



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

**ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΩΝ ΒΡΑΧΟΜΑΖΩΝ
ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ.**

Το παράδειγμα της υδραυλικής σήραγγας στη Νήσο Λέσβο

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ

Του φοιτητή :

ΜΠΟΥΡΑ ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ

ΑΕΜ : 4745

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΜΑΡΙΝΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ – ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2016

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πριν ξεκινήσω την πτυχιακή μου εργασία αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά τα άτομα που με στήριξαν όλο αυτό το χρονικό διάστημα και που με τον τρόπο τους συνέβαλαν στην εκπόνηση αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Οι πρώτες ευχαριστίες απευθύνονται στον υπεύθυνο καθηγητή μου κ. Βασίλη Μαρίνο που δέχτηκε να συνεργαστεί μαζί μου, δίνοντάς μου μεγάλη αυτονομία στον τρόπο εργασίας αλλά και κατευθύνοντας με, εμπλουτίζοντας τις γνώσεις μου και διευρύνοντας τον τρόπο σκέψης μου και τους ορίζοντές μου. Η καθοδήγησή του, η εμπιστοσύνη που μου έδειξε, η υπομονή καθώς επίσης η βοήθεια και οι συμβουλές του, αποτελούν τους πλέον καθοριστικούς παράγοντες στην ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας.

Στη συνέχεια θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους τους διδάσκοντες του τμήματος Γεωλογίας για την ποιότητα των διαλέξεων και τα εφόδια που αποκόμισα όλα αυτά τα χρόνια σαν φοιτητής, τόσο για την διεκπεραίωση της πτυχιακής εργασίας, όσο και για την μετέπειτα επαγγελματική πορεία μου.

Κλείνοντας θέλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην οικογένειά μου και κυρίως στους γονείς μου, που μου επέτρεψαν μέσα από τον κόπο τους όλα αυτά τα χρόνια, να κάνω το όνειρο μου πραγματικότητα και να ολοκληρώσω τις σπουδές μου, καθώς επίσης και τους δικούς ανθρώπους που με στήριξαν και με ενθάρρυναν όλο αυτό το διάστημα.

Σας ευχαριστώ όλους και όλες!

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Εδώ και εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια, η φυσική περιοχή του ανθρώπου είναι η επιφάνεια της γης που αποτελεί ένα δισδιάστατο χώρο. Ωθούμενος από την ανάγκη, ο άνθρωπος προσπάθησε ανέκαθεν να ξεφύγει από αυτές τι διαστάσεις και να επεκταθεί όσο το δυνατόν περισσότερο, ψάχνοντας να χρησιμοποιήσει μία τρίτη διάσταση.

Η συνεχής εξάπλωση του αστικού τοπίου και η έλλειψη χώρου για την εγκατάσταση νέων υποδομών που έχουν ως στόχο την διευκόλυνση της καθημερινότητας, οδήγησε στην ιδέα εκμετάλλευσης του υπόγειου χώρου. Παρά την εντυπωσιακή πρόοδο που έχει σημειωθεί με την πάροδο του χρόνου, αντιμετωπίζονται δυσκολίες στον σχεδιασμό και την κατασκευή των υπόγειων έργων.

Σε αυτό το σημείο επεμβαίνει η τεχνική γεωλογία, μια επιστήμη άρρηκτα συνδεδεμένη με την κατασκευή των υπόγειων έργων, βοηθώντας στην ανάπτυξη και στην εξειδίκευση μεθόδων και τεχνικών και κατ' επέκταση και στην κατασκευή και υλοποίηση των έργων.

Στην Ελλάδα η κατασκευή των υπόγειων έργων έχει αυξηθεί πάρα πολύ τα τελευταία χρόνια και εξαιτίας της έντονης και ποικίλης γεωλογικής και τεκτονικής της σημασίας, αποτελεί ένα χώρο μελέτης με τεράστιο ενδιαφέρον για υλοποίηση των τεχνικών έργων.

Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή της Λέσβου αποτελεί μια περίπλοκη χωρική ενότητα, καθώς οι γεωλογικές διεργασίες με τις οποίες συνδέεται, προβλημάτισαν τους γεωλόγους ερευνητές στον προσδιορισμό της νήσου σε μία από τις γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι η μελέτη κατασκευής μια υπόγειας υδραυλικής σήραγγας έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, διότι θα πρέπει να ληφθούν υπόψη πάρα πολλοί παράγοντες.

Έτσι λοιπόν μέσα από αυτή τη διπλωματική θα γίνει μια προσπάθεια έτσι ώστε να αναλυθούν και να αξιολογηθούν τα τεχνικο-γεωλογικά χαρακτηριστικά που επικρατούν στην περιοχή και θα επιτευχθεί η μελέτη συμπεριφοράς της βραχόμαζας και του εδάφους χρησιμοποιώντας διάφορα εμπειρικά μοντέλα και μαθηματικές σχέσεις για μπορέσουν να προσδιοριστούν όλοι οι πιθανοί γεωλογικοί – γεωτεχνικοί κίνδυνοι που μπορούν να προκύψουν στην κατασκευή της υδραυλικής σήραγγας της Λέσβου.

Πιο συγκεκριμένα, για την σωστή τεχνικογεωλογική εκτίμηση όσον αφορά την συμπεριφορά της βραχόμαζας του οφίολιθου πραγματοποιήθηκε μία στατιστική επεξεργασία βασιζόμενη σε γεωτρητικά δεδομένα χρησιμοποιώντας ιστογράμματα σχετικής συχνότητας (%) των παραμέτρων της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής (σ_{ci}) και του μέτρου Ελαστικότητας (E_i). Επίσης χρησιμοποιήθηκαν διάγραμμα βάθους σε σχέση με τον δείκτη κερματισμού βραχόμαζας RQD, διάγραμμα βάθους σε συνάρτηση με την μονοαξονική θλιπτική αντοχή και διάγραμμα βάθους-μέτρου Ελαστικότητας. Ακόμη πραγματοποιήθηκε μία γεωτεχνική τομή για την καλύτερη κατανόηση των χαρακτηριστικών του εσωτερικού και συγκεκριμένα της συμπεριφοράς της βραχόμαζας. Προτάθηκαν ανάλογα των χαρακτηριστικών της βραχόμαζας και διαφορετικοί τεχνικογεωλογικοί τύποι βασιζόμενοι στο σύστημα ταξινόμησης της βραχόμαζας (GSI). Στη συνέχεια έγινε ο υπολογισμός της συνοχής c , γωνίας τριβής ϕ και μέτρου Παραμορφωσιμότητας E_m για κάθε τεχνικογεωλογικό τύπο βραχόμαζας μέσω του προγράμματος Rocklab 1.0. Ανάλογα των χαρακτηριστικών που προέκυψαν για κάθε ένα τύπο ξεχωριστά προτάθηκαν και οι τυπικές διατομές μέσω του συστήματος τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς TBC που αντιστοιχούν σε κάθε ένα από αυτούς και τέλος χρησιμοποιώντας τον πίνακα διατομών άμεσης υποστήριξης σηράγγων ανά κατηγορία συμπεριφοράς βραχόμαζας προτάθηκαν τα κατάλληλα μέτρα προσωρινής υποστήριξης.

ABSTRACT

For hundreds of thousands of years now, human's natural area is the earth that comprises a two dimensional space. Exhorted by his need, mankind was consistently trying to diverge and evolve as much as possible by searching a new dimension to use.

The consistent sprawl of the urban landscape along with the lack of space for new infrastructures whose goal would be the facilitation of everyday life, had lead to the idea of exploitation of the underground space. Despite the enormous progress that has been made during the last years, there are difficulties that concern the design and construction of underground structures.

That is exactly the point where technical geology, a science closely related to the construction of underground spaces, steps in by helping the development and the specialization of methods and techniques and thus, having the realization of the project as a primary goal.

Greece experienced a major advance in underground structure the last few years and due to its various geological and tectonically importance it unarguably comprises a very interesting space for further studies that will concern the realization of technical works.

As far as the area of Lesvos is concerned, it unarguably constitutes a very complicated, special unity, as the geological processes to which the island is connected has concerned geologists and fieldworkers who tried to identify the geotectonic zone to which the island belongs. Having said that, it is more than obvious that the study of the structure of an underground tunnel is extremely interesting, as there are many contributing factors that should be carefully considered.

This thesis will try to analyze and evaluate the technical as well as geological features of the area of Lesvos. The study will attempt to achieve a well-rounded study of the ground and the rock mass behavior with the use of empirical models and math equations in order to identify all the potential geological and geotechnical risks that might occur during the structure of the hydraulic tunnel of Lesvos.

More specifically, in order to have a correct geotechnical evaluation of the behavior of the rock mass called ophiolite, a statistic processing based on drilling data and the use of histograms of relative frequency, the parameters of single-axis suppression bond as well as the elastic modulus has been made. Depth charts concerning the Rock Quality Designation (RQD), as well as depth charts subject to the single-axis suppression and the elastic modulus, have also been used. In order to have a better insight into the internal characteristics as well as the rock mass behavior, a geotechnical section has been made. According to the type and the characteristics of the rock mass, a number of geotechnical types are being proposed based on Geological Strength Index (GSI) and subsequently by using the program Rocklab 1.0 an estimation of the cohesion c , the angle of friction as well as the deformability measure for every single type of rock mass has been made. According to the features of every single type, typical cross sections based on the Modified Tunnel Behavior Chart have been proposed. Finally, by using the chart of cross sections that aim to support tunnels directly, a number of proposals that concern temporary support measures have been made.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1	- ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
1.1	ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	13
1.2	ΚΙΝΗΤΡΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ	13
1.3	ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	14
1.4	ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	15
1.5	ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	15
1.6	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	17
1.7	ΠΡΟΣΔΟΚΟΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	17
2	- ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΙ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΟΦΙΟΛΙΘΩΝ.....	18
2.1	ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ.....	19
2.1.1	ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΗ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ	19
2.1.2	ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ	20
2.1.3	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΩΣΗ.....	23
2.2	ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΟΜΑΖΩΝ	24
2.2.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	24
2.2.2	ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥΣ.....	24
2.2.3	ΚΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ.....	25
2.2.4	ΑΝΤΟΧΗ ΒΡΑΧΟΥ-ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ.....	27
2.2.4.1	ΑΝΤΟΧΗ ΑΡΡΗΚΤΟΥ ΒΡΑΧΟΥ	28
2.2.4.2	ΑΝΤΟΧΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	30
2.2.5	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΚΑΤΑ GSI.....	32
3	- ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ	35
3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	36
3.2	ΓΙΑΤΙ ΥΠΟΓΕΙΩΣ ?	36
3.2.1	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΛΟΓΟΙ	36
3.2.2	ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΙ ΛΟΓΟΙ.....	42
3.2.3	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΛΟΓΟΙ	43
3.2.3.1	ΚΟΣΤΟΣ	43
3.2.3.2	ΚΙΝΔΥΝΟΙ	44
3.3	ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΧΩΡΩΝ	46
3.3.1	ΥΠΟΓΕΙΟΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	46
3.3.1.1	ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ.....	46
3.3.1.2	ΕΝΕΡΓΕΙΑ, ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ.....	48
3.3.1.3	ΛΟΙΠΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ.....	50

3.3.2	ΕΞΟΥΣΙΑ	51
3.4	ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΣΗΡΑΓΓΑ – ΣΗΡΑΓΓΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΝΕΡΟΥ	52
3.4.1	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΚΑΙ ΦΑΣΕΙΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	52
3.4.2	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ	54
3.4.2.1	Υδραυλική Σήραγγα εκτροπής ρέματος Κωσταράκου (Εγνατία Οδός, Τμήμα 3.3-3.5.1) 54	
3.4.2.2	Υδραυλική Σήραγγα αποστράγγισης για τη σταθεροποίηση κατολίσθησης Μ. Ορύγματος (Εγνατία Οδός, Τμήμα 3.3-3.5.1)	55
3.5	ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ	56
3.5.1	ΓΕΝΙΚΑ	56
3.5.2	ΜΕΘΟΔΟΣ NATM	56
3.5.2.1	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ NATM	56
3.5.2.2	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ	56
3.5.2.3	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ NATM	57
3.5.2.4	ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ NATM	57
3.5.3	ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΚΑΙ ΜΟΝΙΜΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	61
3.5.3.1	ΜΕΤΡΑ ΑΜΕΣΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	61
3.5.3.2	ΜΕΤΡΑ ΜΟΝΙΜΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	63
3.5.4	ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΜΕ ΜΗΧΑΝΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΤΡΟΠΟ (ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΟΛΟΜΕΤΩΠΗΣ ΚΟΠΗΣ) 64	
3.5.4.1	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΟΛΟΜΕΤΩΠΗΣ ΚΟΠΗΣ	64
4	- ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΝΗΣΟΥ ΛΕΣΒΟΥ – ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	66
4.1	ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΛΕΣΒΟΥ	67
4.1.1	ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΕΝΤΑΞΗΣ ΛΕΣΒΟΥ ΣΤΙΣ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ	67
4.1.2	ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	67
4.2	ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	71
4.3	ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	74
5	- ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΩΝ ΒΡΑΧΟΜΑΖΩΝ ΣΤΗ ΖΩΝΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΧΑΡΑΞΗΣ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ	76
5.1	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	77
5.1.1	ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΩΝ ΒΡΑΧΟΜΑΖΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΥΤΩΝ	80
5.1.2	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΥΝΟΧΗΣ c , ΓΩΝΙΑΣ ΤΡΙΒΗΣ ϕ ΚΑΙ ΜΕΤΡΟΥΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ E_m ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ RockLab 1.0 ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΤΥΠΟ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	81

