται πλέον σαν το 60% της θεωρητικής ενέργειας που προκύπτει από την ελεύθερη πτώση αυτού.

Συνεπώς τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά του εδάφους που προσδιορίζονται από τη δοκιμή πρότυπης διείσδυσης, πρέπει να προσαρμόζονται στο 60% της θεωρητικής ενέργειας.

Πρόσφατες βελτιώσεις στα αντίβαρα οδήγησαν στη δημιουργία *αντίβαρου αυτόματης πτώσης (automatic hammer)* που μεταβιβάζει το 90 % της θεωρητικής ενέργειας αντί του 60%. Συνεπώς για παρόμοιες συνθήκες η τιμή  $N$  θα είναι χαμηλότερη όταν χρησιμοποιείται αντίβαρο αυτόματης πτώσης.

Πέρα από τις διορθώσεις, έχει βρεθεί ότι για παρόμοιες εδαφικές συνθήκες η τιμή του  $N$  μεταβάλλεται (αυξάνει) με το βάθος, λόγω:

- της επίδρασης του μεγαλύτερου πάχους των υπερκειμένων,
- τις πλέον αυξημένες απώλειες ενέργειας,
- τη μεγαλύτερου μήκους στήλη κλπ.

Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη όλους αυτούς τους σχολιασμούς, διαπιστώνεται ότι η τιμή του  $N$  που μετράται στην ύπαιθρο πρέπει να διορθώνεται αναφορικά με:

- το σύστημα απελευθέρωσης της ενέργειας του αντίβαρου ( $C_e$ )
- το μήκος της στήλης διείδυσης ( $C_l$ )
- το είδος του δειγματολήπτη ( $C_s$ )
- τη διάμετρο της γεώτρησης ( $C_d$ )
- την πίεση των υπερκειμένων,  $\sigma_v$  ( $C_N$ )

Έτσι, η νέα τιμή ( $N_{60}$ ) υπολογίζεται από τον τύπο:

$$N_{60} = N_{\text{field}} \times C_e \times C_l \times C_s \times C_d \times C_N$$

Η τελευταία διόρθωση ( $C_N$ ) δίνεται από τη σχέση:

$$C_N = \frac{P}{\sqrt{\sigma_v}}$$

όπου η πίεση  $P$  έχει τιμή 100kPa ή 1Kg/cm<sub>2</sub>. Η τιμή αυτή αποτελεί και τη συνήθως λαμβανόμενη υπόψη τιμή και για την πίεση  $\sigma_v$ .

Οι τιμές για τις λοιπές παραμέτρους του τύπου δίνονται από σχετικούς πίνακες της βιβλιογραφίας (π.χ. Spigolon S. J., 2001).

## Αμμώδεις σχηματισμοί <sup>11</sup>

Υφίστανται ρευστοποιήσεις κάτω από δυναμική φόρτιση (χάνουν προσωρινά τη διατμητική τους αντοχή).

Οι παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση του φαινομένου αυτού είναι:

- το βάθος
- η πυκνότητα αυτού κλπ
- η επιτάχυνση του εδάφους

Επομένως λαμβάνοντας υπόψη τη δοκιμή πρότυπης διείδυσης μπορεί να λεχθεί ότι η ευαισθησία ρευστοποίησης ενός αμμώδους σχηματισμού σχετίζεται με τη διορθωμένη τιμή του N.

Σύμφωνα με έρευνες στην Κίνα, περιοχές όπου η τιμή N είναι μικρότερη από μια οριακή τιμή ( $N_{critical}$ ), είναι επικίνδυνες για εκδήλωση ρευστοποιήσεων.

Η τιμή αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$N_{critical} = N' [1 + 0,125(Z_s - 3) - 0,05(Z_w - 2) - 0,07 (\% \text{αργίλου στον αμμώδη ορίζοντα})]$$

Οι παράμετροι  $Z_s$  και  $Z_w$  αναφέρονται στο βάθος (σε μέτρα) του αμμώδους ορίζοντα και του υδροφόρου ορίζοντα αντίστοιχα.

Οι τιμές του N' δίνονται από τον πίνακα που ακολουθεί (από τη σχέση τους με την ένταση του σεισμού), δηλαδή με την επίδραση του σεισμού στις κατασκευές όπως δίνεται σύμφωνα με την τροποποιημένη κλίμακα Mercalli.

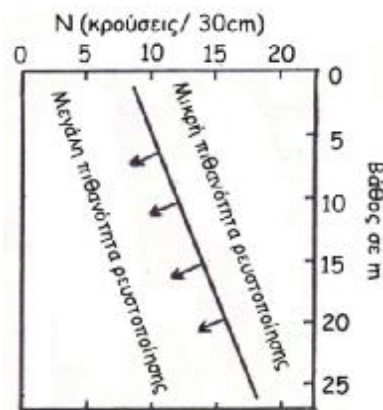
Ένταση σεισμού	Τιμή N
VII	6
VIII	10
IX	16

Γενικά:

- διορθωμένες τιμές του N μικρότερες του 20 θεωρείται ότι αποκαλύπτουν περιοχές με αυξημένο δυναμικό σεισμικής καταστροφής, ενώ

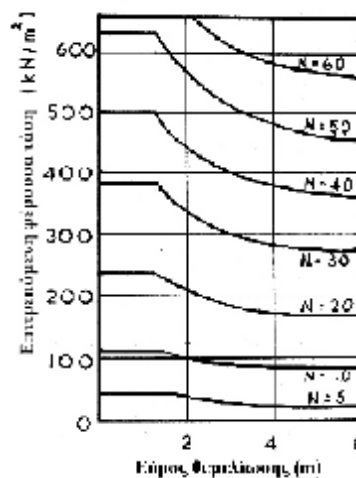
- περιοχές με διορθωμένη τιμή του N μεταξύ 20 και 30, κατατάσσονται σε αυτές που έχουν ενδιάμεσο βαθμό κινδύνου, και
- περιοχές με τιμή διορθωμένου N μεγαλύτερη από 30 θεωρούνται σαν χώροι όπου δεν θα υπάρξουν σημαντικές καταστροφές από τη σεισμική δράση, πάντα αναφερόμενοι στον παράγοντα ρευστοποίηση (McCarthy, 1998).

Στη παρακάτω εικόνα δίνεται βασικό διάγραμμα κινδύνου ρευστοποίησης εδαφών από τους Τάσιο & Γκαζέτα 1979, που περιλαμβάνεται στο προσχέδιο Αντισεισμικού Κανονισμού.

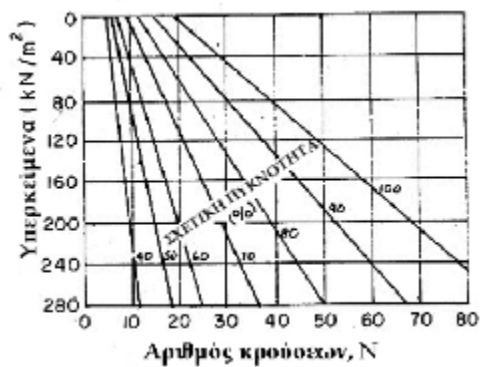


**Εικόνα 27. Διάγραμμα κινδύνου ρευστοποίησης εδαφών(από το "Προσχέδιο Αντισεισμικού Κανονισμού", Τάσιος & Γκαζέτας 1979, βελτιωμένο και μετά τους σεισμούς Αρμενίας 1988, Borah Peak 1983, Kobe 1995.**

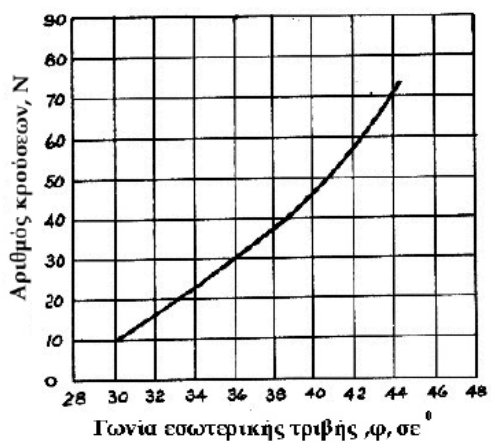
Στα παρακάτω σχήματα δίνονται μερικές χρήσιμες σχέσεις του αριθμού N από τη δοκιμή S.P.T., με την επιτρεπόμενη φέρουσα τάση, το εύρος των θεμελίων, φορτίου υπερκειμένων και σχετικής πυκνότητας, καθώς και γωνίας εσωτερικής τριβής.



**Εικόνα 28. Σχέση επιτρεπόμενης φέρουσας τάσης (kN/m<sup>2</sup>), εύρους θεμελίωσης (m) και κρούσεων Terzaghi (N).**



Εικόνα 29. Σχέση υπερκειμένων ( $\text{kN/m}^2$ ), σχετικής πυκνότητας (%) και κρούσεων Terzaghi (N).



Εικόνα 30. Σχέση γωνίας τριβής ( $\phi^\circ$ ) και κρούσεων Terzaghi (N).

### 3.2 ΜΕΘΟΔΟΣ BIENIAWSKI (RMR)

Ο δείκτης κερματισμού της βραχώμαζας<sup>12</sup> (Rock Quality Designation - RQD) αποτελεί ποσοτική εκτίμηση του κερματισμού της βραχώμαζας με βάση τους πυρήνες γεωτρήσεων. Ο δείκτης RQD ορίζεται ως το ποσοστό (επί τοις εκατό) των τεμαχίων μήκους άνω των 100mm σε κάποιο μήκος της γεώτρησης, δηλαδή:

$$RQD = \frac{\Sigma (\text{μήκους τεμαχίων, μήκους} > 10 \text{ cm})}{\text{Ολικό μήκος του πυρήνα}} \times 100\%$$

Ο δείκτης RQD αποτελεί έναν από τους συνηθέστερα χρησιμοποιούμενους δείκτες περιγραφής της βραχώμαζας αν και παρουσιάζει τα εξής μειονεκτήματα:

1. Είναι πολύ ευαίσθητος σε μικρές μεταβολές του μήκους των πυρήνων. Για παράδειγμα ένας πυρήνας μήκους 101mm αυξάνει τον δείκτη RQD κατά 10% ενώ ένας πυρήνας μήκους 99mm δεν προκαλεί καμία αύξηση του δείκτη RQD.

2. Είναι πολύ ευαίσθητος στον τρόπο της δειγματοληψίας (είδος και διάμετρος του δειγματολήπτη) αλλά και σε "λεπτομέρειες" της γεώτρησης, όπως η ταχύτητα περιστροφής, η πίεση στην κοπτική κεφαλή, το είδος της κοπτικής κεφαλής κλπ. Όλοι οι παραπάνω παράγοντες επηρεάζουν το βαθμό της πυρηνοληψίας και μπορούν να προκαλέσουν δευτερογενή κερματισμό του επιτόπου πετρώματος.

3. Εξαρτάται από το σχετικό προσανατολισμό της γεώτρησης ως προς τις ασυνέχειες της βραχώμαζας. Για παράδειγμα, ο δείκτης RQD μιας γεώτρησης με άξονα παράλληλο προς τις ασυνέχειες δίνει πολύ υψηλότερο δείκτη RQD απ' ό,τι μια γεώτρηση κάθετα στις ασυνέχειες.

Το σύστημα RMR (Rock Mass Rating) προτάθηκε από τον Bieniawski<sup>13</sup> το 1976, έλαβε την τελική του μορφή το 1979 (Bieniawski, 1979) και παρουσιάστηκε (χωρίς ουσιαστικές τροποποιήσεις) εκ νέου το 1989 (Bieniawski, 1989). Κατά το σύστημα αυτό, η ταξινόμηση της βραχώμαζας γίνεται με έξι (6) παραμέτρους εκάστη των οποίων λαμβάνει μια τιμή. Το άθροισμα των τιμών των έξι παραμέτρων αποτελεί την τιμή του δείκτη RMR. Οι έξι παράμετροι και οι τιμές τους είναι:

#### 1. Αντοχή του "συμπαγούς" πετρώματος σε μοναξονική θλίψη ( $\sigma_a$ ) Αντοχή $\sigma_a$ (MPa) Δείκτης R1

> 250	15
100 - 250	12 - 15
50 - 100	7 - 12
25 - 50	4 - 7
5 - 25	2 - 4
1 - 5	1 - 2
< 1	0

<sup>13</sup> Σημειώσεις «Σχεδιασμού Υπογείων Έργων», Μ.Καββαδά, ΕΜΠ 2005.

## 2. Δείκτης κερματισμού της βραχώμαζας (RQD)

<u>RQD(%)</u>	<u>Δείκτης R2</u>
> 90	20
75 - 90	17 – 20
50 - 75	13 - 17
25 – 50	8 – 13
< 25	3

## 3. Απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών

<u>Απόσταση (m)</u>	<u>Δείκτης R3</u>
>2	20
0.6 – 2	15 - 20
0.2 - 0.6	10 - 15
06- 0.2	8 - 10
<0.06	5



#### 4. Κατάσταση των επιφανειών των ασυνεχειών

Κατάσταση επιφανειών ασυνεχειών	Δείκτης R4
Πολύ τραχείες, χωρίς εξαλλοίωση	30
Ελαφρώς τραχείες, ελαφρά εξαλλοιωμένες, υλικό πλήρωσης < 1mm 25	
Ελαφρώς τραχείες, πολύ εξαλλοιωμένες, υλικό πλήρωσης < 1mm 20	
Λείες ή γυαλιστερές (slickensided), υλικό πλήρωσης 1-5mm	10
Υλικό πλήρωσης πάχους άνω των 5mm	0

#### 5. Παρουσία υπόγειου νερού

Παρουσία υπόγειου νερού	Δείκτης R5
Καθόλου νερό	15
Παρουσία υγρασίας	10
Υγρές επιφάνειες	7
Στάγδην	4
Με ροή	0

#### 6. Προσανατολισμός των ασυνεχειών σε σχέση με τη φορά διάνοιξης του έργου

Προσανατολισμός ασυνεχειών	Δείκτης R6
Πολύ ευμενής	0
Ευμενής	-2
Αδιάφορος	-5
Δυσμενής	-10
Πολύ δυσμενής	-12

Ο δείκτης RMR υπολογίζεται ως το άθροισμα των δεικτών R1 έως R6. Με βάση την τιμή του δείκτη RMR, η βραχόμαζα κατατάσσεται στις εξής κατηγορίες:

Κατηγορία βραχόμαζας	Τιμές του δείκτη RMR
Πολύ καλή - I	81 - 100
Καλή - II	61 - 80
Μέτρια - III	41 - 60
Πτωχή - Iv	21 - 40
Πολύ πτωχή - V	0 - 20

Ο δείκτης RMR αναπτύχθηκε με βάση την εμπειρία από στοές ορυχείων όπου συνήθως η βραχόμαζα είναι καλής ποιότητας (RMR > 40). Για βραχόμαζες πτωχής ποιότητας (RMR < 40) η μέθοδος δεν είναι πρόσφορη επειδή δεν διαθέτει επαρκές εύρος τιμών, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

#### Εύρος πιθανών τιμών του δείκτη RMR για πτωχής ποιότητας βραχόμαζες

Παράμετρος	Τιμές	Πιθανές τιμές του δείκτη
Αντοχή	< 5 MPa	0, 1, 2
RQD	< 25%	3
Απόσταση ασυνεχειών	< 15 cm	5, 8, 9
Κατάσταση ασυνεχειών	Με υλικό πλήρωσης	0, 10
Παρουσία νερού	Υγρές - Στάγδην	4, 7
Προσανατολισμός ασυνεχειών	Αδιάφορος	-5

Από τον ανωτέρω πίνακα προκύπτει ότι οι πιθανές τιμές του RMR είναι 7-26, δηλαδή 20 τιμές. Επιπλέον, στη διαμόρφωση της τιμής του δείκτη RMR έχει τεράστια σημασία η κατάσταση των επιφανειών των ασυνεχειών με πιθανό εύρος τιμών 0 ή 10 εάν το πάχος του υλικού πληρώσεως είναι περισσότερο από 5mm ή λιγότερο από 5mm. Τούτο σημαίνει ότι η τιμή του RMR αλλάζει κατά 10 μονάδες (ποσοστό 50% της συνολικής τιμής) εάν το πάχος του υλικού πληρώσεως μεταβληθεί από 4.9mm σε 5.1mm. Είναι προφανές ότι η επιρροή αυτή είναι υπερβολική και μάλιστα δεδομένου ότι η εκτίμηση του πάχους του υλικού πληρώσεως των ασυνεχειών έχει σημαντική αβεβαιότητα.

Κατά τη χρήση του δείκτη RMR για την εκτίμηση των μηχανικών παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας συνιστάται ο υπολογισμός του RMR να γίνεται με άθροιση μόνον των πέντε πρώτων παραμέτρων, δηλαδή χωρίς συμμετοχή της επιρροής του προσανατολισμού των ασυνεχειών σε σχέση με τη φορά διάνοιξης του έργου, δεδομένου ότι η επιρροή αυτή λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό της διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης του έργου με διαφορετικό τρόπο.

### **Γεωτεχνική ταξινόμηση βραχομάζας με τη μέθοδο RMR (Bieniawski, (1989)**

Σύμφωνα με τη μέθοδο RMR, οι ιδιότητες που χρησιμοποιούνται για ταξινόμηση βραχομάζας είναι οι παρακάτω (Bieniawski, 1989):

- Αντοχή ακέραιου βράχου: Υπολογίζεται με μονοαξονική συμπίεστική δύναμη δειγμάτων πυρηνοληψίας ή με τον δείκτη σημειακής αντοχής κατά τη σημειακή φόρτιση βραχωδών δειγμάτων χαμηλής αντοχής.
- Δείκτης κερματισμού RQD: Είναι το ποσοστό του μήκους των κομματιών του πυρήνα μιας γεώτρησης, μήκους τουλάχιστον 10cm έκαστο, ανά μέτρο πυρήνα γεώτρησης. Ο προσδιορισμός των τιμών του RQD για υπαίθρια μέτρηση χωρίς τη βοήθεια γεώτρησης σε βραχομάζα που δεν έχει άργιλο κατά μήκος της σήραγγας δίνεται από τη σχέση (Palmstrom, 1982):

$$RQD\% = 115 - 3,3 J_v$$

Όπου  $J_v$  = συνολικός αριθμός διακλάσεων στο κυβικό μέτρο της βραχομάζας.

- Αποστάσεις ασυνεχειών.
- Ανάπτυξη ασυνεχειών: Το αδιαίρετο μήκος των ασυνεχειών μέσα στη διατομή της σήραγγας (Deere&Deerem 1988).
- Διαχωρισμός ασυνεχειών: Η απόσταση των επιφανειών των ασυνεχειών.
- Τραχύτητα επιφανειών ασυνεχειών
- Υλικό πλήρωσης: Σκληρότητα και πάχος του υλικού πλήρωσης των ασυνεχειών.
- Αποσάθρωση πετρώματος στις παρειές των ασυνεχειών.
- Συνθήκες υπόγειου νερού
- Προσανατολισμός διεύθυνσης και κλίσης ασυνεχειών και ιδιαίτερα τεκτονικών στοιχείων για την ευστάθεια της σήραγγας: Η εκτίμησή του πραγματοποιείται σύμφωνα με τον πίνακα 1 (Christaras et al, 2002).

Η βαθμονόμηση των παραπάνω παραμέτρων, για την αξιοποίηση της μεθόδου RMR, δίνεται στους Πίνακες 1- 4).

Ανεξάρτητα από παράταξη	
Γωνία κλίσης	Εκτίμηση
0-20°	Δυσμενής
Παράταξη παράλληλη στον άξονα της σήραγγας	
Γωνία κλίσης	Εκτίμηση
45-90°	Πολύ δυσμενής
20-45°	Μέτρια
Παράταξη κάθετη στον άξονα της σήραγγας	
Διάνοιξη σύμφωνα με την κατεύθυνση βύθισης	
Γωνία κλίσης	Εκτίμηση
45-90°	Πολύ ευνοϊκή
20-45°	Ευνοϊκή
Διάνοιξη αντίθετα με την κατεύθυνση βύθισης	
Γωνία κλίσης	Εκτίμηση
45-90°	Μέτρια
20-45°	Δυσμενής

**Πίνακας 1:** Επίδραση του προσανατολισμού των διακλάσεων στην ευστάθεια σηράγγων

- Άθροιση βαθμονόμησης των παραπάνω ιδιοτήτων της βραχομάζας και εύρεση βαθμού RMR (Πίνακας 2) (Bieniawski, 1976).

Τάξη βραχομάζας	Ποιότητα βραχομάζας	RMR
I	Πολύ καλή	80-100
II	Καλή	61/80
III	Μέτρια	41-60
IV	Φτωχή	21-40
V	Πολύ φτωχή	0-20

**Πίνακας 2:** Ποιότητα βραχομάζας σύμφωνα με τη γεωτεχνική ταξινόμηση κατά RMR

Κατηγορία ποιότητας βραχομάζας	I	II	III	IV	V
Συνοχή (Kpa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Γωνία εσωτερικής τριβής (°)	>45	35-45	25-35	15-25	<15

Πίνακας 3: Παράμετροι αντοχής βραχομάζας

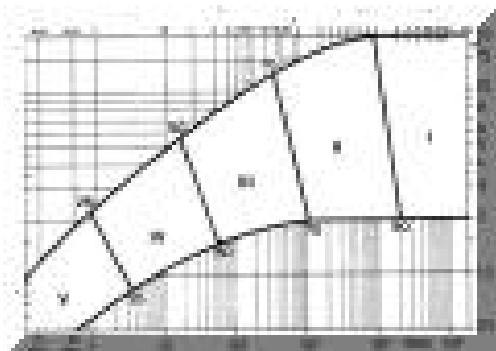
ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ BENIAWSKI						
ΑΝΤΟΧΗ ΑΚΕΡΑΙΟΥ ΒΡΑΧΟΥ						
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ	ΑΝΤΟΧ Η	ΔΕΙΚΤΗ Σ				ΒΑΘΜΟΙ RM R
Πολύ υψηλή	>250	>10	<input type="checkbox"/>			15
Υψηλή	100-250	4-10	<input type="checkbox"/>			12
Μέση	50-100	2-4	<input type="checkbox"/>			7
Μέτρια	25-50	1-2	<input type="checkbox"/>			4
Μικρή	5-25	<1	<input type="checkbox"/>			2
Πολύ μικρή	1-5		<input type="checkbox"/>			1
	<1		<input type="checkbox"/>			0
RQD						
Εξαιρετική	90-100%	<input type="checkbox"/>				20
Καλή	75-90%	<input type="checkbox"/>				17
Μέτρια	50-75%	<input type="checkbox"/>				13
Πτωχή	25-50%	<input type="checkbox"/>				8
Πολύ πτωχή	<25%	<input type="checkbox"/>				3
		ΟΙΚΟ-ΓΕΝΕΙΑ 1	ΟΙΚΟ-ΓΕΝΕΙΑ 2	ΟΙΚΟ-ΓΕΝΕΙΑ 3	ΟΙΚΟ-ΓΕΝΕΙΑ 4	
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ						
Πολύ αραιή	>2m	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20
Αραιή	0,6-2,0m	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	15
Μέτρια	200-600mm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10
Πυκνή	60-200mm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8
Πολύ πυκνή	<60mm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ						
Πολύ λίγη	<1m	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6
Λίγη	1-3m	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4
Μέση	3-10m	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2
Υψηλή	10-20m	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1
Πολύ υψηλή	>20m	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ						
Πολύ κλειστές		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6
Κλειστές	<0,1mm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5
Μέτριες Ανοιχτές	0,1-1,0mm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4
Ανοικτές διακλάσεις	1-5mm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1
Πολύ ανοικτές	>5mm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ						
Πολύ τραχείες		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6
Τραχείες		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5
Ελαφρώς τραχείες		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3
Λείες		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1

Διατμημένες		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
<b>ΥΛΙΚΟ ΠΛΗΡΩΣΗΣ</b>						
Πολύ κλειστές		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6
<5mm-Σκληρό υλικό		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4
>5mm-Σκληρό υλικό		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2
<5mm-Μαλακό υλική		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2
>5mm-Μαλακό υλικό		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
<b>ΠΕΤΡΩΜΑ ΣΤΙΣ ΠΑΡΕΙΕΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ</b>						
Υγιείς		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6
Ελαφρώς αποσαθρωμένο		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5
Μετρίως αποσαθρωμένο		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3
Πολύ αποσαθρωμένο		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1
Πλήρως αποσαθρωμένο		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
<b>ΥΠΟΓΕΙΟ ΝΕΡΟ</b>						
Εισροές ανά 10mμήκους σήραγγας lit/hr						
Πίεση νερού						
<b>ΓΕΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ</b>						
Τελείως ξηρές	<input type="checkbox"/>					15
Ύφυγρη	<input type="checkbox"/>					10
Υγρή	<input type="checkbox"/>					7
Στάγδην	<input type="checkbox"/>					4
<b>ΡΟΗ</b>						
Χαμηλή πίεση	<input type="checkbox"/>					0
Μέση πίεση	<input type="checkbox"/>					0
Υψηλή πίεση	<input type="checkbox"/>					0
<b>ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΣΗΣ</b>						
Οικογένεια 1						
Οικογένεια 2						
Οικογένεια 3						
Οικογένεια 4						
<b>ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ</b>						
Πολύ ευμενής	<input type="checkbox"/>					0
Ευμενής	<input type="checkbox"/>					-2
Μέτριος	<input type="checkbox"/>					-5
Δυσμενής	<input type="checkbox"/>					-10
Πολύ δυσμενής	<input type="checkbox"/>					-12
<b>ΒΑΘΜΟΣ RMR</b>		<b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ</b>	<b>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ</b>			<b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΥΠΟ- ΣΤΗΡΙΞΗΣ</b>