6	- ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΩΝ ΒΡΑΧΟΜΑΖΩΝ – ΤΥΠΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	83
6.1.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	84
6.1.2	ΤΥΠΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΤΥΠΟ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ.....	85
6.1.3	ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΚΣΚΑΦΗ ΤΗΣ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΤΥΠΟ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	88
7	- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	91
8	- ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	95
9	- ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	99

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 : Χαρακτηρισμός ασυνεχειών ανάλογα της μεταξύ τους απόστασης.....	25
Πίνακας 2 : Συσχέτιση δείκτη RQD και μέτρων υποστήριξης για σήραγγα πλάτους 6 m (Deere, 1963)	27
Πίνακας 3 : Εκτιμήσεις πεδίου της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής	29
Πίνακας 4 : Τιμές της σταθεράς m_i για τον άρρηκτο βράχο (Hoek & Marinos, 2000)	30
Πίνακας 5 : Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υπόγειων κατασκευών (Carmody and Sterling, 1993, Zhao et al, 2000. σελ 54).....	45
Πίνακας 6. Διάγραμμα εκτίμησης της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς της βραχόμαζας (TBC) (Μαρίνος, 2010)	60
Πίνακας 7. Διατομές άμεσης υποστήριξης σιράγγων ανά κατηγορία συμπεριφοράς βραχόμαζας (Μαρίνος, 2010).	62
Πίνακας 8 : Αποτελέσματα μεγαλύτερου, μικρότερου, μέσου όρου και τυπικής απόκλισης για τις παραμέτρους GSI, RQD, σ_{ci} και E_i	80
Πίνακας 9 : Γεωτεχνικοί παράμετροι για κάθε τύπο βραχόμαζας ξεχωριστά.....	81
Πίνακας 10 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των γεωτεχνικών παραμέτρων για κάθε τύπο βραχόμαζας	82
Πίνακας 11. Διάγραμμα εκτίμησης της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς της βραχόμαζας (TBC) (Μαρίνος, 2010)	84
Πίνακας 12. Αναφορά Χιλιομετρικών θέσεων και δείκτη γεωλογικής αντοχής GSI για κάθε τύπο βραχόμαζας	85
Πίνακας 13: Προτεινόμενα μέτρα υποστήριξης για κάθε τεχνικογεωλογικό τύπο οφιολιθικής βραχόμαζας.	90

Λίστα εικόνων

Εικόνα 1 : Οφιολιθική ακολουθία (Coleman 1977, Ρογκάλα, 2013).....	19
Εικόνα 2 : Χάρτης με την κατανομή των οφιολιθικών μαζών στην Ελλάδα και τον ευρύτερο γειτονικό χώρο της Ανατολικής Μεσογείου. Στον Ελληνικό χώρο διακρίνονται οι δύο οφιολιθικές συραφές IRO και ERO (Robertson & Dixon, 1984).....	21
Εικόνα 3 : Σκαρίφημα που δείχνει τις παλαιογεωγραφικές συνθήκες της Μεσο-Ανω Κρητιδικής επίκλυσης στο χώρο της Υποπελαγονικής. 1: Φλυσχης Άνω Μαιστρίχιου-Ηώκαινου, 2: ασβεστόλιθοι μαργαικοί Άνω Κρητιδικού, 3: ασβεστόλιθοι με ρουδιστές, 4: επικλυσιγενές κροκαλοπαγές βάσης του Κενομανίου, 5: ψαμμίτες, 6: αργιλικόι σχιστόλιθοι, μάργες, 7: ασβεστόλιθοι λατυποπαγείς Μέσου-Άνω Ιουρασικού, 8: πλακώδεις ασβεστόλιθοι, 9: κερατολιθικές ενστρώσεις, 10: ασβεστόλιθοι "bird eye" Λιασίου, 11: ασβεστόλιθοι με φύκη, 12: ωολιθικοί ασβεστόλιθοι, 13: ασβεστόλιθοι Ammonitico Rosso Μέσου-Άνω Τριαδικού, 14: κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, 15: οφιόλιθοι και συνοδά ιζημάτα, 16: λατεριτικά σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα, 17: τεκτονική τοποθέτηση των οφιολίθων και των συνοδών ιζημάτων πριν την επίκλυση (Μουντράκης, 1985)	23
Εικόνα 4 : Υπολογισμός του δείκτη ποιότητας του πετρώματος (Deere, 1963).....	26
Εικόνα 5 : Κλίμακες του δείκτη GSI για τους τύπους βραχομαζών I έως V σε οφιολιθικά συμπλέγματα (Μαρίνος, 2010).....	34
Εικόνα 6 : Σταθμός Blaak (Ρότερνταμ – Ολλανδία)	37
Εικόνα 7 : Αυτοκινητόδρομος – Σταθμός Lidabashi (Τόκιο – Ιαπωνία)	37
Εικόνα 8 : Υπόγεια επέκταση του Μουσείου του Λούβρου (Παρίσι – Γαλλία).....	37
Εικόνα 9 : Το χωριό του Άϊ-Βασίλη (Λαπωνία – Φινλανδία	38
Εικόνα 10 : Υπόγειο νοσοκομείο σε ορυχείο άλατος για αλλεργική θεραπεία (Ural – Ρωσία).....	38

Εικόνα 11 : Υπόγεια πισίνα (Φινλανδία)	38
Εικόνα 12 : Gjonik Olympic Mountain Hall (Νορβηγία)	38
Εικόνα 13 : Ένα κομμάτι αυτοκινητόδρομου διέρχεται από ένα τούνελ, δημιουργώντας έτσι ένα φυσικό πέραςμα για ανθρώπους και ζώα χωρίς να διακόπτει τη βλάστηση (Φινλανδία)	39
Εικόνα 14 : Green Heart tunnel (Ολλανδία).....	39
Εικόνα 15 : Noord Tunnel (Αμστερνταμ – Ολλανδία).....	41
Εικόνα 16 : Trans Tokyo Bay Highway (Ιαπωνία)	41
Εικόνα 17 : Gothard Base Tunnel (Ελβετία).....	41
Εικόνα 18 : Κεντρική Αρτηρία (Βοστώνη – Η.Π.Α)	42
Εικόνα 19 : Μονάδα επεξεργασίας λυμάτων (Ελσίνκι – Φινλανδία).....	43
Εικόνα 20 : Lesotho Highlands Water Project	43
Εικόνα 21 : Ο υπόγειος αυτοκινητόδρομος M30 στη Μαδρίτη, που περιβάλλει ολόκληρη την πόλη .	47
Εικόνα 22 : Υπόγεια σιδηροδρομική σήραγγα.....	47
Εικόνα 23 : Υπόγεια διάβαση πεζών.....	47
Εικόνα 24 : Υπόγειο παρκινγκ μεγάλης χωρητικότητας, δίπλα από την Όπερα του Σίνδεϋ	47
Εικόνα 25 : Σταθμός του μετρό της Αθήνας.....	47
Εικόνα 26 : Υπόγεια σήραγγα μεταφοράς προϊόντων.....	47
Εικόνα 27 : Υπόγειος αγωγός τηλεθέρμανσης (Κοζάνη	49
Εικόνα 28 : Ηλεκτρικά καλώδια και καλώδια επικοινωνίας.....	49
Εικόνα 29 : Αντιπλημμυρικά έργα στο Τόκιο (Ιαπωνία)	49
Εικόνα 30 : Αγωγός μεταφοράς ενέργειας.....	49
Εικόνα 31 : Αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων	49
Εικόνα 32 : Νέα Υόρκη – τομή υπεδάφους (Barles και Jardel, 2005).....	50
Εικόνα 33 : Τεχνολογία υπόγειων ορυχείων (Harmin, 1997)	51
Εικόνα 34 : Εγκάρσια και διαμήκη τομή της σήραγγας.....	53
Εικόνα 35 : Γενική άποψη στομίου εισόδου	54
Εικόνα 36 : Τυπική διατομή τελικής επένδυσης	54
Εικόνα 37 : Στόμιο εισόδου σήραγγας αποστράγγισης.....	55
Εικόνα 38 : Διατομή εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης	55
Εικόνα 39. Σχηματική τεκτονική εξέλιξη του υποβάθρου της Λέσβου, που ακολούθησε την αρχική τοποθέτηση της οφιολιθικής μάζας και της μεταμορφικής σόλας: a. αρχική τοποθέτηση των οφειολίθων και της μεταμορφικής σόλας κατά το Ιουρασικό, b. D1 συμπίεστικό γεγονός που προκάλεσε την λεπίωση και συσσώρευση των καλυμμάτων κατά το Άνω Ηώκαινο - Κάτω Ολιγόκαινο, c. D2 εφελκυστικό γεγονός ημι-πλαστικών συνθηκών που προκάλεσε την ανύψωση και την κατάρρευση του ορογενούς κατά το Ολιγόκαινο - Κάτω Μειόκαινο, d. D3 εφελκυστικό γεγονός θραυσσιγενών συνθηκών που δημιούργησε τα νεοτεκτονικά βυθίσματα (Mountrakis et al., 2001).	73
Εικόνα 40 : Τύπος Ι – Τυπική διατομή.....	86
Εικόνα 41: Τύπος ΙΙ (α) – Τυπική διατομή σε βάθος < 100 μέτρων αριστερά και βάθος > 100 μέτρων δεξιά.	87
Εικόνα 42. Τύπος ΙΙ (β) – Τυπική διατομή.....	87
Εικόνα 43 : Τύπος ΙΙΙ – Τυπική διατομή.....	88
Εικόνα 44: Υπολογισμός συνοχής c, γωνίας τριβής φ και μέτρου Παραμορφωσιμότητας E_m για τον τύπο Ι βραχώμαζας.....	100
Εικόνα 45: Υπολογισμός συνοχής c, γωνίας τριβής φ και μέτρου Παραμορφωσιμότητας E_m για τον τύπο ΙΙ βραχώμαζας.σε βάθος των 100 μέτρων.	101
Εικόνα 46: Υπολογισμός συνοχής c, γωνίας τριβής φ και μέτρου Παραμορφωσιμότητας E_m για τον τύπο ΙΙ βραχώμαζας.σε βάθος των 10 μέτρων.	102
Εικόνα 47: Υπολογισμός συνοχής c, γωνίας τριβής φ και μέτρου Παραμορφωσιμότητας E_m για τον τύπο ΙΙΙ βραχώμαζας.....	103

Λίστα Γραφημάτων

Γράφημα 1 : Σχετική συχνότητα της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής σ_1 σε οφιολιθική βραχώμαζα	77
Γράφημα 2 : Σχετική συχνότητα του μέτρου Ελαστικότητας E σε οφιολιθική βραχώμαζα.....	78
Γράφημα 3 : Ταξινόμηση αποτελεσμάτων του δείκτη κερματισμού σε συνάρτηση με το βάθος σε οφιολιθική βραχώμαζα.....	78
Γράφημα 4 : Ταξινόμηση αποτελεσμάτων της μοναξονικής θλιπτικής αντοχής σ_1 σε συνάρτηση με το βάθος σε οφιολιθική βραχώμαζα	79
Γράφημα 5 : Ταξινόμηση αποτελεσμάτων του μέτρου Ελαστικότητας E_i σε συνάρτηση με το βάθος σε οφιολιθικά πετρώματα.....	80

Λίστα Χαρτών

Χάρτης 1 : Γεωλογικό μοντέλο της Λέσβου, σύμφωνα με την θεωρία του Hecht (1972).....	68
Χάρτης 2 : Γεωλογικό μοντέλο της Λέσβου σύμφωνα με τη θεωρία Κατσικάτση 1986.....	70

1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η πτυχιακή αποτελείται από τέσσερα μέρη και αρθρώνεται σε επτά κεφάλαια στα οποία γίνεται μια ολοκληρωμένη προσπάθεια αποσαφήνισης του θέματος.

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή που έχει σκοπό, να παρουσιάσει με συνοπτικό τρόπο το περιεχόμενο της εργασίας και πως αυτό δομείται για να εξυπηρετήσει τους σκοπούς μας. Σε πρώτη φάση παρουσιάζεται το κίνητρο για την επιλογή του συγκεκριμένου θέματος και της περιοχής μελέτης και γίνεται μια περιγραφή της του έργου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται ο σκοπός και τα βασικά ερωτήματα εργασίας της πτυχιακής εργασίας και κατόπιν γίνεται μια ανάλυση των δεδομένων, παρουσιάζεται η μεθοδολογία και τα προσδοκώμενα αποτελέσματα.