Πίνακας 4: Γεωτεχνική ταξινόμηση κατά RMR (Bieniawski, 1989, Κούκης & Σαμπατακάκης, 2002)

Μέτρα υποστήριξης σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά RMR (Bieniawski, 1989)

- Μέσος χρόνος διατήρησης της διατομής εκσκαφής χωρίς υποστήριξη (τροποποίηση από Lauffer, 1958 του Bieniawski, 1973).
- Επιλογή εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης σηράγγων διαμέτρου 10m σε μικρό βάθος (Bieniawski, 1989 ( Εικ. 13, Πίνακας 5):



Εικόνα 31. Σχέση μεταξύ ενεργού ανοίγματος και του χρόνου διατήρησης της διατομής εκσκαφής χωρίς υποστήριξη, σύμφωνα με τις τιμές βαθμονόμησης RMR (Bieniawski, 1974)

Σχήμα: Πεταλοειδής. Μέση διάμετρος εκσκαφής: 10m. Κατακόρυφες τάσεις: <math><25\text{Mpa}</math> (βάθος <math><900\text{m}</math>). Μέθοδος διάνοιξης: διάτρηση και ανατίναξη.				
		<b>Εναλλακτικά συστήματα υποστήριξης σε κατασκευή με συμβατικά μέσα</b>		
<b>Ποιότητα βραχομάζας</b>	<b>Μέθοδος εκσκαφής</b>	<b>Ηλώσεις (διάμετρος 20mm με πλήρη πάκτωση)</b>	<b>Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα</b>	<b>Μεταλλικά πλαίσια</b>

### 3.3 ΜΕΘΟΔΟΣ N.BARTON, R.LIEN, J.LUNDE

Το σύστημα  $Q^{14}$  αναπτύχθηκε στο Νορβηγικό Γεωτεχνικό Ινστιτούτο (NGI) από τους Barton, Lien and Lunde το 1974 με σκοπό τον εμπειρικό σχεδιασμό των μέτρων άμεσης υποστήριξης σηράγγων που διανοίγονται με τη "μέθοδο NATM". Η μέθοδος βασίζεται στον υπολογισμό του δείκτη  $Q$  από τη σχέση:

$$Q = \left( \frac{RQD}{J_n} \right) * \left( \frac{J_r}{J_a} \right) * \left( \frac{J_w}{SRF} \right)$$

Όπου :

RQD = δείκτης κερματισμού της Βραχόμαζας

$J_n$  = δείκτης του αριθμού των συστημάτων των ασυνεχειών

$J_r$  = βαθμός τραχύτητας των επιφανειών των ασυνεχειών

$J_a$  = βαθμός εξαλλοίωσης των επιφανειών των ασυνεχειών

$J_w$  = συντελεστής επιρροής του υπόγειου νερού

SRF = συντελεστής απομείωσης λόγω υψηλών τάσεων (Stress Reduction Factor)

Στην παραπάνω σχέση, ο πρώτος λόγος ( $RQD/J_n$ ) εκφράζει το μέσο μέγεθος των τεμαχίων που συνιστούν τη βραχόμαζα. Ο δεύτερος λόγος ( $J_r / J_a$ ) εκφράζει τα χαρακτηριστικά διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών της βραχόμαζας. Τέλος, ο τρίτος λόγος ( $J_w / SRF$ ) εκφράζει τις τάσεις που επικρατούν στη βραχόμαζα. Οι τιμές των παραπάνω παραμέτρων συνοψίζονται στα επόμενα.

#### 1. Συντελεστής RQD.

Χρησιμοποιείται η τιμή του δείκτη RQD. Εάν  $RQD < 10\%$ , χρησιμοποιείται η συμβατική τιμή 10.

#### 2. Συντελεστής $J_n$

Οικογένειες ασυνεχειών	Τιμή του $J_n$
Συμπαγές πέτρωμα ή λίγες ασυνέχειες	0.5 - 1.0
Μια οικογένεια	2
Μια οικογένεια και μερικές τυχαίες ασυνέχειες	3
Δυο οικογένειες	4
Δυο οικογένειες και μερικές τυχαίες ασυνέχειες	6
Τρεις οικογένειες	9
Τρεις οικογένειες και μερικές τυχαίες ασυνέχειες	12
Τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες	15
Θρυμματισμένο πέτρωμα	20

<sup>14</sup> Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας II, [http://www.legah.metal.ntua.gr/pdf/tex2/2012/D4\\_P.pdf](http://www.legah.metal.ntua.gr/pdf/tex2/2012/D4_P.pdf)

Σε περιοχές διασταύρωσης σηράγγων, η τιμή του  $J_n$  τριπλασιάζεται. Σε περιοχές στομιών, η τιμή του  $J_n$  διπλασιάζεται.

### 3. Συντελεστής $J_r$

(α) Περίπτωση βραχόμαζας με ασυνέχειες χωρίς υλικό πλήρωσης ή με υλικό πλήρωσης μικρού πάχους (ώστε να αποκαθίσταται επαφή των εκατέρωθεν της ασυνέχειας τεμαχίων για σχετική ολίσθηση μικρότερη των 10cm).

Κατάσταση επιφάνειας των ασυνεχειών	τιμή του $J_r$
Ασυνεχείς διακλάσεις	4
Τραχείες και ακανόνιστες, κυματώδεις	3
Ομαλές, κυματώδεις	2
Ολισθηρές (slickensided), κυματώδεις	1.5
Τραχείες ή ακανόνιστες, επίπεδες	1.5
Ομαλές επίπεδες	1.0
<u>Ολισθηρές επίπεδες</u>	0.5

(β) Περίπτωση βραχόμαζας χωρίς επαφή των εκατέρωθεν της ασυνέχειας τοιχωμάτων του πετρώματος ακόμη και μετά σημαντική σχετική ολίσθηση κατά μήκος της ασυνέχειας.

#### Κατάσταση επιφάνειας των ασυνεχειών → Τιμή του $J_r$

- Με υλικό πλήρωσης από αργιλικό υλικό σε επαρκές πάχος ώστε να παρεμποδίζεται η επαφή των τοιχωμάτων του πετρώματος → 1.0
- Με υλικό πλήρωσης από αμμώδες ή χαλικώδες υλικό σε επαρκές πάχος ώστε να παρεμποδίζεται η επαφή των τοιχωμάτων του πετρώματος → 1.0
- Στην περίπτωση που η μέση απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών υπερβαίνει τα τρία μέτρα → η τιμή του  $J_r$  αυξάνεται κατά 1.

### 4. Συντελεστής $J_{\sigma}$

(α) Περίπτωση βραχόμαζας με επαφή των εκατέρωθεν της ασυνέχειας τοιχωμάτων του πετρώματος.



Κατάσταση εξαλλοίωσης των τοιχωμάτων των ασυνεχειών	Τιμή του $J_{\alpha}$
Υγιή και πλήρως "επουλωμένα" τοιχώματα	0.75
Οξειδωμένα τοιχώματα χωρίς αποσάθρωση	1.0
Ελαφρώς αποσαθρωμένα τοιχώματα με αμμώδες (όχι αργιλικό) υλικό πλήρωσης	2.0
Αμμώδες ή ιλυώδες υλικό πλήρωσης	3.0
Υλικό πλήρωσης από αργιλικά ορυκτά πάχους έως 2mm	4.0

(β) Περίπτωση βραχόμαζας με υλικό πλήρωσης μικρού πάχους (ώστε να αποκαθίσταται επαφή των εκατέρωθεν της ασυνέχειας τεμαχών για σχετική ολίσθηση μικρότερη των 10cm).

Κατάσταση εξαλλοίωσης των τοιχωμάτων των ασυνεχειών	Τιμή του $J_{\alpha}$
Υλικό πλήρωσης από αμμώδη συστατικά	4.0
Υλικό πλήρωσης από στιφρή άργιλο πάχους έως 5mm	6.0
Υλικό πλήρωσης από μαλακή άργιλο πάχους έως 5mm	8.0
Υλικό πλήρωσης από διογκούμενη άργιλο πάχους έως 5mm. Η τιμή του $J_{\alpha}$ εξαρτάται από το ποσοστό της διογκούμενης αργίλου	8 - 12

(γ) Περίπτωση βραχόμαζας χωρίς επαφή των εκατέρωθεν της ασυνέχειας τοιχωμάτων του πετρώματος ακόμη και μετά σχετική ολίσθηση κατά μήκος της ασυνέχειας.

Κατάσταση εξαλλοίωσης των τοιχωμάτων των ασυνεχειών	Τιμή του $J_{\beta}$
Ζώνες από θρυμματισμένο ιλυο-αμμώδες υλικό	5
Παχιές ζώνες από αργιλικό υλικό (στιφρή άργιλος, μαλακή άργιλος ή διογκούμενη άργιλος)	6-24

Συντελεστής  $J_w$

Παρουσία Υπογείων Υδάτων	Τιμή του $J_w$
Στεγνή εκσκαφή ή μικρή τοπική εισροή νερού έως 5 lt/min	1.0
Μέτρια εισροή νερού με μερική απόπλυση του υλικού πλήρωσης	0.66
Μεγάλη εισροή νερού σε καλό πέτρωμα με ρωγμές χωρίς υλικό πλήρωσης	0.50
Μεγάλη εισροή νερού με σημαντική απόπλυση του υλικού πλήρωσης	0.33
Πολύ μεγάλη εισροή νερού βαθμιαίως μειούμενη με την πάροδο του χρόνου	0.2-0.1
Πολύ μεγάλη εισροή νερού χωρίς μείωση με την πάροδο του χρόνου	0.05-0.1

Συντελεστής SRF

(α) Διέλευση από ζώνες ρηγμάτων. Διέλευση από ασθενείς ζώνες που είναι δυνατόν να προκαλέσουν χαλάρωση της βραχόμαζας.

Περίπτωση	Τιμή του SRF
Αφθονες ασθενείς ζώνες με αργιλικό ή αποσαθρωμένο πέτρωμα, πολύ	

χαλαρό περιβάλλον πέτρωμα (για οποιοδήποτε βάθος)	10
Μεμονωμένες ασθενείς ζώνες ως ανωτέρω (βάθος σήραγγας < 50m)	5
Μεμονωμένες ασθενείς ζώνες ως ανωτέρω (βάθος σήραγγας > 50m)	2.5
Άφθονες ζώνες διάτμησης σε σκληρό πέτρωμα, χωρίς αργιλικό υλικό, χαλαρό περιβάλλον πέτρωμα (για οποιοδήποτε βάθος)	7.5
Μεμονωμένες ζώνες διάτμησης ως ανωτέρω (βάθος σήραγγας < 50m)	5
Μεμονωμένες ζώνες διάτμησης ως ανωτέρω (βάθος σήραγγας > 50m)	2.5
Χαλαρές ανοιχτές ασυνέχειες, έντονα διακλασμένη μάζα (για οποιοδήποτε βάθος)	5
(β) Περίπτωση πετρώματος ικανής αντοχής υπό σχετικώς	υψηλές τιμές

γεωστατικών τάσεων

Περίπτωση $\sigma_v/\sigma_h/\sigma_t$	Τιμή του SRF
Χαμηλές τάσεις, κοντά στην επιφάνεια, > 200 > 13	2.5
ανοιχτές ασυνέχειες	
Μέσες τάσεις 200-10 13-0.66	1.0
Υψηλές τάσεις, πολύ "σφιχτή δομή 10-5 0.66-0.33	0.5-2.0
Μέτρια "εκτίναξη" σκληρού πετρώματος, 5-2.5 0.33-0.16	5-10
μετά 1 ώρα	
Έντονη "έκρηξη" και δυναμικές < 2.5 < 0.16	10-20
παραμορφώσεις σκληρού πετρώματος	

(γ) Συνθλιβόν πέτρωμα, έντονες πλαστικές παραμορφώσεις λόγω πολύ υψηλών

τάσεων.

Περίπτωση	Τιμή του SRF
Μέτρια πίεση εξαιτίας της συμπίεσης	5 - 10
Μεγάλη πίεση εξαιτίας της συμπίεσης	10 - 20

(δ) Διογκούμενο πέτρωμα, λόγω χημικής ενεργότητας με προσρόφηση νερού.

Περίπτωση	Τιμή του SRF
Μέτρια πίεση εξαιτίας της διόγκωσης	5 - 10
Μεγάλη πίεση εξαιτίας της διόγκωσης	10 - 15

Με βάση το δείκτη ποιότητας κατά το σύστημα Q, η βραχώμαζα μπορεί να καταταγεί στις ακόλουθες κατηγορίες:

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΚΑΤΑ ΤΟ Q-SYSTEM		
Q	Κλάση	Χαρακτηρισμός
>400	Q-Ia	εξαιρετικά καλή
100-400	Q-Ib	πάρα πολύ καλή
40-100	Q-II	πολύ καλή
10-40	Q-IIIa	καλή
4-10	Q-IIIb	μέτρια
1-4	Q-IVa	πτωχή
0.1-1	Q-IVb	πολύ πτωχή
0.01-0.1	Q-Va	πάρα πολύ πτωχή
<0.01	Q-Vb	εξαιρετικά πτωχή

### 3.4 ΜΕΘΟΔΟΣ G.S.I

Το σύστημα GSI<sup>15</sup> (Geological Strength Index) αρχικώς προτάθηκε από τον Hoek (1995), και με βελτιώσεις από τους Hoek, Marinos & Benissi το 1998 και το 2000, και δίνει ιδιαίτερη έμφαση σε σχετικώς πτωχής ποιότητας βραχώμαζας με RMR 40 αλλά με λειτουργία αλληλεμπλοκής μεταξύ των βραχωδών τεμαχών. Τέτοιου τύπου βραχώμαζες δομούν ένα σημαντικό ποσοστό του Ελληνικού χώρου και συνεπώς έχουν μεγάλη σημασία στο σχεδιασμό υπογείων έργων.

Το σύστημα GSI σχεδιάσθηκε ώστε εν γένει να είναι συμβατό με το σύστημα RMR για βραχώμαζες με RMR > 40, δηλαδή οι τιμές του δείκτη GSI είναι περίπου ίσες με τις αντίστοιχες τιμές του δείκτη RMR. Για βραχώμαζες με RMR < 40, το σύστημα GSI πλεονεκτεί επειδή παρέχει καλύτερη διακριτοποίηση, χωρίς απότομες μεταβολές της τιμής του δείκτη, ενώ ταυτοχρόνως παραμένει συμβατό με το σύστημα RMR.

Το σύστημα GSI βασίζεται στη συναξιολόγηση δυο παραμέτρων:

- (α) Της δομής της βραχώμαζας, που χαρακτηρίζει το βαθμό αλληλεμπλοκής των βραχωδών τεμαχών.
- (β) Της κατάστασης των επιφανειών των ασυνεχειών που χαρακτηρίζει το μέγεθος της διατμητικής αντοχής τους.

Η συναξιολόγηση των παραμέτρων και οι αντίστοιχες τιμές του δείκτη GSI φαίνονται παρακάτω. Το σύστημα GSI εφαρμόζεται σε βραχώμαζες με αλληλεμπλοκή μεταξύ των βραχωδών τεμαχών, δηλαδή σε βραχώμαζες με μικρό ποσοστό συμμετοχής εδαφικού υλικού (τυπικά λιγότερο από 20% του συνολικού όγκου της βραχώμαζας).

---

<sup>15</sup> <https://rocscience.com/documents/hoek/references/H1998d.pdf>, E. Hoek, P. Marinos, M. Benissi. 1998.

<p><b>ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΟΥΣ ΒΡΑΧΟΥΣ</b> (Hoek and Marinos, 2000) Βασίζομενοι στην εμφάνιση της βραχόμαζας (περιγραφή δομής και κατάσταση επιφάνειας ασυνεχειών) εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI, χωρίς υποχρεωτικά μεγάλη ακρίβεια. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 ως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι GSI=35. Σημειώνεται ότι ο Πίνακας δεν εφαρμόζεται σε <u>κινηματικά ελεγχόμενες αστάθειες</u>. Στην περίπτωση που οι ασθενείς επίπεδες επιφάνειες έχουν μη ευνοϊκό προσανατολισμό σε σχέση με το πρηνές εκσκαφής, τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχόμαζας. Η διατμητική αντοχή επιφανειών σε βράχους που υπόκεινται σε εξασθένιση λόγω διακύμανσης της περιεκτικότητας σε υγρασία, είναι περαιτέρω μειωμένη όταν υπάρχει νερό. Όταν, οι βραχόμαζες ανήκουν στις μέτριες έως πτωχές κατηγορίες και υπάρχει νερό τότε μετακινούμαστε προς τα δεξιά. Η υδροστατική πίεση λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων.</p> <p style="text-align: center;"><b>ΔΟΜΗ</b></p>	<p><b>ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ</b></p> <p><b>ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ</b> Πολύ τραχιές, μη αποσθρωμμένες επιφάνειες</p>	<p><b>ΚΑΛΗ</b> Τραχιές, ελαφρά αποσθρωμμένες και οξειδωμένες επιφάνειες</p>	<p><b>ΜΕΤΡΙΑ</b> Λείες, μετρίως αποσθρωμμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες</p>	<p><b>ΠΤΩΧΗ</b> Επιφάνειες ολισθησης, πολύ αποσθρωμμένες με σημαντική επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα</p>	<p><b>ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ</b> Επιφάνειες ολισθησης πολύ αποσθρωμμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης</p>
<p style="text-align: center;"><b>ΔΟΜΗ</b></p> <div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 5px;"> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p><b>INTACT OR MASSIVE</b> - Άρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση</p> </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p><b>BLOCKY</b> - Αδιατάρακτη βραχόμαζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών</p> </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p><b>VERY BLOCKY</b>- Μερικώς διαταραγμένη βραχόμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών</p> </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p><b>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY</b> Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας</p> </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p><b>DISINTEGRATED</b> - Ισχυρά κερματισμένη βραχόμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών και αποστρωγυλωμένων τεμαχίων</p> </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p><b>LAMINATED/SHEARED</b> - Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχόμαζα. Η σχιστότητα επικρατεί έναντι οποιασδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιωδών τεμαχίων</p> </div> </div> </div> <p style="text-align: center;"><b>ΜΕΙΟΥΜΕΝΟ ΑΛΛΗΛΟΚΛΕΙΔΩΜΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΩΝ</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ</b> →</p>	<p style="text-align: center;">90</p> <p style="text-align: center;">80</p> <p style="text-align: center;">70</p> <p style="text-align: center;">60</p> <p style="text-align: center;">50</p> <p style="text-align: center;">40</p> <p style="text-align: center;">30</p> <p style="text-align: center;">20</p> <p style="text-align: center;">10</p>	<p style="text-align: center;">N/A</p> <p style="text-align: center;">N/A</p>	<p style="text-align: center;">N/A</p> <p style="text-align: center;">N/A</p>	

Εικόνα 32. Ταξινόμηση της βραχόμαζας κατά το σύστημα GSI.

Το σύστημα GSI εφαρμόζεται σε βραχόμαζες με αλληλεμπλοκή μεταξύ των

βραχωδών τεμαχών, δηλαδή σε βραχώμαζες με μικρό ποσοστό συμμετοχής εδαφικού υλικού (τυπικά λιγότερο από 20% του συνολικού όγκου της βραχώμαζας).

### Extension of the GSI index for non-competent rock-masses

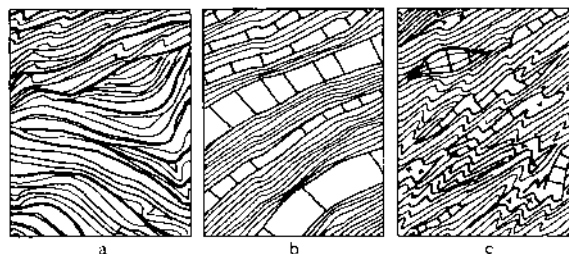
Non-competence means lack of interlocking between rock pieces due to the presence of an appreciable fraction of soil material (> 20% by volume)

		Plasticity index of the soil-fraction				
		Non-plastic	20%	40%	60%	80%
Rock-fraction (%)	Soil-fraction (%)	Friction angle of the soil-fraction				
		27.5°	25°	22.5°	20°	17.5°
above 80%	below 20%	<i>Rock-mass is competent – use standard GSI values</i>				
80%	20%					
60%	40%					
40%	60%					
20%	80%					
below 20%	above 80%	<i>Engineering soil - Use a soil mechanics description</i>				

In strongly anisotropic rock-masses, the shear strength parameters obtained from the GSI values correspond to failure planes normal to the layers. For failure planes in a direction forming an angle  $\theta$  with respect to the layer, use:

$$\varphi = \varphi_s + (\varphi_n - \varphi_s) \sqrt{\frac{\theta}{90}} \quad c = c_s + (c_n - c_s) \sqrt{\frac{\theta}{90}}$$

$(c_n, \varphi_n)$  = shear strength parameters along the direction normal to the layer  
 $(c_s, \varphi_s)$  = shear strength parameters of the soil-fraction along the layer



Εικόνα 33. Εκτίμηση  $c$  και  $\varphi$

- Έντονα διατμημένη
- Στρωσιγενής με εναλλαγές (φλύσσης)
- Χαστική δομή λόγω έντονου τεκτονισμού (after Marinou, 1999)

Παραπάνω βλέπουμε την τροποποίηση του συστήματος GSI για βραχώμαζες χωρίς αλληλεμπλοκή κόκκων. Εφαρμόζεται σε βραχώμαζες με μεγάλο ποσοστό συμμετοχής εδαφικού υλικού (τυπικά περισσότερο από 20% του συνολικού όγκου της βραχώμαζας).

Σε βραχώμαζες με αξιόλογο ποσοστό συμμετοχής εδαφικού υλικού (π.χ. βραχώμαζες με σημαντικό βαθμό εξαλλοίωσης), όπου η αλληλεμπλοκή μεταξύ των βραχωδών τεμαχών είναι περιορισμένη έως ανύπαρκτη, μπορεί να χρησιμοποιείται η τροποποίηση της ταξινόμησης του συστήματος GSI που φαίνεται στο παραπάνω Σχήμα.

#### Γεωτεχνική ταξινόμηση κατά GSI<sup>14</sup>

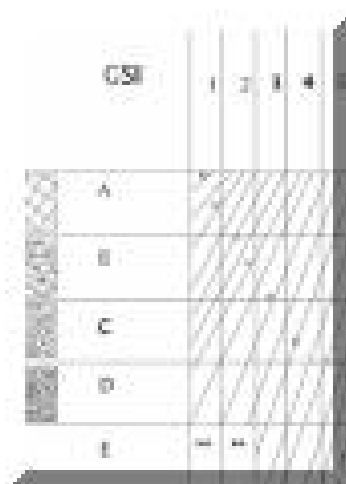
- Ο Δείκτης Γεωλογικής Αντοχής (GSI) σχετίζεται με την εκτίμηση της αντοχής των βραχωδών μαζών για διαφορετικές γεωλογικές συνθήκες κατά τις παρατηρήσεις πεδίου (Hoek & Brown, 1980). Ο χαρακτηρισμός της βραχώμαζας βασίζεται στην ταξινόμηση της δομής του πετρώματος όσον αφορά τους όγκους που σχηματίζονται εξαιτίας των διαθλάσεων, καθώς και την επιφανειακή κατάσταση των ασυνεχειών. Παραπάνω γίνεται εκτίμηση του GSI ως αποτέλεσμα συνδυασμού της τυπικής σχηματικής περιγραφής της δομής του πετρώματος με βάση την πυκνότητα των ασυνεχειών και του ποιητικού χαρακτηρισμού του πετρώματος Hoek, 1994). Όπως διαπιστώνεται, οι τιμές του GSI δεν είναι ακριβείς για κάθε περίπτωση, είναι όμως ενδεικτικές και δεν εισάγεται σημαντικό σφάλμα χρησιμοποιώντας (και για λόγους ασφαλείας) την μικρότερη τιμή (Hoek, 1994, Chatziangelouetal, 2001).
- Μονοαξονικής αντοχή  $\sigma_{ci}$

Μπορεί να υπολογιστεί με εργαστηριακές δοκιμές δια μέσω του δείκτη σημειακής φόρτισης και με τη βοήθεια του παραπάνω πίνακα (Hoek et al, 1998) ή με τη βοήθεια της σταθεράς του υλικού  $m_i$ , η οποία λαμβάνεται από τον πίνακα 7 (Hoek et al, 1998).