Το δεύτερο μέρος που απαρτίζεται από το δεύτερο και τρίτο κεφάλαιο αποτελεί τη θεωρητική προσέγγιση πάνω στην οποία στηρίζεται η ανάλυση. Στο κεφάλαιο δύο παρουσιάζεται ο γεωλογικός και λιθολογικός προσδιορισμός των οφιολίθων, το γεωλογικό μοντέλο των οφιολιθικών βραχομαζών, αλλά και τα γεωλογικά και τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά τους. Στο τρίτο κεφάλαιο, έχοντας εμπεδώσει ότι αφορά τα πετρώματα, περνάμε στο θεωρητικό κομμάτι των υπόγειων έργων. Σε πρώτη φάση αναλύονται οι παράγοντες που οδήγησαν στην εκμετάλλευση του υπόγειου χώρου και έπειτα από μια περιγραφή των κατηγοριών των υπόγειων έργων, περνάμε στο κομμάτι που αναλύεται στην πτυχιακή, στις υπόγειες σήραγγες. Ξεκινώντας από μια περιγραφή της σήραγγας, περνάμε στους μεθόδους διάνοιξης της, καθώς επίσης αναφέρονται και τα προβλήματα που ενδέχεται να παρουσιαστούν κατά τη διάρκεια της κατασκευής της.

Το τρίτο μέρος, αρθρώνεται σε τρία κεφάλαια και αποτελεί το τεχνικό κομμάτι της πτυχιακής εργασίας. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι γεωλογικές συνθήκες της περιοχής μελέτης και το γεωλογικό μοντέλο. Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η τεχνικογεωλογική αξιολόγηση των οφιολιθικών βραχομαζών κατά μήκος χάραξης του άξονα της σήραγγας μέσω και πραγματοποιείται μία στατιστική επεξεργασία η οποία βασίζεται σε δεδομένα γεωτρήσεων. Το έκτο και τελευταίο κεφάλαιο του τρίτου μέρους αφορά στην τεχνικογεωλογική συμπεριφορά των οφιολιθικών βραχομαζών, όπου έπειτα από μία στατιστική επεξεργασία των γεωλογικών παραμέτρων προτείνονται οι γεωλογικοί τύποι των οφιολίθων και οι τυπικές διατομές για κάθε έναν από αυτούς σύμφωνα με το διάγραμμα εκτίμησης της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς της βραχομάζας (TBC) (Μαρίνος, 2010). Τέλος, με βάση τον πίνακα διατομών άμεσης υποστήριξης σηράγγων ανά κατηγορία συμπεριφοράς βραχομάζας (Μαρίνος, 2010) προτείνονται τα μέτρα αντιμετώπισης για κάθε τυπική διατομή.

Στο τελευταίο μέρος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μελέτη.

1.2 ΚΙΝΗΤΡΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ

Η γεωλογία είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι στην κατασκευή τεχνικών έργων σε παγκόσμιο επίπεδο. Πρόκειται για μία επιστήμη που αποτελεί πρόβλεψη και παρέχει αν μη τι άλλο τις πρωταρχικές και σημαντικότερες πληροφορίες για την επίτευξη τεχνικών έργων. Στις μέρες μας, οι όλο και αυξανόμενες απαιτήσεις (προσβασιμότητα) καθώς επίσης και η εξέλιξη της τεχνολογίας έχουν βοηθήσει στην ανάπτυξη και στην εξειδίκευση μεθόδων και τεχνικών και κατ' επέκταση την κατασκευή και υλοποίηση των ποικίλων τεχνικών έργων που εξυπηρετούν τις ανάγκες των ανθρώπων.

Η συνεχής εξάπλωση του αστικού τοπίου, και η έλλειψη χώρου για την εγκατάσταση νέων υποδομών που έχουν ως στόχο την διευκόλυνση της καθημερινότητας κυρίως σε ότι αφορά τις μετακινήσεις αλλά και άλλου είδους εγκαταστάσεις, οδήγησε στην ιδέα εκμετάλλευσης του υπόγειου χώρου. Στις μέρες μας γίνεται μεγάλη συζήτηση για τα υπόγεια έργα τόσο σε ανεπτυγμένες όσο και σε αναπτυσσόμενες χώρες με κύριο στόχο την βελτίωση των συνθηκών ζωής και υγιεινής. Αποτελεί πλέον γεγονός ότι τα υπόγεια έργα χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο στην καθημερινότητα καθώς την εξυπηρετούν καλύτερα. Όποια και αν είναι η φύση τους, για παράδειγμα υπόγειες οδικές και σιδηροδρομικές σήραγγες, υπόγειες μαζικές μεταφορές (μετρό), δίκτυα παροχής δημοσίων υπηρεσιών (μεταφορά νερού, ηλεκτρικού ρεύματος, τηλεπικοινωνιών) καθώς επίσης και χώροι στάθμευσης, επέκταση κτηρίων κλπ., αποτέλεσμα είναι η «απελευθέρωση» του χώρου στην επιφάνεια της γης δημιουργώντας έτσι καλύτερες συνθήκες διαβίωσης.

Παρά την εντυπωσιακή πρόοδο στην κατασκευή υπόγειων έργων τα τελευταία χρόνια, εξακολουθούν να υπάρχουν εκτεταμένοι κίνδυνοι που σχετίζονται κατά κύριο λόγο με τις γεωλογικές και τεκτονικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή και τις διαφορετικές μεθόδους κατασκευής του εκάστοτε έργου.

Η εφαρμοσμένη γεωλογία που είναι από τα σημαντικότερα κομμάτια της ευρύτερης επιστήμης της γεωλογίας, ασχολείται με τις μελέτες για κατασκευή τεχνικών έργων. Εξαιτίας λοιπόν των δύσκολων συνθηκών και των πολλών δυσκολιών που προκύπτουν στην κατασκευή μεγάλων τεχνικών έργων ο κλάδος της εφαρμοσμένης γεωλογίας συνεχώς αναβαθμίζεται και εξειδικεύεται για να ανταπεξέλθει όσο το δυνατόν καλύτερα στις ανάγκες εξασφαλίζοντας μεγάλη εμπειρία και γνώση των γεωλόγων μελετητών.

Στην Ελλάδα, τα τελευταία χρόνια οι απαιτήσεις της καθημερινότητας αυξάνονται ολοένα και περισσότερο. Οι πολυάριθμες αυτές ανάγκες είχαν και συνεχίζουν να έχουν ως αποτέλεσμα την κατασκευή πολλών τεχνικών έργων. Τα περισσότερα έργα διεκπεραιώθηκαν με τεράστια επιτυχία κάτω από δύσκολες συνθήκες και αμέτρητα προβλήματα. Η χώρα μας εξαιτίας της έντονης και ποικίλης γεωλογικής και τεκτονικής σημασίας, αποτελεί ένα χώρο μελέτης με τεράστιο ενδιαφέρον τόσο για υλοποίηση των τεχνικών έργων, όσο και για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή της Λέσβου αποτελεί μια περίπλοκη χωρική ενότητα καθώς οι γεωλογικές διεργασίες με τις οποίες συνδέεται, προβλημάτισαν τους γεωλόγους ερευνητές στον προσδιορισμό της νήσου σε μία από τις γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας. Η τεκτονική της Λέσβου, τα ηφαιστειακά πετρώματα του Νεογενούς που καλύπτουν το μεγαλύτερο κομμάτι του νησιού, η προέλευση των οφιόλιθων που επωθήθηκαν, καθώς επίσης και η παρουσία της θάλασσας του Αιγαίου καθιστούν τη Λέσβο ως χώρο μείζονος σημασίας στην μελέτη και κατασκευή τεχνικών έργων. Γνωρίζοντας πλέον όλα τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι η μελέτη κατασκευής μια υπόγειας υδραυλικής σήραγγας στη νήσο Λέσβο έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τους γεωλόγους, διότι θα πρέπει να λάβουν υπόψη τους πάρα πολλούς παράγοντες στην ανάλυση τους.

1.3 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάλυση και η αξιολόγηση των τεχνικό-γεωλογικών χαρακτηριστικών των πετρωμάτων που επικρατούν στην περιοχή μελέτης. Μέσω μιας τεχνικο-γεωλογικής ανάλυσης τόσο με ποιοτικά αλλά κυρίως με ποσοτικά κριτήρια θα επιτευχθεί η μελέτη της συμπεριφοράς της βραχομαζας και του εδάφους χρησιμοποιώντας διάφορα εμπειρικά μοντέλα και μαθηματικές σχέσεις καθώς επίσης θα γίνει προσπάθεια επίτευξης και μιας σειράς επιτόπου και εργαστηριακών δοκιμών. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι ο εντοπισμός όλων των πιθανών γεωλογικών – τεχνικογεωλογικών κινδύνων που μπορούν να

προκληθούν από την κατασκευή ενός υπόγειου τεχνικού έργου και συγκεκριμένα της υπόγειας υδραυλικής σήραγγας της Νήσου Λέσβου δίνοντας λύσεις στην αντιμετώπιση τους από τεχνικής αλλά και γεωλογικής πλευράς.

Τα βασικά ερωτήματα εργασίας της παρούσας πτυχιακής αφορούν κυρίως:

- Στην αντοχή της κατασκευής υπόγειων έργων και στις πιθανές αστοχίες που ενδέχεται να υπάρξουν κατά την εκσκαφή και διάνοιξη μια σήραγγας μέσα σε οφιολιθικές βραχώμαζες.
- Στην επίλυση του προβλήματος με κύριο στόχο την επιλογή των κατάλληλων μέτρων υποστήριξης.

Η διεκπεραίωση μιας τέτοιας μελέτης είναι αρκετά δύσκολη και περίπλοκη καθώς αναμένεται να συναντήσουμε μια σειρά από προβλήματα που αφορούν είτε στην έλλειψη οικονομικών πόρων και εξοπλισμού, έτσι ώστε να αντληθούν οι κατάλληλες πληροφορίες, είτε στην πιθανότητα λανθασμένης εκτίμησης που αφορούν τις ιδιότητες του πετρώματος. Για παράδειγμα αν αυτό είναι αποσαθρωμένο, κατακεραματισμένο ή αν υπάρχουν ζώνες διάτμησης τότε μειώνουν δραματικά τις αντοχές του). Ένα ακόμα μειονέκτημα που ενδέχεται να μας περιορίσει στη συλλογή και ανάλυση των δεδομένων είναι η έλλειψη επιτόπιας έρευνας. Τα στοιχεία θα είναι περιορισμένα και συνεπώς η μελέτη θα βασιστεί κυρίως σε βιβλιογραφική έρευνα.

1.4 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η συλλογή των δεδομένων αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι ως προς την αξιοπιστία της εργασίας. Η εκπόνηση αυτής της εργασίας βασίστηκε κυρίως στην ανάλυση δευτερογενών δεδομένων. Αρχικά πραγματοποιήθηκε έρευνα σε πηγές για τυχόν παλαιότερες έρευνες που έχουν γίνει μελετώντας το συγκεκριμένο αντικείμενο έτσι ώστε να υπάρξει μια αρχική εικόνα και να επαληθευτεί η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων μας. Η συλλογή τους βασίστηκε αρχικά σε συγγράμματα και πηγές σε βιβλιοθήκες αλλά και άρθρα σε επιστημονικά περιοδικά και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μια εκτεταμένη έρευνα στο διαδίκτυο. Για την καλύτερη δυνατή εγκυρότητα των ποιοτικών δεδομένων, έγινε προσπάθεια να διασταυρωθούν οι πληροφορίες από διάφορες ανεξάρτητες πηγές. Τα δεδομένα που αφορούν το τεχνικό κομμάτι και τι μετρήσεις δόθηκαν από τον υπεύθυνο καθηγητή της πτυχιακής εργασίας.

Για την απεικόνιση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν εικόνες, χάρτες, διαγράμματα και γραφήματα. Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν σαν εργαλεία στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων μας είναι το ArcGIS Desktop 10.2.2 και το Autocad 2015.

1.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η υδραυλική σήραγγα της Νήσου Λέσβου υπάγεται στην Α΄ Φάση του έργου <<ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΡΓΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΝΗΣΟΥ ΛΕΣΒΟΥ>>. Τα αποτελέσματα της γεωτεχνικής έρευνας πραγματοποιήθηκαν για τον σχεδιασμό και την κατασκευή του συνολικού έργου και αποτελούν κοινοπραξία της ΥΔΡΟΕΞΥΓΙΑΝΤΙΚΗΣ ΕΕ και του Περιφέρειας Βασιλείου του Κωσταντίνου.

Τα έργα της Α΄ Φάσης περιλαμβάνουν το έργο φράγματος Τσικνιά και τα έργα επεξεργασίας και μεταφοράς νερού για την ύδρευση της πόλης της Μυτιλήνης και των περιοχών της Καλλονής και της Αγίας Παρασκευής.