- Γωνία τριβής και συνοχή.

Υπολογίζονται από διαγράμματα που συσχετίζουν την τιμή GSI με τις παραμέτρους  $c$  και  $\phi$  του υλικού (Εικ.33, Hoeketal, 1998)

- Μοντέλο παραμόρφωσης  $E_m$ .  $E_m = (\sigma_{ci} / 100)^{1/2} \times 10^{[(GSI - 10) / 40]}$



Εικόνα 34. Εκτίμηση Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (GSI)

## Επεξήγηση εικόνας :

Η δομή της βραχόμαζας περιγράφεται καθέτως, ενώ το είδος των επιφανειών των ασυνεχειών περιγράφεται οριζοντίως.

1. Πολύ καλή ποιότητα: Μη αποσαθρωμένες επιφάνειες.
  2. Καλή ποιότητα: Τραχείες ελαφρά αποσαθρωμένες επιφάνειες. Εμφανείς κηλίδες οξειδωσης.
  3. Μέτρια ποιότητα: Ομαλές, μέτρια αποσαθρωμένες επιφάνειες.
  4. Πτωχή ποιότητα: Επιφάνειες με λεία τοιχώματα ή έντονα αποσαθρωμένες. Το υλικό πλήρωσης των ασυνεχειών είναι γωνιώδη θραύσματα.
  5. Πολύ πτωχή ποιότητα: Επιφάνειες επικαλυμμένες ε αργιλικό υλικό και λεία τοιχώματα, έντονα αποσαθρωμένες. Το υλικό πλήρωσης των ασυνεχειών είναι αργιλικό.
- A.** Τεμαχισμένη βραχόμαζα: Μη διακοπτόμενη βραχόμαζα αποτελούμενη από κυβικούς όγκους βράχου που σχηματίζονται από τρεις ορθογωνικές ομάδες ασυνεχειών.
- B.** Πολύ τεμαχισμένη βραχόμαζα: Μερικώς διακοπτόμενη βραχόμαζα αποτελούμενη από πολλαπλά στρώματα γωνιωδών βραχωδών όγκων που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες ομάδες ασυνεχειών.
- C.** Κατακερματισμένη βραχόμαζα: Ρηγματωμένη και πτυχωμένη βραχόμαζα με γωνιώδεις βραχώδεις όγκους που σχηματίζονται από πλήθος ομάδων ασυνεχειών.
- D.** Εξαλλειωμένη βραχόμαζα: Τελείως κατεστραμμένη βραχόμαζα με μίξη γωνιωδών και στρογγυλών βραχωδών κομματιών.
- E.** Φολιδωμένη / σχιστοποιημένη βραχόμαζα: Λεπτά φολιδωμένη ή σχιστοποιημένη, τεκτονικά διατμημένα ασθενή πετρώματα. Η έντονη σχιστοποίηση υπερισχύει σε οποιαδήποτε άλλη ομάδα ασυνεχειών, έχοντας ως αποτέλεσμα την πλήρη έλλειψη τεμαχίων.

Πίνακας 6. Εκτίμηση της μονοαξονικής αντοχής ακεραίου πετρώματος στο πεδίο					
Βαθμός	Χαρακτηρισμός	Μονοαξονική αντοχή(MPa)	Δείκτης Σημειακής φόρτισης(MPa)	Εκτίμηση αντοχής στο πεδίο	Παραδείγματα
R6	Εξερετικά σκληρό	1 250	1 10	Τα δείγματα μονο επιφανειακά χαράσσονται με το γεωλογικό σφυρί	Υγιής βασάλτης, διαβάσης, γνεύσιος, γρανίτης, χαλαζίτης

R5	Πολύ σκληρό	100–250	4–10	Χρειάζονται αρκετά κτυπήματα με το γεωλογικό σφυρί για να σπάσουν τα δείγματα	Αμφιβολίτης, ψαμμίτης, βασάλτης, γάββρος, γνεύσιος, γρανοδιორίτης, ασβεστόλιθος, μάρμαρο, ρυόλιθος, υφαιστειακός τόφος
R4	Σκληρό	50–100	2–4	Χρειάζονται πολλά περισσότερα κτυπήματα με το γεωλογικό σφυρί για να σπάσουν τα δείγματα	Ασβεστόλιθος, μάρμαρο, φυλλίτης, ψαμμίτης, σχιστόλιθος
R3	Μέσης σκληρότητας	25–50	1–2	Το δείγμα δεν μπορεί να απολετηθεί με μαχαιρίδιο τσέπης, μπορεί όμως να σπάσει με μια σφυριά.	Αργιλικός σχηματισμός, ιλυόλιθος, λιγνίτης, σκυρόδεμα, αργιλικός σχιστόλιθος
R2	Μαλακό	5–25		Μπορεί να απολετηθεί, δύσκολα, με μαχαιρίδιο τσέπης. Σημάδι μικρού βάθους με σταθερό κτύπημα με την αιχμηρή πλευρά του γεωλογικού σφυριού	Κιμωλία, ορυκτό άλας.
R1	Πολύ μαλακό	1–5		Τσαλάκωμα, με σταθερό κτύπημα με το γεωλογικό σφυρί. Μπορεί να απολετηθεί με μαχαιρίδιο τσέπης.	Πολύ αποσαθρωμένα και διαβρωμένα πετρώματα
R0	Εξαιρετικά μαλακό	0.25–1		Χαράσσεται με τον αντίχειρα	Βαθύ αυλάκι με σκαρπέλο

Βαθμονόμηση σύμφωνα με τον Brown (1981) b

Δοκιμές σημειακής φόρτισης με μονοαξονική αντοχή μικρότερη των 25 MPa δίδουν αμφίβολα αποτελέσματα



Πέτρολογικός τύπος	Κατηγορία	Ομάδα	Υφή			
			<b>Αδρόκοκκα</b>	<b>Μεσόκοκκα</b>	<b>Λεπτόκοκκα</b>	<b>Πολύλεπτόκοκκα</b>
Ιζηματογενής	Κλαστικά		Κροκαλοπαγή(22)	Ψαμμίτες-19	Ιλιόλιθος-19	Συνεκτική άργιλος-4
				Γραουβάκης(18)		
	Μη κλαστικά οργανικά			Κιμωλία - 7		
				Άνθρακας (8-21)		
	Ανθρακικά		Τεκτονικόλατυποπαγές (20)	Σπαρικόσασβεστόλιθος (10)	Μικρικόσασβεστόλιθος-8	
	Χημικά			Γύψος - 16	Ανυδρίτης -13	
Μεταμορφωμένα	Μη φυλλόμορφα		Μάρμαρο - 9	Κερατόλιθος(19)	Χαλαζίτης - 24	
	Ελαφρά φυλλόμορφα		Μιγματίτης(30)	Αμφιβολίτης25-31	Μυλονίτης (6)	
	Φυλλόμορφα		Γνεύσιος - 33	Σχιστίλιθος 4-8	Ρυόλιθος (10)	Αργιλ.σχιστ 9
Πυρηγενή	Ανοιχτόχρωμα		Γρανίτης - 33		Ρυόλιθος (16)	Οψιδιανός(19)
			Γρανοδιορίτης(30)		Dacite (17)	
			Διορίτης (28)		Ανδεσίτης (19)	
	Σκουρόχρωμα		Γάββρος -27	Dolerite (19)	Basalt (17)	
	Πυροκλαστικοί τύποι		Λατυποπαγές(20)	Τεκτ. Λατυποπ. (18)	Ηφ. Τόφος (15)	

**Πίνακας 7:** Τιμές σταθεράς  $\mu_i$  αέριου πετρώματος κατά κατηγορία πετρωμάτων. Οι τιμές στις παρενθέσεις είναι κατ' εκτίμηση

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 4.1 ΣΗΡΑΓΓΑ T13A

Η σήραγγα που εξετάστηκε στην παρούσα μελέτη είναι η 13A. Το συνολικό μήκος της σήραγγας (μαζί με Cover & Cut ) είναι 845 m περίπου, ενώ το υπόγειο τμήμα του έχει μήκος 790 μ.

Τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά της τυπικής διατομής είναι οι εξής:

- Οδικό πλάτος οδοστρώματος ίσο με 11.75m, που αποτελείται από δύο λωρίδες κυκλοφορίας 3,75M πλάτος και ερείσματα 2 x 0.5m.
- Κατακόρυφο ύψος πάνω από τις λωρίδες κυκλοφορίας (ύψος χώρου κυκλοφορίας) ισούται με 5.00m.
- Βοηθητικές λωρίδες με ελάχιστο πλάτος 1.00μ και κατακόρυφο ύψος 2.50μ.
- Η στάθμη της στέψης βρίσκεται σε υψόμετρο +7,33 ώστε να υπάρχει χώρος για την τοποθέτηση του εξαερισμού και του άλλους E και M εξοπλισμού.

Όπως μπορεί να δει κανείς το μέγιστο καθαρό εσωτερικό άνοιγμα του τμήματος είναι 11.00 m, ενώ το αντίστοιχο ύψος είναι ~ 9.00m.

Η διαμήκης κλίση της σήραγγας που κυμαίνεται από +1,95% έως - 6,97% ο κατά το μήκος του ενώ υπερύψωση είναι ίση με: + 7%.

Εκτός από τα παραπάνω τα ακόλουθα χαρακτηριστικά και δομές που σχετίζονται με διατάξεις που είναι αναγκαίες για τη λειτουργία της σήραγγας έχουν επίσης εφαρμοστεί τα παρακάτω :

- Εσοχές για την τοποθέτηση πυροσβεστικών φωλιών - πίνακας έκτακτης ανάγκης (τηλέφωνα έκτακτης ανάγκης) και τον έλεγχο του συστήματος αποστράγγισης, κάθε 50 μέτρα στη δεξιά πλευρά σε σχέση με την κατεύθυνση της κυκλοφορίας (διαστάσεις 3.20m x 2.00m x μήκος ύψος βάθος 0.60μ).
- Εσοχές για τον έλεγχο του συστήματος αποστράγγισης κάθε 50 μέτρα στην αριστερή πλευρά σε σχέση με την κατεύθυνση της κυκλοφορίας (διαστάσεις: μήκος 1.20m x 1.50m x ύψος, βάθος 0.60μ).

Κανάλια καλωδίων και στις δύο πλευρές για την εγκατάσταση των E / M με ελάχιστες διαστάσεις (πλάτος 0,75 ύψος 0,70 μ), σύμφωνα με τις διατάξεις E / M.

- Σήραγγα εξόδου έκτακτης ανάγκης σε απόσταση μικρότερη των 300 m. ( θέσεις στην Χ.Θ. 59 + 338 & Χ.Θ. 59 + 638). Η σήραγγα εξόδου κινδύνου τρέχει παράλληλα με την κύρια σήραγγα προς τη περιοχή της Δυτικής Πύλης. Η σαφής απόσταση μεταξύ των δύο σήραγγων κυμαίνεται από 14m έως 23 m ως εκ τούτου δεν επηρεάζει το κεντρικό τούνελ. Το συνολικό μήκος της σήραγγας εξόδου κινδύνου είναι 535 μ περίπου και το τμήμα έχει τις ακόλουθες διαστάσεις που προτείνονται στο προκαταρκτικό σχεδιασμό: εσωτερικό πλάτος 3,50 m, ακτίνας 2,60 m, με τόξο στη καμάρα: 1,75 m

Οι θάλαμοι πρόσβασης έχουν μήκος 16 m περίπου και διαστάσεις ως εξής: (εσωτερικό πλάτος 5,20 m, το ελεύθερο ύψος 3,50 m, στη στέψη ακτίνα τόξου: 2.60 m). Ακόμα :

- σύστημα με μεμβράνη και γεωυφάσματος στεγάνωσης στο θόλο της σήραγγας.
- Μόνιμο σύστημα αποστράγγισης των υπογείων υδάτων για τη σήραγγα.
- Σκυροδέμα για την τελική επένδυση C30 / 37.

Σύμφωνα με προκαταρκτικές εκτιμήσεις για την τελική επένδυση, εκτός των λοιπών όρων του έργου σχετικά με τον σχεδιασμό (όλες τις περιπτώσεις φόρτισης συμπεριλαμβανομένης της συρρίκνωσης, αφυδάτωση του σκυροδέματος κατά τη διάρκεια της κατασκευής, οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, τις επιπτώσεις της έκρηξης, ρωγμές, κλπ), το γεγονός ότι η σήραγγα κατασκευάζεται σε σεισμικά ευαίσθητη περιοχή, λαμβάνεται υπόψη ένα τμήμα από οπλισμένο σκυρόδεμα με πάχος που κυμαίνεται από 35 έως 40 εκατοστά για τον ορισμό της γεωμετρίας εκσκαφή που τροφοδοτεί τις τάξεις στήριξης.

Στη παρακάτω φωτογραφία βλέπουμε τον αρχαιολογικό χώρο<sup>15</sup> της Θεάς Δήμητρας, για τον οποίο πάρθηκαν πρόσθετα μέτρα κατά την διάρκεια κατασκευής της σήραγγας.



**Εικόνα 35. Αρχαιολογικός χώρος Θεάς Δήμητρας, στη σήραγγα T13A.<sup>16</sup>**

<sup>16</sup> 14 η ΕΞΑΜΗΝΙΑΙΑ ΕΚΘΕΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ, Ολυμπία Οδός, 01-01 έως 30-06-2015 <http://www.olympiaodos.gr/uploads/docs/2015/08/67.pdf>



**Εικόνα 36. Πανοραμική θέα Δυτικού στομίου και κέντρο ελέγχου.**

Παραπάνω παρατηρούμε την παράλληλη σήραγγα διαφυγής αριστερά της κύριας σήραγγας. Επίσης βλέπουμε και όλα τα απαραίτητα τεχνικά έργα που έχουν πραγματοποιηθεί όπως η διαμόρφωση των πρανών πριν την σήραγγα, όσο και την διαμόρφωση πάνω από το στόμιο.



**Εικόνα 37. Τεχνικό lane cover μετά το ανατολικό στόμιο.**



**Εικόνα 38. Ανατολικό στόμιο.**



**Εικόνα 39. Πυροσβεστικές φωλιές.**

Όπως αναφέραμε παραπάνω έχουν προβλεφθεί και εγκατασταθεί όλα τα απαραίτητα μέσα προστασία όπως για την περίπτωση πυρκαγιάς.

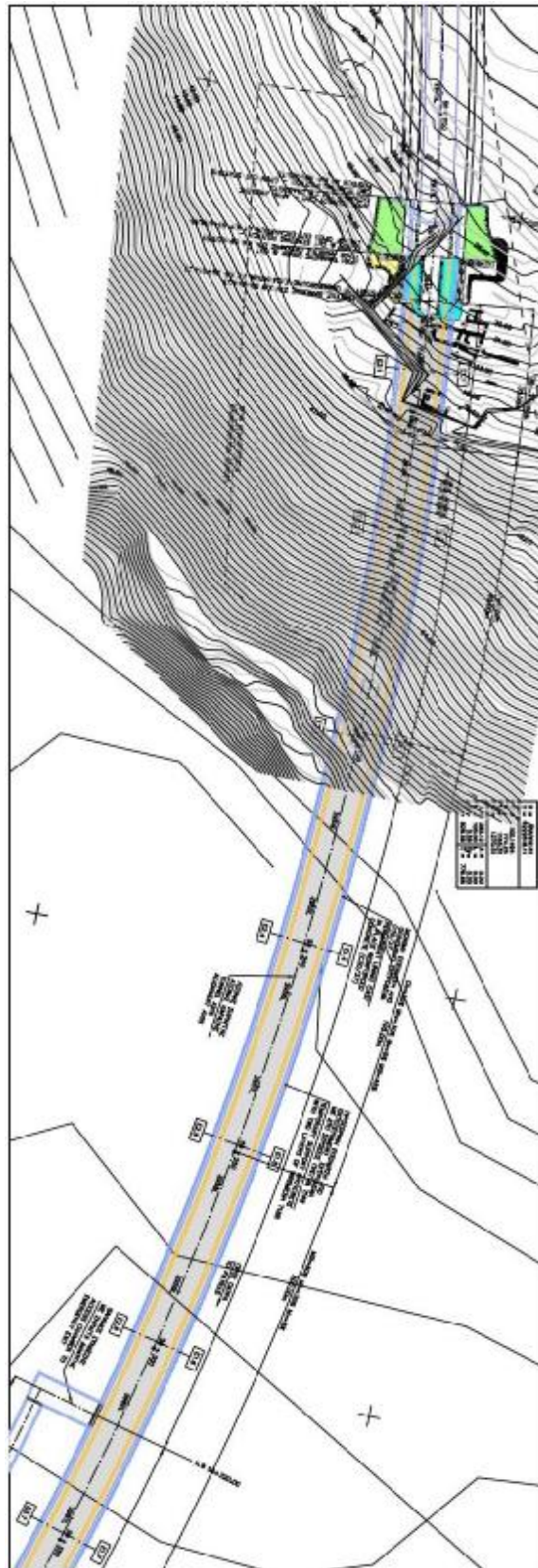


**Εικόνα 40. Εσωτερικό σήραγγας. (1)**

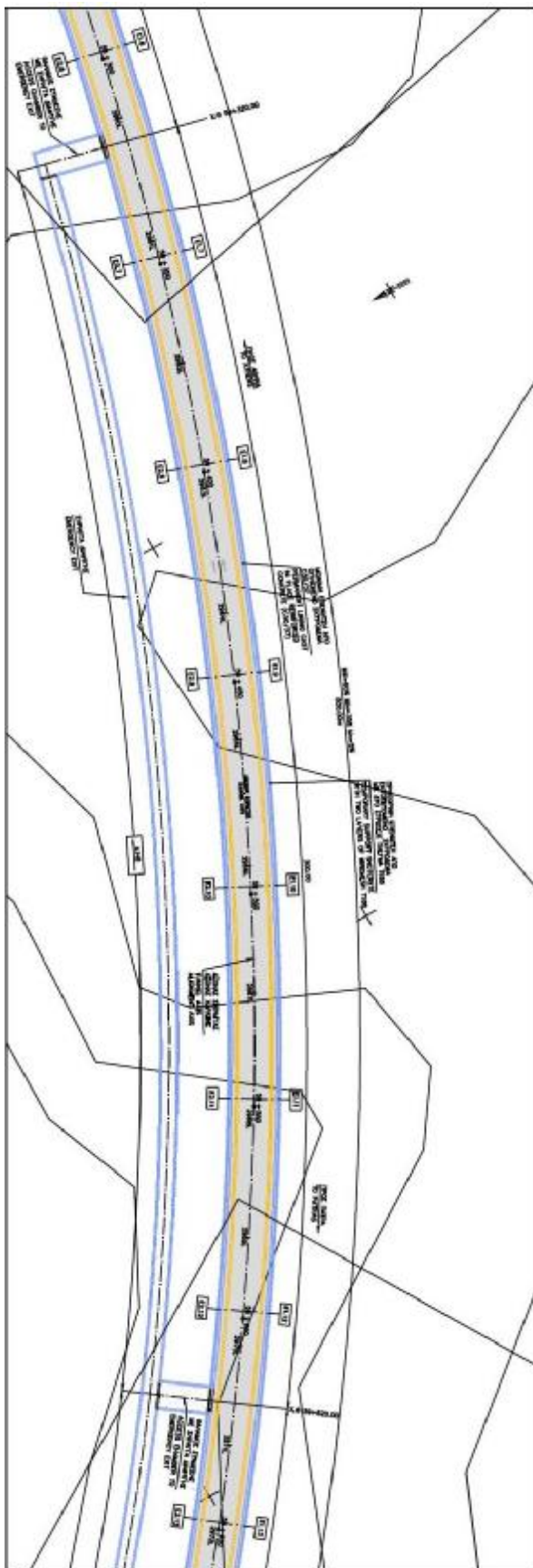


**Εικόνα 41. Εσωτερικό σήραγγας. (2)**

## 4.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ



Εικόνα 42. Τμήμα οριζοντιογραφίας. (α)



Εικόνα 43.Τμήμα οριζοντιογραφίας. (β)





Εικόνα 44.Τμήμα οριζοντιογραφίας. (γ)

## Κατηγορία στήριξης M III

### Φάση 1

1. Εφαρμογή πρώτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 4 εκατοστών
2. Τοποθέτηση πλέγματος T139
3. Τοποθέτηση δικτυωτών πλαισίων
4. Εγκατάσταση ηλώσεων στο θόλο
5. Εφαρμογή 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 εκατοστών.
6. Εγκατάσταση ηλώσεων στήριξης δικτυωτών πλαισίων
7. Τοποθέτηση πλέγματος T139
8. Εφαρμογή 4<sup>ης</sup> στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 6 εκατοστών

### Φάση 2

1. Εφαρμογή πρώτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 4 εκατοστών
2. Τοποθέτηση πλέγματος T139
3. Τοποθέτηση δικτυωτών πλαισίων
4. Εγκατάσταση ηλώσεων στα πλευρικά τοιχώματα
5. Εφαρμογή 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 εκατοστών.
6. Εγκατάσταση ηλώσεων στήριξης δικτυωτών πλαισίων
7. Τοποθέτηση πλέγματος T139
8. Εφαρμογή 4<sup>ης</sup> στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 6 εκατοστών
9. Σκυροδέτηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος δαπέδου







## Κατηγορία στήριξης M IV

### Φάση 1

Εγκατάσταση των ηλώσεων υποστήριξης μετώπου κάθε 8 εκατοστά

Τοποθέτηση των ράβδων προ ενίσχυσης στη περίμετρο του θόλου

1. Εφαρμογή πρώτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 4 εκατοστών
2. Τοποθέτηση πλέγματος T188
3. Τοποθέτηση δικτυωτών πλαισίων
4. Εγκατάσταση ηλώσεων στο θόλο
5. Εφαρμογή 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 εκατοστών.
6. Εγκατάσταση ηλώσεων στήριξης δικτυωτών πλαισίων
7. Τοποθέτηση πλέγματος T188
8. Εφαρμογή 4<sup>ης</sup> στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 6 εκατοστών
9. Τοποθέτηση πλέγματος T188 και σκυροδέτηση προσωρινού δαπέδου

### Φάση 2

1. Εφαρμογή πρώτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 4 εκατοστών
2. Τοποθέτηση πλέγματος T188
3. Τοποθέτηση δικτυωτών πλαισίων
4. Εφαρμογή 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 εκατοστών.
5. Εγκατάσταση ηλώσεων 6 μέτρων σε πεσσοειδή διάταξη /1,00-1,50 μέτρο
6. Εγκατάσταση ηλώσεων στήριξης δικτυωτών πλαισίων
7. Τοποθέτηση πλέγματος T188 και εκτόξευση τελευταίας στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 6 εκατοστών
8. Τοποθέτηση πλέγματος T188 και σκυροδέτηση δαπέδου









## Κατηγορία στήριξης M V

### Φάση 1

Πριν την έναρξη της εκσκαφής, ανά 8 μέτρα θα γίνεται η εγκατάσταση των ηλώσεων υποστήριξης του μετώπου και τοποθέτηση των δικών προπορείας στη περίμετρο του θόλου.

1. Εφαρμογή πρώτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 4 εκατοστών
2. Τοποθέτηση πλέγματος T188
3. Τοποθέτηση δικτυωτών πλαισίων
4. Εφαρμογή 2<sup>ης</sup> στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 εκατοστών.
5. Εφαρμογή 3<sup>ης</sup> στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 εκατοστών.
6. Τοποθέτηση πλέγματος T188
7. Εφαρμογή 4<sup>ης</sup> στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 6 εκατοστών
8. Τοποθέτηση πλέγματος T188 και σκυροδέτηση προσωρινού δαπέδου
9. Εγκατάσταση ηλώσεων στήριξης δικτυωτών πλαισίων (μπορεί να γίνει και μετά την εκκίνηση της εκσκαφής στο επόμενο τμήμα 8 μέτρων και πάντως πριν την εκσκαφή της φάσεως 2. Διευκρινίζεται ότι σε περίπτωση που η δεύτερη φάση δεν ακολουθεί την πρώτη όταν αυτή ολοκληρωθεί σε μήκος 50 μέτρων. Οι ηλώσεις θα πρέπει να εγκατασταθούν στη φάση αυτή και πριν η εκσκαφή της πρώτης φάσης εξελιχθεί σε μεγαλύτερο μήκος.