Συγκεκριμένα, στα προς μελέτη έργα της Α΄ Φάσης περιλαμβάνονται τα ακόλουθα:

- Το χωμάτινο με αργιλικό πυρήνα φράγμα ύψους 38 m που προβλέπεται να κατασκευαστεί σε κατάλληλη θέση - στένωμα επί του ομώνυμου χειμάρρου, στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής, σε απόσταση περίπου 3 Km από τον ομώνυμο οικισμό και περίπου 5 Km ανάντη της εκβολής του χειμάρρου στον κόλπο της Καλλονής.
- Τα συνοδά έργα του φράγματος με τον υπερχειλιστή μήκους στέψης 50 m, τη σήραγγα εκτροπής - υδροληψίας μήκους 240 m περίπου, το αυχενικό ανάχωμα ύψους 3 m περίπου και μήκους 140 m.
- Τα λοιπά απαιτούμενα έργα αποστράγγισης, στεγανοποίησης, οδοποιίας και διευθέτησης.
- Τον αγωγό μεταφοράς αδιύλιστου νερού από το φράγμα Τσικνιά στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Νερού (EEN) μήκους 1,6 Km περίπου.
- Τις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Νερού (EEN) του ταμιευτήρα Τσικνιά.
- Τον αγωγό μεταφοράς επεξεργασμένου νερού από τις EEN προς τη Μυτιλήνη συνολικού μήκους 41,7 Km εκ των οποίων 4 Km σε σήραγγα.
- Τον αγωγό μεταφοράς επεξεργασμένου νερού από τις EEN προς την Καλλονή μήκους 3,7 Km περίπου.
- Τον αγωγό μεταφοράς επεξεργασμένου νερού από τις EEN προς την Αγία Παρασκευή μήκους 8,5 Km περίπου.
- Τις τέσσερις (4) Δεξαμενές: Δεξαμενή Εξόδου Σήραγγας ΔΝ01, Δεξαμενή Διανομής ΔΝ02, Δεξαμενή Καλλονής ΔΝ03 και Δεξαμενή Αγίας Παρασκευής ΔΝ04 και τα δύο (2) Αντλιοστάσια: Α-1 & Α-2.

Για τον λεπτομερέστερο και καλύτερο σχεδιασμό του έργου πραγματοποιήθηκαν διάφορες γεωτρήσεις και φρέατα τόσο στην περιοχή του φράγματος όσο και στις υπόλοιπες περιοχές του συνολικού έργου. Όσον αφορά την υδραυλική σήραγγα της νήσου Λέσβου πραγματοποιήθηκαν συγκεκριμένα τρεις γεωτρήσεις, η Μ-2 η οποία αναφέρεται στην περιοχή στομίου εισόδου σήραγγας μεταφοράς νερού από τις EEN προς τη Μυτιλήνη, η Μ-4 η οποία αναφέρεται στην περιοχή σώματος σήραγγας μεταφοράς νερού από τις EEN προς τη Μυτιλήνη καθώς επίσης και η Μ-5 που αναφέρεται στην περιοχή στομίου εξόδου σήραγγας μεταφοράς νερού από τις EEN προς τη Μυτιλήνη. Τα δεδομένα των γεωτρήσεων αυτών αποτελούν ο δείκτης ποιότητας του πετρώματος (RQD) όπου αξιολογείται μέσω αυτού ο βαθμός κερματισμού της βραχώμαζας καθώς επίσης και ο γεωλογικός δείκτης αντοχής (GSI) που αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στον διαχωρισμό-ταξινόμηση της βραχώμαζας. Ακόμη πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές δοκιμές στα βραχώδη δοκίμια των οφιολίθων όπως η είναι η δοκιμή μονοαξονικής θλίψης για τον προσδιορισμό της μεταβλητής σ_{ci} (μονοαξονική θλιπτική αντοχή) και E_i (μέτρο της Ελαστικότητας). Με βάση των αποτελεσμάτων αυτών των παραμέτρων και την ταξινόμηση της βραχώμαζας εκτιμήθηκε η τεχνικογεωλογική συμπεριφορά των οφιολιθικών βραχομαζών της νήσου Λέσβου και προτάθηκαν τα μέτρα υποστήριξης για κάθε συμπεριφορά βραχώμαζας.

1.6 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η διεκπαιρέωση αυτής της μελέτης πραγματοποιείται ύστερα από μία συγκεκριμένη μεθοδολογία η οποία αποτελείται από μία σειρά αναλύσεων. Σε πρώτη φάση πραγματοποιείται η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων που λήφθηκαν από τις γεωτρήσεις και τις εργαστηριακές μελέτες. Η επεξεργασία αυτή βασίστηκε στο πρόγραμμα Excel από το οποίο προέκυψαν τα κατάλληλα ιστογράμματα και διαγράμματα τα οποία έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην διάκριση των τεχνικογεωλογικών τύπων οφιολιθικών βραχομαζών. Χρησιμοποιήθηκαν τα ιστογράμματα σχετικής συχνότητας (%) των παραμέτρων της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής (σ_{ci}) και του μέτρου Ελαστικότητας (E_i) καθώς επίσης και διάγραμμα βάθους σε σχέση με τον δείκτη κερματισμού βραχόμαζας RQD, διάγραμμα βάθους σε συνάρτηση με την μονοαξονική θλιπτική αντοχή και διάγραμμα βάθους-μέτρου Ελαστικότητας.

Στη συνέχεια μέσω του προγράμματος RockLab 1.0 το οποίο αποτελεί μία συντόμευση της επίλυσης του κριτηρίου Hoek and Brown υπολογίστηκε η συνοχή (c) και η γωνίας τριβής (ϕ°) για κάθε τεχνικογεωλογικό τύπο βραχόμαζας. Ο υπολογισμός των παραμέτρων αυτών βασίστηκε στη μονοαξονική θλιπτική αντοχή σ_{ci} , στον δείκτη γεωλογικής αντοχής GSI και στη σταθερά m_i . Ακόμη σημαντικές παράμετροι αποτελούν το φαινόμενο βάρος γ (0.027 MN/m^3 για τους περιδοτίτες) καθώς και το βάθος της σήραγγας (σε m) καθώς επίσης και το μέτρου Ελαστικότητας (E_i) για τον υπολογισμό του μέτρου παραμορφωσιμότητας (E_m).

Ακόμη, ανάλογα τον τύπο που προέκυψε για την οφιολιθική βραχόμαζα κατά την εκσκαφή της υπόγειας σήραγγας εκτιμήθηκε και η συμπεριφορά αυτής δίνοντας έτσι στον καθένα την κατάλληλη τυπική διατομή μέσω του διαγράμματος εκτίμησης της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς της βραχόμαζας (TBC). Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκε για μεγάλα βάθη ~ 100 μέτρων που αφορούν τον κύριο άξονα κατά μήκος της υπόγειας υδραυλικής σήραγγας και μικρά επιφανειακά ~ 10 μέτρων που αφορούν τα στόμια εισόδου και εξόδου.

Τέλος με βάση τις τυπικές διατομές προτάθηκαν τα κατάλληλα μέτρα υποστήριξης για κάθε τεχνικογεωλογικό τύπο που προέκυψε τα οποία επιλέχθηκαν από τον πίνακα διατομών άμεσης υποστήριξης σήραγγων ανά κατηγορία συμπεριφοράς βραχόμαζας.

1.7 ΠΡΟΣΔΟΚΟΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

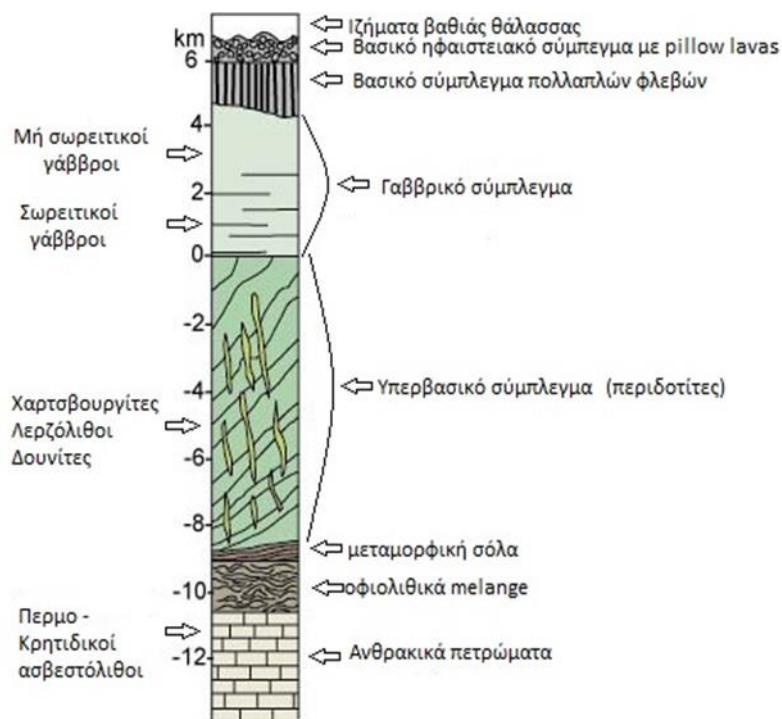
Τα προσδοκώμενα αποτελέσματα της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι η εξαγωγή έγκυρων συμπερασμάτων όσον αφορά τις τεχνικογεωλογικές ιδιότητες των οφιολιθικών πετρωμάτων της νήσου Λέσβου στον σχεδιασμό και την κατασκευή υπόγειας υδραυλικής σήραγγας μεταφοράς νερού από τις Εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού (EEN) προς τη Μυτιλήνη. Τα συμπεράσματα αυτά βασίζονται στην συστηματική και εκτενή ανάλυση δεδομένων τα οποία προέρχονται από την περιοχή μελέτης. Έπειτα από την ομαδοποίηση των δεδομένων και την ανάλυσή τους η οποία προέρχεται από την στατιστική επεξεργασία διακρίνονται οι τεχνικογεωλογικοί τύποι των οφιολιθικών βραχομαζών της περιοχής μελέτης, η τεχνικογεωλογική τους συμπεριφορά καθώς επίσης και τα μέτρα υποστήριξης. Με βάση τις διεργασίες αυτές προκύπτει μία σειρά συμπερασμάτων τα οποία αφορούν την τεχνικογεωλογική συμπεριφορά των οφιολιθικών βραχομαζών ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν κατά θέσεις όσον αφορά το βάθος και την ποιότητα αλλά και τη σχέση αυτών με την κατάλληλη επιλογή μέτρων υποστήριξης.

2 - ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΙ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΟΦΙΟΛΙΘΩΝ

2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

2.1.1 ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΗ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ

Ο όρος οφιόλιθος χρησιμοποιήθηκε από πολλούς επιστήμονες και αποτέλεσε έναν αμφιλεγόμενο όρο εφόσον του δόθηκαν κατά καιρούς διαφορετικές σημασίες, αποτελώντας έτσι έναν γεωλογικό όρο που έχει παρερμηνευτεί αρκετά. Αρχικά ο όρος χρησιμοποιήθηκε από τον Brogmart (1927) για την περιγραφή των σερπεντινών και οφείλει την ονομασία του στην ελληνική λέξη όφις που σημαίνει φίδι, αφού το πρασινωπό χρώμα του σερπεντίνη θυμίζει ερπετό. Ο Steinmann (1927) χρησιμοποίησε τον όρο οφιόλιθο για να συνδέσει τους περιδοτίτες με τους γάββρους και τις διαβάσεις (γνωστή και ως τριάδα του Steinmann) που συνδέεται με ιζήματα βαθιάς θάλασσας, όρος που έγινε αποδεκτός και από τους Ευρωπαίους γεωεπιστήμονες. Εξαιτίας των πολλών εννοιών και διαφορετικών απόψεων και μελετών για τους οφιόλιθους (όπως η θεωρία της κλασματικής κρυστάλλωσης του Bowen (1927) και Bowen και Tuttle (1949), μία σειρά μελετών του Brunn (1940, 1960 και 1961) που πραγματοποιήθηκαν στην Ελλάδα καθώς και η έκδοση του τόμου του Wyllie) αλλά και για να ξεκαθαριστεί πλέον ο όρος, πραγματοποιήθηκε το συνέδριο «Peniose Conference της Geological Society of America». Αυτό σε συνδυασμό με την άποψη του Wegener (1912) περί της κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών είχε ως αποτέλεσμα να δοθεί ο όρος οφιόλιθος που ισχύει μέχρι και σήμερα και να αποσαφηνιστεί η αλλόχθονη φύση του. Έτσι στην εικόνα 1 παρατηρείται το οφιολιθικό σύμπλεγμα χωρισμένο σε ενότητες από την κατώτερη προς την ανώτερη:



Εικόνα 1 : Οφιολιθική ακολουθία (Coleman 1977, Ρογκάλα, 2013)

- Υπερβασικά συμπλέγματα που περιλαμβάνουν χαρτσβουργίτες, λερζόλιθους και δουνίτες εμφανιζόμενα με μεταμορφική υφή (μεταμορφικοί τεκτονίτες) οι οποίοι περιέχουν συμπαγείς μάζες χρωμιτικών κοιτασμάτων.
- Γαββρικά συμπλέγματα που περιλαμβάνουν περιδοτίτες, πυροξενίτες, γάββρους, διορίτες και πλαγιογρανίτες, συνήθως με σωρευτικούς χαρακτήρες.
- Βασικό σύμπλεγμα πολλών φλεβών αποτελούμενο από διαβασικές φλέβες και σώματα.
- Βασικό ηφαιστειακό σύμπλεγμα με προσκεφαλοειδής δομές γνωστά ως pillow lavas.
- Εναλλαγές πελαγικών ιζημάτων με λάβες.
- Ιζηματογενές σειρές βαθιάς θάλασσας.

Το 1982 ο Moores πρόσθεσε στην παραπάνω στρωματογραφική στήλη τα οφιολιθικά mélanges ή διαφορετικά οφιολιθικά μείγματα όπου πρόκειται για μεταμορφωμένα πετρώματα υψηλής θερμοκρασίας που βρίσκονται στη βάση του συμπλέγματος και μπορούν να συνδέονται ακόμη και με νηριτικά ιζήματα.

2.1.2 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

Όσον αφορά τον Ελληνικό χώρο η προέλευση και η τεκτονική τοποθέτηση των οφιολίθων αποτελούν ένα σύνθετο κομμάτι της γεωτεκτονικής εξέλιξης καθώς πολλές απόψεις που εκφράστηκαν από γεωλόγους μελετητές διαφωνούσαν. Επειδή η τοποθέτηση των οφιολίθων σχετίζεται άμεσα με τη γεωδυναμική εξέλιξη της Τυθής, αποτελούν δείκτες προεύλεψης κατεστραμμένης ωκεάνιας λιθόσφαιρας και χρησίμευσαν στην αναζήτηση των θέσεων και του χρόνου που έλαβαν μέρος οι παλαιο-ωκεάνιες περιοχές αφού οι εμφανίσεις τους είναι συνεχόμενες γραμμικές και ονομάζονται οφιολιθικές συρραφές.

Οι οφιολιθικές εμφανίσεις του Ελληνικού χώρου απαρτίζονται από δύο κύριες οφιολιθικές λωρίδες οι οποίες είναι οι : (IRO) η εσωτερική οφιολιθική λωρίδα η οποία αναπτύσσεται κατά μήκος της ζώνης Αξίου και η (ERO) η εξωτερική οφιολιθική λωρίδα η οποία βρίσκεται κατά μήκος της Υποπελαγονικής ζώνης και της ζώνης Πίνδου. Οι οφιολιθικές μάζες της Παιονίας και της Αλμωπίας στη εσωτερική λωρίδα και οι οφιολιθικές μάζες Όθρυς, Βούρινου και Βόρειας Πίνδου στην εξωτερική μπορούν να χαρακτηριστούν ως τυπικές μάζες-υπολείμματα ωκεάνιας λιθόσφαιρας αφού αποτελούν μία σχεδόν από όλα τα μέλη συγκροτημένη οφιολιθική ακολουθία.

Οι οφιολιθικές λωρίδες IRO και ERO συνεχίζονται και σε γειτονικές περιοχές του Ελληνικού χώρου. Μάλιστα οι οφιολιθικές λωρίδες στην περιοχή της Γιουγκοσλαβίας φαίνεται να συνενώνονται σε μία οφιολιθική λωρίδα σε αντίθεση με την Μικρά Ασία και Κύπρο όπου οι οφιολιθικές λωρίδες μπορεί να σχηματίζουν και περισσότερες από δύο, πιθανών τέσσερις.

Ο προβληματισμός όμως των γεωλόγων που ασχολήθηκαν με την προέλευση και την τεκτονική τοποθέτηση των οφιολίθων σε σχέση με τον καθορισμό της πραγματικής θέσης της Τυθής ήταν ποια από τις δύο οφιολιθικές λωρίδες ήταν αυτή που σηματοδοτούσε το κλείσιμο του παλιού ωκεανού. Η πλειοψηφία των απόψεων αυτών χαρακτήριζε ως κύρια οφιολιθική συρραφή την εσωτερική οφιολιθική λωρίδα IRO και το πρόβλημα εντοπίστηκε στην προέλευση της εξωτερικής οφιολιθικής λωρίδας της Υποπελαγονικής-Πίνδου για την οποία εκφράστηκαν δύο ομάδες απόψεων (Μουντράκης, 2010):

1. Σύμφωνα με τους Zimmenman (1972), Zimmerman & Ross (1976), Bernouli & Laubscher (1972), Vergely (1975) και Schermer (1993), η εξωτερική οφιολιθική λωρίδα ERO είχε προέλευση τη ζώνη Αξιού η οποία ήταν ο παλιός ωκεανός και από' κει επωθήθηκαν προς τα δυτικά στην Υποπελαγονική-Πίνδο ενώ υπερκάλυσαν την Πελαγονική ζώνη.
2. Σύμφωνα με έρευνες που πραγματοποίησαν στους οφιόλιθους του Βούρινου και Όθρυς οι Moores (1969), Hynes et al (1972), Smith & Woodcock (1976) Smith et al (1979) διατυπώθηκε η άποψη ότι η εξωτερική οφιολιθική λωρίδα προήρθε από μία ωκεάνια περιοχή που βρισκόταν δυτικά ή νοτιοδυτικά της Πελαγονικής ζώνης από εκεί όπου τοποθετήθηκαν και πάνω στην Πελαγονική.

Στην εικόνα που ακολουθεί απεικονίζεται ο χάρτης με την κατανομή των οφιολιθικών μαζών στην Ελλάδα και στις γειτονικές χώρες.



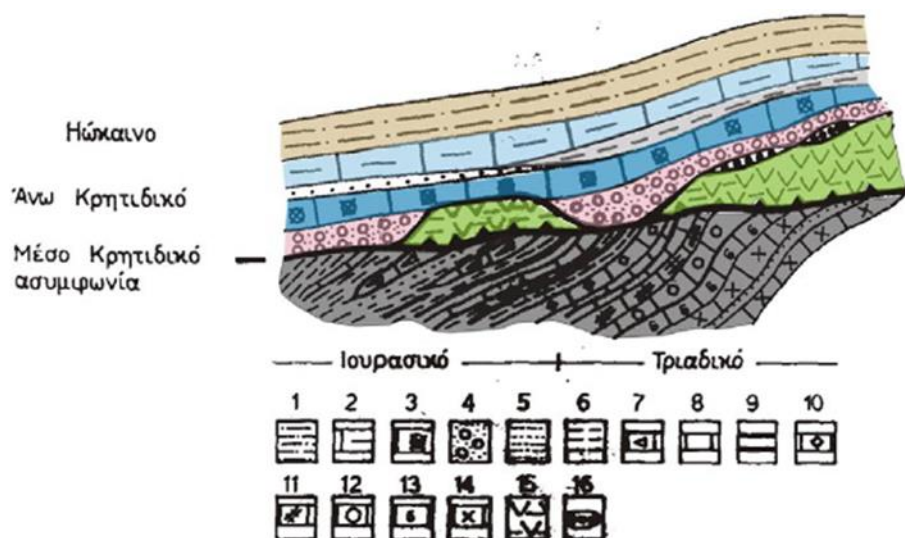
Εικόνα 2 : Χάρτης με την κατανομή των οφιολιθικών μαζών στην Ελλάδα και τον ευρύτερο γειτονικό χώρο της Ανατολικής Μεσογείου. Στον Ελληνικό χώρο διακρίνονται οι δύο οφιολιθικές συραφές ΙΡΟ και ΕΡΟ (Robertson & Dixon, 1984)

Βάση αυτών των απόψεων διαπιστώθηκε ότι υπήρχε μόνο μία ωκεάνια περιοχή από την βύθιση και καταστροφή από την οποία προέρχονται και οι οφιόλιθοι του Ελληνικού χώρου. Επειδή όμως αυτό δεν εξηγεί σε ικανοποιητικό βαθμό την διπλή τοποθέτηση των οφιολιθικών μαζών αλλά ούτε και όλα τα μαγματικά και μεταμορφικά φαινόμενα διατυπώθηκε η άποψη ότι υπάρχουν δύο τουλάχιστον ωκεάνιες περιοχές, ανατολικά και δυτικά της Πελαγονικής από τις οποίες προήλθαν οι οφιόλιθοι στα περιθώρια της Πελαγονικής. Η άποψη αυτήν στηρίχτηκε στην πορεία από διάφορες γεωλογικές παρατηρήσεις. Συγκεκριμένα στο δυτικό περιθώριο της Πελαγονικής οι οφιόλιθοι επωθήθηκαν πάνω στο ανθρακικό κάλυμμα του περιθωρίου με κατεύθυνση από ΔΝΔ προς ΑΒΑ.

Ακόμη παρατηρήθηκε αύξηση του βάθους στις γεωλογικές συνθήκες από τα ανατολικά προς τα δυτικά που σημαίνει πως είναι πιο πιθανή η ύπαρξη μιας ωκεάνιας λεκάνης στα Δυτικά της Πελαγονικής απ' όπου και προήλθαν οι οφιόλιθοι της εξωτερικής λωρίδας. Τέλος, έπειτα από τη μελέτη των Περμοτριάδικών μετακλαστικών – ηφαιστειοϊζηματογενών πετρωμάτων του Δυτικού περιθωρίου της Πελαγονικής παρατηρήθηκε ότι από το Περμιο-Τριαδικό δημιουργήθηκαν συνθήκες ηπειρωτικής κατωφέρειας. Αυτό σημαίνει πως σηματοδοτείται η ηπειρωτική διάρρηξη η οποία εξελίχθηκε στη συνέχεια σε άνοιγμα ωκεάνιας περιοχής Δυτικά της Πελαγονικής.

Με ανάλογες διεργασίες προέκυψε και η άποψη για την τεκτονική τοποθέτηση των οφιολιθικών μαζών πάνω στα ανθρακικά πετρώματα του περιθωρίου με επώθηση από την ζώνη Αξιού. Έτσι σύμφωνα με εργασίες των Hynes (1974), Smith et al (1975, 1979), Boccaletti (1979), Nisbet (1984), Mountrakis (1981, 1982, 1983, 1986), Mountrakis et al (1983, 1987), Vergely (1984), Brown & Robertson (2004), Sharp & Robertson (2006) πιστοποιήθηκε η διτή προέλευση των οφιολίθων από δύο ωκεάνιες περιοχές που βρισκόταν εκατέρωθεν της Πελαγονικής. Ακόμη οι εργασίες αυτές έδειξαν πως οι δύο τεκτονικές τοποθετήσεις πραγματοποιήθηκαν περίπου την ίδια χρονική περίοδο κατά το άνω Ιουρασικό – κάτω Κρητιδικό, κατά την ορογενετική περίοδο.

Αυτό διαπιστώνεται ακόμη και με πολλές ραδιοχρονολογήσεις που πραγματοποιήθηκαν και στις δύο οφιολιθικές λωρίδες ΕΡΟ και ΙΡΟ οι οποίες δείξαν ως επί το πλείστον παρόμοιες ηλικίες σχηματισμού, περίπου 160-180 εκατομμύρια χρόνια που αντιστοιχεί στην περίοδο Κάτω-Μέσου Ιουρασικού. Στην εικόνα 3 φαίνεται η στρωματοτεκτονική στήλη της Υποπελαγονικής ζώνης και διακρίνεται η τοποθέτηση των οφιολιθικών πετρωμάτων πριν την Μέσο-Άνω Κρητιδική επίκλυση.