### Φάση 2

1. Εφαρμογή πρώτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 4 εκατοστών
2. Τοποθέτηση πλέγματος T188
3. Τοποθέτηση δικτυωτών πλαισίων
4. Εφαρμογή 2<sup>ης</sup> στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 εκατοστών.
5. Εφαρμογή 3<sup>ης</sup> στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 εκατοστών.
6. Εγκατάσταση ηλώσεων 6 μέτρων σε κάρναβο 1,00\*1,00 μέτρο
7. Εγκατάσταση ηλώσεων στήριξης δικτυωτών πλαισίων
8. Τοποθέτηση πλέγματος T188 και εκτόξευση τελευταίας στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 6 εκατοστών
9. Εκσκαφή δαπέδου
10. Τοποθέτηση πλέγματος T188 και σκυροδέτηση δαπέδου







#### 4.3 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΑΠΟ ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ



Εικόνα 54. Εκσκαφή, Α φάση.



Εικόνα 55. Εκσκαφή, Β φάση.



**Εικόνα 56. Διάτρηση αγκυρίων.**



**Εικόνα 57. Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος.**



**Εικόνα 58. Τοποθέτηση πλαισίων.**



**Εικόνα 59. Τελική επένδυση.**



## 4.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ – ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

### Εμπειρική μέθοδο Bieniawski

Δεδομένα υπολογισμού :

(τα δεδομένα της ταξινόμησης λήφθηκαν κατ' εκτίμηση από τα γεωτεχνικά στοιχεία που δόθηκαν από την αντίστοιχη μελέτη της διατομής 4-V)

1. Αντοχή συμπαγούς πετρώματος : Αντοχή σε απλή θλίψη 30 Mpa
2. RQD % : 60 %
3. Απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών : 35 cm
4. Κατάσταση διακλάσεων : ελαφριά τραχείες με άνοιγμα 0,8 mm
5. Υπόγειο νερό : ελαφρά υγρό
6. Η παράταξη είναι κάθετη στον άξονα της σήραγγας , σύμφωνα με την κλίση στους 30 μοίρες.

Τιμές βάσει Bieniawski

1. Αντοχή συμπαγούς πετρώματος : Αντοχή σε απλή θλίψη 30 Mpa → **4 βαθμοί**
2. RQD % : 60 % → **13 βαθμοί**
3. Απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών : 35 cm → **10 βαθμοί**
4. Κατάσταση διακλάσεων : ελαφριά τραχείες με άνοιγμα 0,8 mm → **25 βαθμοί**
5. Υπόγειο νερό : ελαφρά υγρό → **10 βαθμοί**
6. Η παράταξη είναι κάθετη στον άξονα της σήραγγας , ευνοϊκή σύμφωνα με την κλίση στους 30 μοίρες. → **- 2 βαθμοί**

$$\mathbf{RMR = 4 + 13 + 10 + 25 + 10 - 2 = 60 \text{ βαθμοί}}$$

Σύμφωνα με τον πίνακα Γ της ταξινόμησης έχουμε κατηγορία III. Από πίνακα 4-V για την προσωρινή υποστήριξη για αβαθείς σήραγγες έχουμε τα εξής :

1. Κυρίως ηλώσεις. Ηλώσεις με αραίωση 1,0 έως 1,5 μέτρα, πλέγμα και 30 mm εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.
2. Κυρίως εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. 100 mm στην οροφή και 50 mm στις πλευρές.
3. Κυρίως χαλύβδινα πλαίσια. Ελαφρά με αραίωση 1,5 έως 2 μέτρα

Σύμφωνα με τον πίνακα 4-VI για τρόπο διάνοιξης και μόνιμη υποστήριξη πεταλοειδούς διατομής, έχουμε :

**Τρόπος εκσκαφής :** Τμηματική εκσκαφή σε δύο φάσεις. Βήματα 1,5 με 3 μέτρα.

Μέτρα υποστήριξης :

Αγκύρια μήκους 4 μέτρων ανά 1,5 μέτρα έως 2 μέτρα στην οροφή και στις παρειές. Ενίσχυση οροφής με δομικό πλέγμα.

Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα : Πάχους 10-15 εκατοστά και πάχους 10 εκατοστά στις παρειές.

Χαλύβδινα πλαίσια : δεν χρειάζονται.

## Σύστημα GSI

Το σύστημα GSI σχεδιάσθηκε ώστε εν γένει να είναι συμβατό με το σύστημα RMR για βραχώμαζες με RMR > 40 (το παράδειγμά μας είναι 60), δηλαδή οι τιμές του δείκτη GSI είναι περίπου ίσες με τις αντίστοιχες τιμές του δείκτη RMR.

<p>ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΟΥΣ ΒΡΑΧΟΥΣ (Hoek and Marinos, 2000)</p> <p>Βασίζονται στην εμφάνιση της βραχόμαζας (περιγραφή δομής και κατάσταση επιφανείας ασυνεχειών) εκτιμάται τη μισή τιμή του GSI, χωρίς υποχρεωτικά μεγάλη ακρίβεια. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 ως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι GSI=35.</p> <p>Σημειώνεται ότι ο Πίνακας δεν εφαρμόζεται σε <b>επιφανειακά ελαττωματικές αστόθειες</b>. Στην περίπτωση που οι ασθενείς επιπέδες επιφανείες έχουν μη ευνοϊκό προσανατολισμό σε σχέση με το πρηνές εκσκαφής, τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχόμαζας. Η διατηρητική αντοχή εμφανίζεται σε βράχους που υπόκεινται σε εξασθένηση λόγω διακύμανσης της περιεκτικότητας σε υγρασία, είναι περισσότερο μειωμένη όταν υπάρχει νερό. Όταν, οι βραχώμαζες ανήκουν στις μέτριες έως πτωχές κατηγορίες και υπάρχει νερό τότε μετακινούμαστε προς τα δεξιά. Η υδροστατική πίεση λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων.</p> <p>ΔΟΜΗ</p>	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ			
	<p>ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ</p> <p>Πολύ τραχείες, μη αποσφραγισμένες επιφανείες</p>	<p>ΚΑΛΗ</p> <p>Τραχείες, ελαφρώς αποσφραγισμένες και εξαλειφμένες επιφανείες</p>	<p>ΜΕΤΡΙΑ</p> <p>Λείες, μερικής αποσφραγισμένες και εξαλειφμένες επιφανείες</p>	<p>ΠΤΩΧΗ</p> <p>Επιφανείες ολίσθησης, πολύ αποσφραγισμένες με επιφανειακή επηλιοποίηση ή υλικό πλήρωσης με γυναιδια βραχόμαζα</p>
	ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →			
<p>INTACT OR MASSIVE - Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άσπρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση</p>	90	80	70	60
<p>BLOCKY - Αδιατάρακτη βραχόμαζα με πολύ καλά αλληλοκλειδωμένα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών</p>	50	40	30	20
<p>VERY BLOCKY - Μερικώς διαταραγμένη βραχόμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών</p>	40	30	20	10
<p>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Έμμηνη στρώση ή σχισμότητα</p>	30	20	10	N/A
<p>DISINTEGRATED - Ισχυρά κερματισμένη βραχόμαζα με πτωχό αλληλοκλειδωμένο και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών και αποστρογγυλωμένων τεμαχίων</p>	20	10	N/A	N/A
<p>LAMINATED/SHEARED - Φυλλώδης ή σχισματοποιημένη και τεκτονικώς διατηρημένη ασθενής βραχόμαζα. Η ελαστικότητα εκφράζεται όταν αποσπασθούν άλλες οικογένειες ασυνεχειών εμπόδιζοντας την δημιουργία γωνιωδών τεμαχίων</p>	10	N/A	N/A	N/A
	← ΜΕΙΩΜΕΝΟ ΑΛΛΗΛΟΚΛΕΙΔΩΜΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ			

## Σύστημα Q (NGI)

$$Q = \left( \frac{RQD}{J_n} \right) \left( \frac{J_r}{J_a} \right) \left( \frac{J_w}{SRF} \right)$$

RQD = δείκτης κερματισμού της βραχόμαζας = 60 %

J<sub>n</sub> = δείκτης του αριθμού των συστημάτων των ασυνεχειών = 3

J<sub>r</sub> = βαθμός τραχύτητας των επιφανειών των ασυνεχειών = 3

J<sub>a</sub> = βαθμός εξαλλοίωσης των επιφανειών των ασυνεχειών = 1,5

J<sub>w</sub> = συντελεστής επιρροής του υπόγειου νερού = 0,66

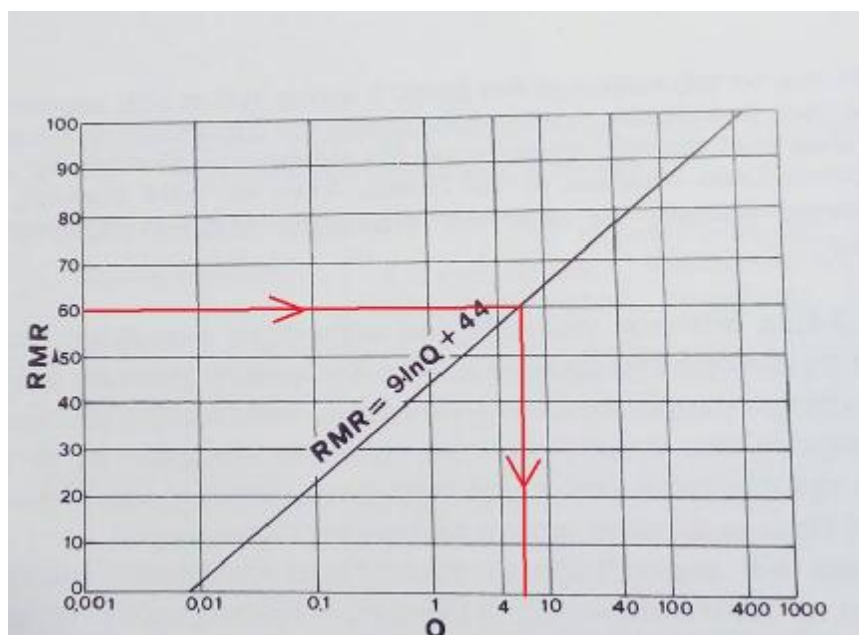
SRF = συντελεστής απομείωσης λόγω υψηλών τάσεων = 4

$Q = (60/3) * (3/1,5) * (0,66/4) = 20 * 2 * 0,165 = 6,6 \approx 7$  από παρακάτω διάγραμμα.

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΚΑΤΑ ΤΟ Q-SYSTEM

Q	Κλάση	Χαρακτηρισμός
>400	Q-Ia	εξαιρετικά καλή
100-400	Q-Ib	πάρα πολύ καλή
40-100	Q-II	πολύ καλή
10-40	Q-IIIa	καλή
4-10	Q-IIIb	μέτρια
1-4	Q-IVa	πτωχή
0.1-1	Q-IVb	πολύ πτωχή
0.01-0.1	Q-Va	πάρα πολύ πτωχή
<0.01	Q-Vb	εξαιρετικά πτωχή

Χαρακτηρισμός : 0,1 έως 1 : πολύ πτωχή. (πολύ κοντά με το σύστημα GSI)



Εικόνα 60. Σχέση RMR - Q .

## Σύγκριση εφαρμοσμένης μελέτης με εμπειρικές μεθόδους

Σύμφωνα με τα υπάρχοντα στοιχεία – πληροφορίες που είχαμε στη διάθεση μας έχουμε τις εξής διαφοροποιήσεις ανάμεσα στις εμπειρικές μεθόδους και την εφαρμογή που πραγματοποιήθηκε στο έργο :

1. Τα αποτελέσματα τόσο από τις εμπειρικές μεθόδους όσο και από την μελέτη που εφαρμόστηκε, παρατηρούμε ότι είναι αρκετά κοντά, όπως φαίνεται στα παραπάνω σχέδια και υπολογισμούς.
2. Με βάση την εμπειρική μέθοδο **Bieniawski** προέκυψε ότι απαιτείται η τοποθέτηση χαλύβδινων πλαισίων σε απόσταση 1,5 με 2,0 μ ενώ στην πραγματικότητα έχουν τοποθετηθεί πιο πυκνά σύμφωνα με την μελέτη που σας παρουσιάσαμε παραπάνω, δηλαδή ανά μέτρο.
3. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα που μας προτείνουν οι εμπειρικές μέθοδοι είναι σχεδόν το μισό από αυτό που στην πραγματικότητα έχει τοποθετηθεί.
4. Όλες οι μέθοδοι καθώς και η εφαρμοσμένη μελέτη συμφωνούν στο να γίνει η διάνοιξη σε δύο φάσεις.
5. Ως προς τα αγκύρια, το μήκος που μας παροτρύνουν οι εμπειρικές μέθοδοι έχουν μήκος 4 μέτρα, ενώ έχουν εφαρμοστεί αγκύρια μήκους 6 μέτρων και 5 μέτρων.
6. Συμφωνία υπάρχει ανάμεσα στις εμπειρικές μεθόδους και την εφαρμοσμένη μελέτη ως προς το μήκος εφαρμογής που είναι 1,5 έως 2,0 μέτρα.

Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε ότι για λόγους ασφαλείας και της σπουδαιότητας του εν λόγω έργου, τηρήθηκαν αυστηροί και υψηλοί συντελεστές ασφαλείας. Παρακάτω σας παρουσιάζουμε την σύγκριση μορφή πίνακα.(διατομή M\_V)

Μέτρα στήριξης	Bieniawski (εμπειρικές μέθοδοι)	Κατασκευή
Φάσεις κατασκευής	2	2
Χαλύβδινα πλαίσια	Ανά 1,5 έως 2,0 μέτρα	Ανά 1,0 μέτρο
Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	100 mm στην οροφή και 50 mm στις πλευρές	300 mm με δύο στρώσεις δομικού πλέγματος
Αγκύρια	μήκους 4 μέτρων ανά 1,5 μέτρα έως 2 μέτρα στην οροφή και στις παρειές	Μήκους 6,00 μ σε κάναβο 1,0*1,0 μ , μήκους 8,0 μ /1,0 μ για την στήριξη των δικτυωτών πλαισίων

## 4.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ολοκληρώνοντας της πτυχιακή εργασία μας καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα :

1. Ότι ένα τεχνικό έργο όπως η διάνοιξη μια σήραγγας (οδικής ή σιδηροδρομικής) είναι ένα αρκετά πολύπλοκο έργο.
2. Η μελέτη διάνοιξης μια σήραγγας απαιτεί πολλούς ελέγχους και να ληφθούν υπόψη αρκετοί παράμετροι.
3. Τόσο για την μελέτη όσο και την κατασκευή ενός τέτοιου έργου απαιτείται και η συμβολή άλλων ειδικοτήτων όπως : Γεωλόγου, Μηχανολόγου και ηλεκτρολόγου.
4. Οι εμπειρικές μεθόδους ταξινόμησης των εδαφών είναι πολύ σημαντικές όμως πρέπει να γίνεται καλή ερμηνεία των πληροφοριών.
5. Η διαδικασία της ταξινόμησης βάσει των εμπειρικών μεθόδων των εδαφών και η διαδικασία διάνοιξης μιας σήραγγας είναι αλληλένδετα πράγματα.
6. Η μέθοδος **Bieniawski** με την επιφύλαξη της μη ακριβούς εκτίμησης των παραμέτρων του γεωυλικού, δίνει πιο ελαφρά μέτρα προσωρινής υποστήριξης από αυτά που δόθηκαν από το μελετητή με βάση την αναλυτική λύση.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. «ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ», Ιωάννης Ν. Οικονομόπουλος Ομότιμος Καθηγητής Ε.Μ.Π.
2. «ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΜΕ ΤΗ "ΜΕΘΟΔΟ NATM», 2004, Μ. Καββαδάς.
3. <http://www.ametro.gr/page/default.asp?la=1&Id=62>, ΜΕΘΟΔΟΣ "CUT AND COVER".
4. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B7%CF%87%CE%AC%CE%BD%CE%B7%CE%BC%CE%B1%CE%B4%CE%B9%CE%AC%CE%BD%CE%BF%CE%B9%CE%BE%CE%B7%CF%82%CF%83%CE%B7%CF%81%CE%AC%CE%B3%CE%B3%CF%89%CE%BD>
5. «Γεωλογία και Τεχνικά Έργα», Δρ Γεωλογίας Γιάννης Βαβάσης, 2012, Αθήνα.
6. [http://www.ukgeohazards.info/pages/eng\\_geol/landslide\\_geohazard/eng\\_geol\\_landslides\\_classification.htm](http://www.ukgeohazards.info/pages/eng_geol/landslide_geohazard/eng_geol_landslides_classification.htm)
7. «'ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΚΑΤΩΤΕΡΟΥΣ ΜΑΡΓΑΪΚΟΥΣ ΟΡΙΖΟΝΤΕΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΑΧΑΪΑΣ.», Τσάντζαλος, ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2, Πανεπιστήμιο Πατρών.
8. «'ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΚΑΤΩΤΕΡΟΥΣ ΜΑΡΓΑΪΚΟΥΣ ΟΡΙΖΟΝΤΕΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΑΧΑΪΑΣ.», Τσάντζαλος, ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3, Πανεπιστήμιο Πατρών.
9. Ρόζος, 1991.
10. Κατσέλης, 2008.
11. Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας Π. [http://www.legah.metal.ntua.gr/pdf/tex2/2012/D3\\_P.pdf](http://www.legah.metal.ntua.gr/pdf/tex2/2012/D3_P.pdf)
12. Ε.Μ.Π. [http://www.metal.ntua.gr/uploads/3536/THEORIA\\_-\\_SPT.pdf](http://www.metal.ntua.gr/uploads/3536/THEORIA_-_SPT.pdf)
13. Σημειώσεις «Σχεδιασμού Υπογείων Έργων», Μ.Καββαδά, ΕΜΠ 2005.
14. Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας Π, [http://www.legah.metal.ntua.gr/pdf/tex2/2012/D4\\_P.pdf](http://www.legah.metal.ntua.gr/pdf/tex2/2012/D4_P.pdf)
15. <https://rocscience.com/documents/hoek/references/H1998d.pdf>, Ε. Hoek, P. Marinos, M. Benissi. 1998.
16. 14<sup>η</sup> ΕΞΑΜΗΝΙΑΙΑ ΕΚΘΕΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ, Ολυμπία Οδός, 01-01 έως 30-06-2015 <http://www.olympiaodos.gr/uploads/docs/2015/08/67.pdf>
17. Τεχνικά έργα υποδομής, Χρήστος Ν. Μαραγκός, 2006, κεφ 4, σελ 327-341.

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Φάσεις λειτουργίας TBM .....	30
Εικόνα 2. Αγγλικοί ορισμοί τμημάτων κατολίσθησης.(6).....	36
Εικόνα 3. Σκαρίφημα Ελληνικών ορισμών.(6).....	37
Εικόνα 4. Σκαρίφημα ολίσθησης. ....	38
Εικόνα 5. 1)Ενεργή 2) Πρόσφατα ενεργή (σε αναστολή) 3) Επαναδραστηριοποιημένη 4) Ανενεργές (περιπτώσεις 5 έως 8).....	40
Εικόνα 6. Ταξινόμηση κατολισθήσεων (Α).....	41
Εικόνα 7. Ταξινόμηση κατολισθήσεων (Β).....	42
Εικόνα 8. Ποσοτικά μεγέθη κατολισθήσεων.....	42
Εικόνα 9. Μορφολογική απεικόνιση του Ν. Αχαΐας .....	44
Εικόνα 10. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος.....	45
Εικόνα 11. Γεωλογική-Στρωματογραφική διάρθρωση Πελοποννήσου .....	46
Εικόνα 12. Στρωματογραφικές στήλες της ζώνης Πίνδου.(από Γ.Ε. Χριστοδούλου..	48
Εικόνα 13. Ετήσιοι ρυθμοί μετατόπισης κατά μήκος του δυτικού τμήματος του Ελληνικού Τόξου σε σχέση με την Ευρώπη, GPS μετρήσεις στο διάστημα 1993- 1998 (από Cocard et al 1999) .....	51
Εικόνα 14. Οι τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας του Ελληνικού χώρου .....	52
Εικόνα 15. Γράφημα μηνιαίου ύψους βροχής για τα έτη 1991-1996.....	55
Εικόνα 16. Καταγραφή σεισμικών επικέντρων στην ευρύτερη περιοχή της ΒΔ .....	57
Εικόνα 17. Χάρτης διαρρήξεων της ευρύτερης περιοχής της πόλης των.....	59
Εικόνα 18. Στρωματογραφική τομή της λεκάνης ιζηματογένεσης της Πάτρας.(Ρόζος 1989). ....	61
Εικόνα 19. Κυριότεροι τύποι μαργών με βάση τα ποσοστά συμμετοχής σε άργιλο και CaCO <sub>3</sub> .....	63
Εικόνα 20. Σήραγγα T13A της Ακράτας .....	64
Εικόνα 21. Σήραγγα T13A της Ακράτας .....	65
Εικόνα 22. Εδαφολογικός χάρτης της περιοχής. ....	66
Εικόνα 23. Σχηματική λιθολογική τομή των Πλειο-Πλειστοκαινικών ιζημάτων της λεκάνης Κορινθιακού Κόλπου – Ν.Αχαΐας (Ρόζος, 1991) .....	67
Εικόνα 24. Φορτία σήραγγας κατά Terzaghi.....	79
Εικόνα 25.Κατανομή τάσεων (στοά εκμετάλλευσης). ....	80
Εικόνα 26. Διαγραμματική απεικόνιση της διάταξης εκτέλεσης της δοκιμής πρότυπης διείσδυσης. ....	82
Εικόνα 27. Διάγραμμα κινδύνου ρευστοποίησης εδαφών(από το "Προσχέδιο Αντισεισμικού Κανονισμού", Τάσιος & Γκαζέτας 1979, βελτιωμένο και μετά τους σεισμούς Αρμενίας 1988, Borah Peak 1983, Kobe 1995. ....	85

Εικόνα 28. Σχέση επιτρεπόμενης φέρουσας τάσης (kN/m <sup>2</sup> ), εύρους θεμελίωσης (m) και κρούσεων Terzaghi (N). .....	85
Εικόνα 29. Σχέση υπερκειμένων (kN/m <sup>2</sup> ), σχετικής πυκνότητας (%) και κρούσεων Terzaghi (N). .....	86
Εικόνα 30. Σχέση γωνίας τριβής (φ°) και κρούσεων Terzaghi (N). .....	86
Εικόνα 31. Σχέση μεταξύ ενεργού ανοίγματος και του χρόνου διατήρησης της διατομής εκσκαφής χωρίς υποστήριξη, σύμφωνα με τις τιμές βαθμονόμησης RMR (Bieniawski, 1974) .....	94
Εικόνα 32. Ταξινόμηση της βραχώμαζας κατά το σύστημα <i>GSI</i> . .....	100
Εικόνα 33. Εκτίμηση <i>c</i> και <i>φ</i> .....	101
Εικόνα 34. Εκτίμηση Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής ( <i>GSI</i> ) .....	102
Εικόνα 35. Αρχαιολογικός χώρος Θεάς Δήμητρας, στη σήραγγα T13A. ....	107
Εικόνα 36. Πανοραμική θέα Δυτικού στομίου και κέντρο ελέγχου. ....	108
Εικόνα 37. Τεχνικό <i>lane cover</i> μετά το ανατολικό στόμιο. ....	108
Εικόνα 38. Ανατολικό στόμιο. ....	109
Εικόνα 39. Πυροσβεστικές φωλιές. ....	109
Εικόνα 40. Εσωτερικό σήραγγας. (1) .....	110
Εικόνα 41. Εσωτερικό σήραγγας. (2) .....	110
Εικόνα 42. Τμήμα οριζοντιογραφίας. (α) .....	111
Εικόνα 43. Τμήμα οριζοντιογραφίας. (β) .....	112
Εικόνα 44. Τμήμα οριζοντιογραφίας. (γ) .....	113
Εικόνα 45. Τελική διαμόρφωση. ....	115
Εικόνα 46. Φάση 1 <sup>η</sup> .....	116
Εικόνα 47. Φάση 2 <sup>η</sup> .....	117
Εικόνα 48. Τελική διαμόρφωση .....	119
Εικόνα 49. Φάση 1 .....	120
Εικόνα 50. Φάση 2 .....	121
Εικόνα 51. Τελική διαμόρφωση .....	123
Εικόνα 52. Φάση 1 .....	124
Εικόνα 53. Φάση 2 .....	125
Εικόνα 54. Εκσκαφή, Α φάση. ....	126
Εικόνα 55. Εκσκαφή, Β φάση. ....	126
Εικόνα 56. Διάτρηση αγκυρίων. ....	127
Εικόνα 57. Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος .....	127
Εικόνα 58. Τοποθέτηση πλαισίων. ....	128
Εικόνα 59. Τελική επένδυση. ....	128
Εικόνα 60. Σχέση RMR - Q .....	131