Εικόνα 3 : Σκαρίφημα που δείχνει τις παλαιογεωγραφικές συνθήκες της Μεσο-Ανω Κρητιδικής επίκλυσης στο χώρο της Υποπελαγονικής. 1: Φλυσχης Άνω Μαιστρίχιου-Ηώκαινου, 2: ασβεστόλιθοι μαργαικοί Άνω Κρητιδικού, 3: ασβεστόλιθοι με ρουδιστές, 4: επικλυσιογενές κροκαλοπαγές βάσης του Κενομανίου, 5: ψαμμίτες, 6: αργιλικοί σχιστόλιθοι, μάργες, 7: ασβεστόλιθοι λατυποπαγείς Μέσου-Ανω Ιουρασικού, 8: πλακώδεις ασβεστόλιθοι, 9: κερατολιθικές ενστρώσεις, 10: ασβεστόλιθοι "bird eye" Λιασίου, 11: ασβεστόλιθοι με φύκη, 12: ωολιθικοί ασβεστόλιθοι, 13: ασβεστόλιθοι Ammonitico Rosso Μέσου-Ανω Τριαδικού, 14: κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, 15: οφιόλιθοι και συνοδά ιζημάτα, 16: λατεριτικά σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα, 17: τεκτονική τοποθέτηση των οφιολίθων και των συνοδών ιζημάτων πριν την επίκλυση (Μουντράκης, 1985)

2.1.3 ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΩΣΗ

Τα υπερβασικά πετρώματα όταν έρθουν σε επαφή με το νερό σε κάποιες περιπτώσεις υφίστανται το φαινόμενο της σερπεντινίωσης. Αν η διαδικασία της σερπεντινίωσης πραγματοποιηθεί σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση τότε αναφέρεται ως μεταμόρφωση ή μετασώματωση. Σε περιπτώσεις όπου πραγματοποιείται σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας και πίεσης τότε χαρακτηρίζεται ως εξαλλοίωση. Η σειρά κατάταξης των υπερβασικών πετρωμάτων στα οποία μπορεί να επιδράση η εξαλλοίωση από το ευκολότερο στο πιο δύσκολο είναι ο ολιβίνης, ορθοπυρόξενος, πλαγιόκλαστο, κλινοπυρόξενος. Στα σερπεντινωμένα πετρώματα, οι φυσικοδυναμικές και μηχανικές ιδιότητες εξαρτώνται κυρίως από το βαθμό σερπεντινίωσης και δευτερευόντως από τον ιστό και την υφή. Ο βαθμός σερπεντινίωσης είναι ανάλογος του πορώδους και αντιστρόφως ανάλογος της πυκνότητας. Αυτό σημαίνει πως αν η σερπεντινίωση αυξηθεί σε ένα υπερβασικό πέτρωμα τότε αυξάνεται το πορώδες του πετρώματος και μειώνεται η πυκνότητα του (φαινόμενο βάρος). Αυτό συμβαίνει διότι η σύσταση στους σερπεντινίτες είναι κυρίως από σερπεντίνη ο οποίος έχει μικρή πυκνότητα σε αντίθεση με τους περιδοτίτες που αποτελούνται κυρίως από ολιβίνη και πυρόξενους, ορυκτά με μεγάλη πυκνότητα-ειδικό βάρος. Όσον αφορά τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υπερβασικών πετρωμάτων, η αύξηση του βαθμού σερπεντινίωσης είναι αντιστρόφως ανάλογη της σκληρότητας. Αυτό συμβαίνει διότι ο σερπεντίνης έχει μικρή σκληρότητα σε σχέση με τον ολιβίνη και τους πυρόξενους. Η αντοχή κατά την αύξηση του φαινομένου της σερπεντινίωσης μειώνεται αφού είναι αντιστρόφως ανάλογη του πορώδους και ανάλογη της πυκνότητας του πετρώματος. Ουσιαστικά το φαινόμενο της σερπεντινίωσης δημιουργεί νέες φάσεις και πόρους

στα όρια των κόκκων του πετρώματος και έτσι μειώνεται η συνοχή της βραχόμαζας (Διαμάντης, 2010).

2.2 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΟΜΑΖΩΝ

2.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα αναλυθεί η τεχνικογεωλογική – γεωτεχνική συμπεριφορά των οφιολιθικών βραχομαζών. Σε πρώτη φάση επεξηγηθεί η έννοια της ασυνέχειας και τα χαρακτηριστικά της και η επίδρασή της στο πέτρωμα καθώς επίσης ο δείκτης RQD όπου αποτελεί ένα δείκτη ποιότητας του πετρώματος. Σε δεύτερη φάση θα εξεταστεί αναλυτικά η αντοχή της βραχόμαζας με βάση τη μορφή της. Στην περίπτωση του άρρηκτου βράχου δεν έχουν επιδράσει τεκτονικές δυνάμεις πάνω του με σκοπό να τον καταπονήσουν και να περιορίσουν την αντοχή του. Σε αντίθετη περίπτωση η κατακερματισμένη βραχόμαζα χαρακτηρίζεται από τις ασυνέχειες που μειώνουν την αντοχή της από πολύ μικρό έως πολύ σημαντικό βαθμό. Τέλος, θα γίνει μία ποσοτική περιγραφή του οφιολιθικού συμπλέγματος με βάση το σύστημα GSI. Οι οφιολίθοι αποτελούν μία ειδική περίπτωση εξαιτίας της πολύπλοκης πετρογραφικής τους ποικιλίας, της τεκτονικής τους καταπόνησης καθώς και της αποσάθρωσης. Η περιγραφή αυτή επιτρέπει την εκτίμηση των κύριων τεκτονικών γεγονότων καθώς και την κατανόηση των διαφορετικών τύπων συμπεριφοράς που συναντώνται κατά την διάνοιξη μιας σήραγγας.

2.2.2 ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥΣ

Οι ασυνέχειες των πετρωμάτων κατά τον Muller (1963) είναι εκείνες που καθορίζουν τη μηχανική συμπεριφορά τους και κάνουν τη βραχομηχανική ένα ξεχωριστό κλάδο της μηχανικής. Ο όρος *ασυνέχεια* (discontinuity) χαρακτηρίζει κάθε επιφάνεια διαχωρισμού του πετρώματος η οποία έχει πρακτικά μηδενική εφελκυστική αντοχή (Σοφιανός et al, 2008).

Η εκδήλωση της ασυνέχειας οφείλεται σε διαφορετικές γεωλογικές δραστηριότητες μέσα στον γεωλογικό χρόνο. Οι δραστηριότητες αυτές σχετίζονται κυρίως με (Καββαδάς, 2004):

1. Ρήγματα
2. Διακλάσεις
3. Επιφάνειες στρώσης
4. Επιφάνειες σχιστότητας

Ο αριθμός των ασυνεχειών της βραχόμαζας καθορίζεται:

- α) από τον αριθμό των συστημάτων ασυνεχειών (κάθε σύστημα περιλαμβάνει όλες τις παράλληλες ασυνέχειες του ίδιου τύπου όπως πχ. οι επιφανειακές στρώσεις) και
- β) την απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών ενός συστήματος η οποία δίνεται στη συνέχεια.

Πίνακας 1 : Χαρακτηρισμός ασυνεχειών ανάλογα της μεταξύ τους απόστασης

Απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών (m)	Χαρακτηρισμός της απόστασης μεταξύ των ασυνεχειών
$> 2 \text{ m}$	Μεγάλη
$0.6 - 2 \text{ m}$	Αρκετά μεγάλη
$0.2 - 0.6 \text{ m}$	Μέση
$0.06 - 0.2 \text{ m}$	Μικρή
< 0.06	Πολύ μικρή

Η κατάσταση των ασυνεχειών της βραχώμαζας καθορίζεται από:

1. Την τραχύτητα. Έτσι ανάλογα του βαθμού αυτής οι ασυνέχειες μπορούν να χαρακτηριστούν ως :
 - a. Πολύ τραχείες
 - b. Ελαφρώς τραχείες
 - c. Πρακτικώς λείες
 - d. Ολισθηρές
2. Το βαθμό εξαλλοίωσης των επιφανειών των ασυνεχειών που χαρακτηρίζεται από την σχετική ολίσθηση που χρειάζεται να πραγματοποιηθεί ώστε να επέλθει η επαφή μεταξύ των τεμαχών που χωρίζονται από την ασυνέχεια. Αυτός αναλύεται σε
 - a. Μηδενική ολίσθηση (βρίσκεται σε επαφή)
 - b. Ολίσθηση έως 100 mm
 - c. Ολίσθηση άνω των 100 mm

Διαφορετικά ο βαθμός εξαλλοίωσης χαρακτηρίζεται από το πάχος του υλικού πλήρωσης των ασυνεχειών:

- a. Πάχος 0 mm
- b. Πάχος 1 mm
- c. Πάχος 1-5 mm
- d. Πάχος άνω των 5 mm

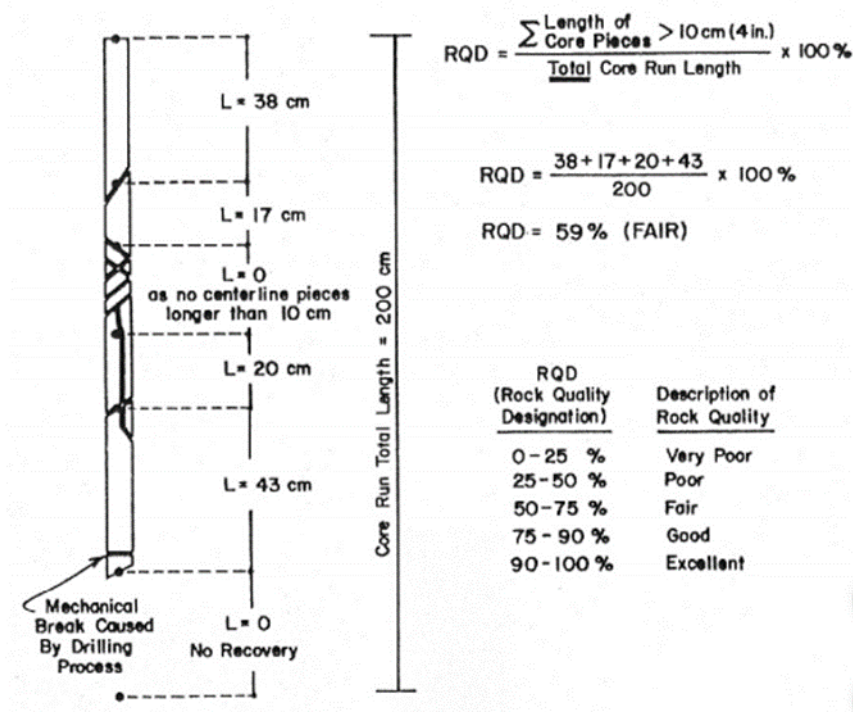
2.2.3 ΚΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Με βάση τους πυρήνες των γεωτρήσεων που πραγματοποιούνται σε μία βραχώμαζα, προσδιορίζεται και ο δείκτης κερματισμού αυτής, RQD (Rock Quality Designation) που στην

ουσία αποτελεί μία ποσοτική εκτίμηση του κερματισμού της βραχομάζας. Ο δείκτης RQD ορίζεται ως ο λόγος του συνολικού μήκους των πυρήνων άνω των 10cm προς το συνολικό μήκος του πυρήνα (Deere, 1963).

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

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται ένα παράδειγμα υπολογισμού του δείκτη ποιότητας πετρώματος RQD (Deere, 1963) :



Εικόνα 4 : Υπολογισμός του δείκτη ποιότητας του πετρώματος (Deere, 1963)

Πίνακας 2 : Συσχέτιση δείκτη RQD και μέτρων υποστήριξης για σήραγγα πλάτους 6 m (Deere, 1963)

Ερευνητές	Χωρίς υποστήριξης	Αγκύρια	Χαλύβδινα πλαίσια
Deere et al 1970	RQD 75 - 100	RQD 50 – 75 1,5-1,8 m απόσταση	RQD 50-75, ελαφρά υποστήριξη 1,5-1,8 m απόσταση εναλλακτικά των αγκυρίων
			RQD 25-50 ελαφρά έως μέση υποστήριξη 0,9-1,5 m απόσταση εναλλακτικά των αγκυρίων
		RQD 25-50 0,9-1,5 m απόσταση	RQD 0-25, μέση έως βαριά κυλινδρικά πλαίσια με 0.6-0.9 m απόσταση
Cecil 1970	RQD 82 - 100	RQD 52-82, εναλλακτικά 40-60mm σκυροδέματος	RQD 0-52, πλαίσια ή ενισχυμένο σκυρόδεμα
Merritt 1972	RQD 72 - 100	RQD 23-72 1,2-1,8 m Απόσταση	RQD 0-23

Ο δείκτης RQD είναι ένας από τους συνηθισμένους στον κόσμο που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του κερματισμού της βραχώμαζας, ωστόσο παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα (Καββαδάς, 2004):

- Πολύ ευαίσθητος στις μικρές μεταβολές του μήκους των πυρήνων γύρω από τα 10 cm. Αν για παράδειγμα ο πυρήνας είναι 99 mm τότε δεν λαμβάνεται υπόψη, ενώ για 2 mm περισσότερα δηλαδή ένας πυρήνας των 101 mm προσauζάνει τον δείκτη RQD κατά 10%.
- Είναι πολύ ευαίσθητος στον τρόπο που λαμβάνεται το δείγμα της πυρηνοληπτικής γεώτρησης ως προς το είδος και της και τη διάμετρο του δειγματολήπτη. Επίσης είναι ευαίσθητος και σε άλλους παράγοντες όπως η ταχύτητα περιστροφής, το είδος της κοπτικής κεφαλής, η πίεση στην κοπτική κεφαλή κλπ. που μπορούν να προκαλέσουν δευτερογενή κερματισμό στην βραχώμαζα και να επηρεάσουν το βαθμό πυρηνοληψίας.
- Ανάλογα τον προσανατολισμό της γεώτρησης ο δείκτης RQD επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό. Αν για παράδειγμα η δειγματοληψία γίνει παράλληλα προς τις ασυνέχειες τότε ο δείκτης είναι πολύ υψηλότερος απ' ό,τι θα ήταν εγκάρσια σε αυτές καθώς οι πυρήνες θα διακόπτονταν πιο συχνά σε περισσότερα τεμάχια.

2.2.4 ANTΟΧΗ ΒΡΑΧΟΥ-ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Για να σχεδιαστεί σωστά η εκσκαφή βραχωδών πρυνών καθώς επίσης και η επιλογή κατάλληλων μέτρων υποστήριξης κατά την διάνοιξη σιράγγων συνεπάγεται και η ορθή

εκτίμηση της αντοχής της βραχώμαζας και του μέτρου ελαστικότητας αυτού. Η βαθύτερη κατανόηση όμως της συμπεριφοράς της βραχώμαζας απαιτεί και την μελέτη της συμπεριφοράς του άρρηκτου βράχου και των επιφανειών των μεμονωμένων ασυνεχειών.

Ως άρρηκτος βράχος ορίζεται το βραχώδες τμήμα μεταξύ δύο ασυνεχειών. Τα τμήματα αυτά μπορεί να έχουν πάχος από μερικά χιλιοστά έως πολλά μέτρα και η συμπεριφορά τους είναι ελαστική και ισότροπη. Το μεγαλύτερο μέρος των πυριγενών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων παρουσιάζουν ψαθυρή θραύση σε αντίθεση με τα ιζηματογενή που συμπεριφέρονται πιο όλκιμα.

2.2.4.1 ANTOXH APPHKTOY BPAXOY

Οι Hoek και Brown (1980) και Hoek (1983) βασίστηκαν στις επίσημες εργασίες που συσχετίζονταν με την αντοχή του άρρηκτου βράχου και πρότειναν το παρακάτω εμπειρικό κριτήριο αστοχίας του:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c * \left(m_i \frac{\sigma'_3}{\sigma_c} + 1 \right)^{1/2}$$

όπου σ'_1 και σ'_3 : η μέγιστη και η ελάχιστη ενεργός κύρια τάση κατά την αστοχία,

σ_c : η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη και

m_i : μια σταθερά για τον άρρηκτο βράχο.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο πίνακας με τις εκτιμώμενες τιμές πεδίου της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής (κατά ISRM, 1981) ενώ στη συνέχεια απεικονίζονται οι ενδεικτικές τιμές του m_i για διάφορους τύπους άρρηκτων βράχων.

Πίνακας 3 : Εκτιμήσεις πεδίου της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής.

ΒΑΘΜΟ- ΝΟΜΗΣΗ*	ΟΡΟΣ	ΜΟΝΟΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (MPa)	ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΗΜΕΙΑΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ (MPa)	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ
R6	Εξαιρετικά ισχυρό	>250	>10	Το βραχώδες υλικό απολεπίζεται μόνο κάτω από επαναλαμβανόμενα χτυπήματα του γεωλογικού σφυριού	- Υγιής βασάλτης - Διαβάσης - Γνεύσιος - Γρανίτης - Χαλαζίτης
R5	Πολύ ισχυρό	100 - 250	4 - 10	Απαιτούνται πολλά χτυπήματα με γεωλογικό σφυρί για να σπάσουν τμήματα του άρρηκτου βράχου	- Αμφιβολίτης - Ψαμίτης - Βασάλτης - Γάββρος - Γνεύσιος - Γρανодиριτής - Ασβεστόλιθος - Μάρμαρο - Ρυόλιθος - Τόφρος
R4	Πολύ ισχυρό	50 – 100	2 – 4	Κομμάτια μεγέθους γροθιάς σπάνε με ένα μόνο χτύπημα του γεωλογικού σφυριού	- Ασβεστόλιθος - Μάρμαρο - Φυλλίτης - Ψαμμίτης - Σχιστόλιθος - Αργιλικός σχιστόλιθος
R3	Μετρίως ισχυρό	25 – 50	1 – 2	Με δυνατό χτύπημα το γεωλογικό σφυρί χαράσσει το βράχο μέχρι 5mm, το μαχαίρι ξύνει την επιβάνεια	- Αργιλόλιθος - Κάρβουνο - Σκυρόδεμα - Σχιστόλιθος - Αργιλικός σχιστόλιθος - Ιλυόλιθος
R2	Ασθενές	5 – 25	***	Το μαχαίρι κόβει το δείγμα αλλά είναι δύσκολη η μόρφωση δοκιμίου τριαξονικής δοκιμής	- Τάλκης - Ορυκτό αλάτι - Ποτάσα
R1	Πολύ ασθενές	1 – 5	***	Το υλικό σπάει κάτω από δυνατά χτυπήματα με τη μύτη του γεωλογικού σφυριού και μπορεί να μορφοποιηθεί με μαχαίρι	Πολύ αποσαθρωμένο ή μεταμορφωμένο πέτρωμα
R0	Εξαιρετικά ασθενές	0,25 – 1	***	Χαράσσεται με το νύχι	Αργιλικό υλικό πλήρωσης ρήγματος

(*Βαθμονόμηση σύμφωνα με την ISRM

** Όλοι οι τύποι των βράχων παρουσιάζουν μεγάλο εύρος αντοχής σε μονοαξονική θλίψη που παριστά και την ετερογένεια στη σύνθεση και την ανισοτροπία στη δομή. Οι σκληροί βράχοι χαρακτηρίζονται από καλό ξεκλείδωμα των κρυσταλλικών ινών και λίγα κενά.

***Οι βράχοι με αντοχή σε μονοαξονική θλίψη κάτω από 25 MPa παρέχουν μη αξιόπιστα αποτελέσματα στη δοκιμή σημειακής φόρτισης)

Πίνακας 4 : Τιμές της σταθεράς m_i για τον άρρηκτο βράχο (Hoek & Marinos, 2000)

Τύπος	Ομάδα		ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ			
			Χονδρή	Μέση	Λεπτή	Πολύ λεπτή
ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ	Κλαστικό		Κροκαλοπαγή Λατυποπαγή	Ψαμίτες (17 ± 4)	Ιλυόλιθοι (7 ± 2) Γραουβάκες (18 ± 3)	Αργιλόλιθοι (4 ± 2) Αργ. Σχιστόλιθοι (6 ± 2) Μάργες (7 ± 2)
	Μη κλαστικό	Ανθρακικά	Κρυσταλλικοί Ασβεστόλιθοι (12 ± 3)	Σπαριτικοί Ασβεστόλιθοι (10 ± 2)	Μικριτικοί Ασβεστόλιθοι (9 ± 2)	Δολομίτες (9 ± 3)
		Εβαπορίτες		Γύψος (8±2)	Ανυδρίτης 12±2	
		Οργανικά				Κρητίς (7 ± 2)
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ	Μη πτυχωμένα		Μάρμαρο (9 ± 3)	Κερατόλιθοι (19 ± 4) Μεταψαμμίτες (19 ± 3)	Χαλαζίτες (20 ± 3)	
	Ελαφρά πτυχωμένα		Μιγματίτες (29 ± 3)	Αμφιβολίτες (26 ± 6)	Γνεύσιοι (28 ± 5)	
	Πτυχωμένα**			Σχιστόλιθοι (12 ± 3)	Φυλλίτες (7 ± 3)	Σχίστες (7 ± 4)
ΠΥΡΙΓΕΝΗ	Πλουτώνια	Ανοιχτόχρωμα	Γρανίτης (32 ± 3)	Διορίτης (25 ± 5)		
			Γρανοδιορίτης (29 ± 3)			
		Σκοτεινόχρωμα	Γάββρος (27 ± 3) Νορίτης (20 ± 5)	Δολερίτης (16 ± 5)		
	Υποαβυσσικά		Πορφύρης (20 ± 5)		Διαβάσης (15 ± 5)	Περιδοτίτης (25 ± 5)
	Ηφαιστειακά	Λάβα		Ρυόλιθος (25 ± 5) Ανδεσίτης (25 ± 5)	Δακίτης (25 ± 3) Βασάλτης (25 ± 5)	
		Πυροκλαστικά	Κροκαλοπαγή (19 ± 3)	Ηφ. Λατυποπαγή (19 ± 5)	Τόφροι (13 ± 5)	

2.2.4.2 ANTOXH BPAΧOMAZΑΣ

Η γενικευμένη μορφή του κριτηρίου των Hoek και Brown μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c * \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_c} + s \right)^a$$

όπου m_b : η τιμή της σταθεράς m για την βραχώμαζα

s και a : σταθερές που εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της βραχώμαζας

σ_c : η αντοχή του άρρηκτου βράχου σε μονοαξονική θλίψη και

σ'_1 και σ'_3 : η αξονική και πλευρική κύρια τάση γενικά.

Το κριτήριο αυτό έχει αποδειχθεί ότι έχει καλή εφαρμογή στο μεγαλύτερο μέρος των βραχομαζών που η ποιότητά τους είναι καλή και η αντοχή τους εξαρτάται από το σφικτό αλληλοκλείδωμα γωνιωδών τεμαχίων βράχου. Έτσι θέτοντας $\alpha = 0.5$ στην προηγούμενη εξίσωση μπορεί να εκφραστεί η αστοχία μιας τέτοιας βραχώμαζας, δηλαδή:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c * \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_c} + s \right)^{0.5}$$

Σε περιπτώσεις όπου η αποσάθρωση και η διάτμηση έχουν μερικώς καταστρέψει το αλληλοκλείδωμα της βραχώμαζας κατατάσσοντάς της στις φτωχές και έχουν ως αποτέλεσμα να μην παρουσιάζει εφελκυστική αντοχή ή συνοχή και τα τεμάχια πέφτουν χωρίς περιορισμούς, τότε θέτοντας $s = 0$ στην αρχική εξίσωση θα είναι:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c * \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_c} \right)^{\alpha}$$

Εφόσον οι παραπάνω σταθερές m_b , s και α δεν εκτιμηθούν, τότε οι προηγούμενες εξισώσεις δεν έχουν καμία απολύτως πρακτική αξία. Οι Hoek και Brown (1988) πρότειναν την ταξινόμηση RMR (Rock Mass Rating) του Bieniawski (1976) για τον υπολογισμό των σταθερών αυτών δεδομένου όμως τις στεγνές συνθήκες και την πολύ ευνοϊκή κλίση των ασυνεχειών. Σε περιπτώσεις όπου οι βραχώμαζες παρουσιάζουν τιμές RMR μεγαλύτερες του 25 η διαδικασία είναι ευνοϊκή, αλλά σε περιπτώσεις φτωχής βραχώμαζας δεν μπορεί να λειτουργήσει αφού η χαμηλότερη τιμή RMR είναι 18. Έτσι για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα θεωρήθηκε ένας καινούριος δείκτης, γνωστός και ως γεωλογικός δείκτης αντοχής GSI (Geological Strength Index) του Hoek και Μαρίνου (2000). Οι τιμές του GSI κυμαίνονται από 10 έως 100 και πρόκειται για εξαιρετικά πολύ φτωχές βραχώμαζες έως και άρρηκτο βράχο αντίστοιχα.

Οι σχέσεις μεταξύ m_b/m_i , s , α με τον δείκτη γεωλογικής αντοχής (GSI) εκφράζονται ως εξής:

Για $GSI > 25$ (αδιατάρακτες βραχώμαζες)

$$\frac{m_b}{m_i} = \exp\left(\frac{GSI - 100}{28}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9}\right)$$

$$\alpha = 0.5$$

Για $GSI < 25$ (αδιατάρακτες βραχώμαζες)

$$s = 0$$

$$\alpha = 0.65 - \frac{GSI}{200}$$

Στην μεταγενέστερη έκδοση (2002) το γενικευμένο κριτήριο έχει την ίδια μορφή αλλά ο υπολογισμός των παραμέτρων δεν εξαρτάται αν η τιμή του GSI θα είναι μεγαλύτερη ή θα είναι μικρότερη από 25. Οι σχέσεις αυτές είναι:

$$\frac{m_b}{m_i} = \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$\alpha = 0.5 + \frac{1}{6} \left(\exp^{\frac{-GSI}{15}} - \exp^{\frac{-20}{3}} \right)$$

Όπου το D είναι η παράμετρος που σχετίζεται άμεσα με το βαθμό διαταραχής και χαλάρωσης της βραχώμαζας στη φάση εκσκαφής. Οι τιμές που παίρνει η παράμετρος αυτή είναι από 0 για τις αδιατάρακτες βραχώμαζες έως 1 για τις πλήρως διαταραγμένες βραχώμαζες.

2.2.5 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΚΑΤΑ GSI

Ο γεωλογικός δείκτης αντοχής GSI ο οποίος χρησιμοποιείται παγκοσμίως είναι ένας δείκτης που δημιουργήθηκε για να ποσοτικοποιήσει την ποιότητα της βραχώμαζας. Ουσιαστικά πρόκειται για μία ταξινόμηση βραχώμαζας ανάλογα με την δομή του πετρώματος που έχει δημιουργηθεί εξαιτίας των διακλάσεων και των επιφανειακών ασυνεχειών. Οι διαφορετικές γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν σε ένα πέτρωμα καθορίζουν και τη διαφορετική αντοχή αυτού (Μαρίνος κ.α, 2004).

Όσον αφορά τους οφιολίθους οι πιο θεμελιώδεις τύποι που τους αποτελούν είναι οι περιδοτίτες, ο γάββρος, οι σερπεντινωμένοι περιδοτίτες, οι σερπεντινίτες, οι σχιστοσερπεντινίτες, οι κερματισμένοι σερπαντινίτες, τα pillow lavas καθώς και οι χαοτικές μάζες των οφιολιθικών melanges.

Στους περιδοτίτες (χαρτσβουργίτες, δουνίτες κλπ.) η αντοχή είναι πολύ μεγάλη καθώς αυτήν κυμαίνεται από πολλές δεκάδες MPa και μπορεί να φτάσει και πάνω από 100 MPa κοντά στο σημείο θράνυσης. Στην Ελλάδα οι τιμές του σ_c που χρησιμοποιούνται για τις κατασκευές υπόγειων σιράγγων είναι τουλάχιστον της τάξης των 50 MPa. Σημαντικές παράμετροι αποτελούν η τεκτονική καταπόνιση του πετρώματος και η αποσάθρωση αυτού. Η τεκτονική αυτή διαταραχή εκφράζεται με ασυνέχειες παράλληλες ή οικογένειες ασυνεχειών οι οποίες τέμνονται μεταξύ τους και δημιουργήθηκαν σύμφωνα με την τεκτονική που ασκήθηκε στο πέτρωμα κατά τη ανάπτυξη του. Η σερπεντινίωση που εκφράζει την αποσάθρωση είναι δυνατόν να εμφανιστεί και στις ασυνέχειες του πετρώματος όπου σε αυτή την περίπτωση οι αντοχές του πετρώματος μειώνονται δραματικά αφού δημιουργούν λείες και ολισθηρές επιφάνειες. Γενικότερα οι περιδοτίτες αποτελούν συμπαγής μάζες πετρωμάτων με ελάχιστες ασυνέχειες είτε αν βρίσκονται σε ήπια τεκτονική δράση, είτε σε τεκτονικές ζώνες. Οι τιμές του GSI στους υγιείς περιδοτίτες είναι σχετικά μεγάλες της τάξης του 65 και άνω. Αν η βραχώμαζα είναι κερματισμένη αλλά και η σερπεντινίωση έχει δημιουργήσει ολισθηρές επιφάνειες ή ασυνέχειες τότε οι τιμές του GSI μειώνονται σε περίπου 35. Τέλος η διαδικασία της αποσάθρωσης δεν επιβαρύνει μόνο μία κερματισμένη βραχώμαζα αλλά έχει την ικανότητα να μειώσει την αντοχή μιας άρρηκτης βραχώμαζας.

Ο γάββρος αποτελεί ένα από τα δυνατότερα πετρώματα στις κατασκευές ενός τεχνικού έργου. Όταν είναι υγιής, η συμπεριφορά του εξαρτάται από τον βαθμό θράνυσης. Οι ασυνέχειες στην περίπτωση του γάββρου δεν αποτελούν τον ίδιο κίνδυνο όπως στους περιδοτίτες καθώς αυτοί αλλοιώνονται από την σερπεντινίωση. Όταν αποσαθρώνονται τα ορυκτά του γάββρου τότε δημιουργείται μία ζώνη αργίλου η οποία μπορεί να είναι εκτεταμένη.

Στην περίπτωση των σερπεντινιτών, όταν η σερπεντινίωση αυτή οφείλεται στην αποσάθρωση του πετρώματος η οποία αποσάθρωση έχει επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό ολόκληρη την βραχόμαζα τότε οι τιμές του GSI είναι σημαντικά μειωμένες. Αν η διεργασία της σερπεντινίωσης συνδέεται με τη μεταμόρφωση και με την τεκτονική επώθηση, τότε στην βραχόμαζα παρατηρείται σχιστότητα που μειώνει τις τιμές του GSI σε 30 και κάτω και την καθιστά πολύ φτωχή. Επειδή η μέτρηση της αντοχής της βραχόμαζας (σ_c) στους σχιστο-σερπεντινίτες οδηγεί σε λανθασμένα αποτελέσματα για ένα μεγάλο ποσοστό δειγμάτων εξαιτίας της επίδρασης της σχιστότητας, προτείνεται η δοκιμή της μονοαξονικής θλίψης. Όμως η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται σε κανονικούς σερπεντινίτες και στη συνέχεια αφαιρείται το ποσοστό της αντοχής που θα είχε ο σχιστοσερπεντινίτης σε βάρος της σχιστότητας. Γενικότερα στην Ελλάδα η αντοχή εκτιμάται περίπου στα 40 MPa για τους σερπεντινίτες και 30 MPa για τους σχιστοσερπεντινίτες.

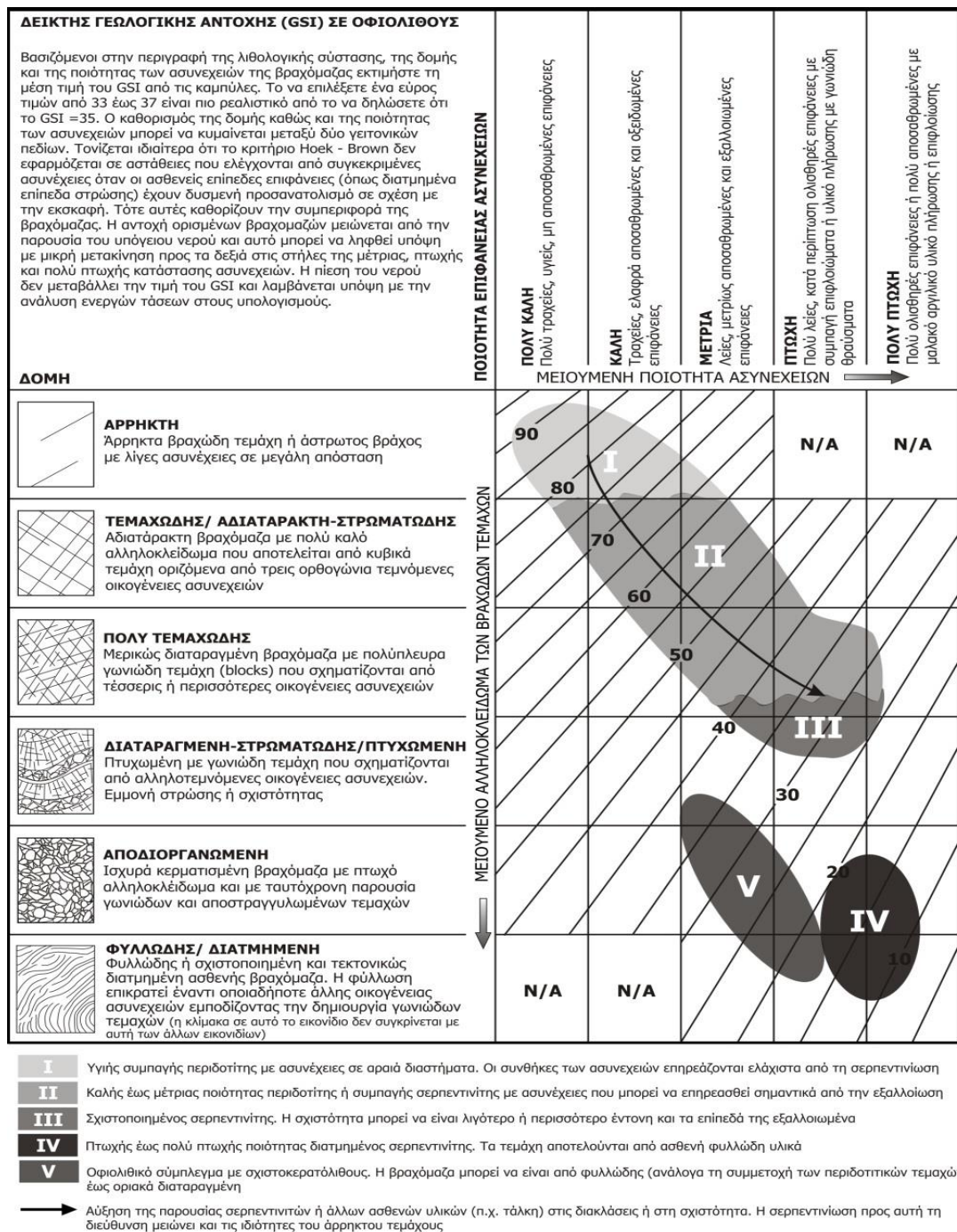
Σε ζώνες διάτμησης είναι δύσκολο να συναντήσουμε στους σερπεντινίτες κομμάτια ή μπλοκ τα οποία επιτρέπουν τη δημιουργία ολισθηρών επιφανειών. Σε τέτοιες περιοχές συναντάμε συνήθως κερματισμένους σερπεντινίτες οι οποίοι αποτελούνται από θράνσματα μεγέθους εκατοστών ή ακόμη και χιλιοστών. Οι τιμές του GSI σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να μειωθούν και σε λιγότερο από 20. Συνήθως σε αυτήν την βραχόμαζα το εύρος των τιμών ποικίλει από 20 έως 5 και σε κάποιες περιπτώσεις και λιγότερο.

Τα *pillow lavas* είναι πετρώματα βασαλτικής σύστασης τα οποία εμφανίζουν λεπίωση. Σε περιοχές με τεκτονική δράση ακόμη και με μικρά υπερκείμενα έχει ως αποτέλεσμα την διάτμηση ενός μεγάλου μέρους των υλικών αυτής της βραχόμαζας η οποία επηρεάζει τη συνολική ποιότητα της. Το εύρος της γεωτεχνικής ποιότητας των *pillow lavas* ποικίλει καθώς το GSI κυμαίνεται από 50 έως 25. Σε περιπτώσεις όπου εμφανίζονται στο πέτρωμα φαινόμενα τεκτονικής δράσης όπως διατμήσεις, σπασίματα κ.α μπορεί να οδηγήσουν σε τοπικές αστοχίες μέσα στη σήραγγα εκτός αν υποστηριχτούν επαρκώς. Όταν επικρατούν τέτοιες συνθήκες στη βραχόμαζα μέσα σε μία σήραγγα τότε η βραχόμαζα χαρακτηρίζεται μέτρια προς καλή. Σε περιπτώσεις που η βραχόμαζα έχει προσβληθεί από φαινόμενα αποσάθρωσης και έντονης τεκτονικής τότε χαρακτηρίζεται ως φτωχή. Ακόμη όμως και σε τέτοιες περιπτώσεις είναι απαραίτητο να διατηρηθεί η βραχόμαζα κατά την εκσκαφή όσο το δυνατόν καλύτερα για να βελτιστοποιηθεί η προσωρινή υποστήριξη.

Τέλος, οι χαμηλότερες τιμές στην ποιοτική ταξινόμηση των οφιολιθικών βραχομαζών χαρακτηρίζουν τα οφιολιθικά *mélanges* που στην ουσία αποτελούν χαοτικές μάζες, δηλαδή μάζες οφιολίθων αναμιγμένες με άλλα πετρώματα διάφορων προελεύσεων που βρίσκονται στην βάση ή μπροστά στα καλύματα επώθησης. Όταν το υλικό εμφανίζεται εδαφοποιημένο τότε οι τιμές του GSI είναι πολύ μικρές. Ωστόσο είναι δυνατόν κατά την διάρκεια εκσκαφής μιας σήραγγας να συναντώνται μέσα στις μάζες αυτές μπλοκ από ιζηματογενών πετρωμάτων όπως είναι ο ασβεστόλιθος, ο ψαμμίτης κ.α. Παρ'όλα αυτά η μετάβαση σε τέτοιου είδους βραχόμαζες όπως τα οφιολιθικά *mélanges* ή ακόμη και άλλων χαοτικών μαζών όπως ο φλύσχης, οι ιλυόλιθοι, οι αργιλίτες κλπ είναι απότομη και επικίνδυνη. Συνήθως σε τέτοιες περιπτώσεις είναι πάντα συνετό να πραγματοποιείται δειγματοληπτική γεώτρηση μπροστά από το μέτωπο εκσκαφής.

Στην εικόνα που ακολουθεί απεικονίζεται ο γενικός γεωλογικός δείκτης αντοχής του Hoek και Μαρίνου (2000) των οφιολιθικών βραχομαζών, ο οποίος αποτελεί συνάρτηση της δομής της βραχόμαζας (μειούμενο αλληλοκλείδωμα των βραχώδων τεμαχών) ως προς την ποιότητα επιφάνειας των ασυνεχειών (μειούμενη ποιότητα ασυνεχειών).

Εικόνα 5 : Κλίμακες του δείκτη GSI για τους τύπους βραχομαζών I έως V σε οφιολιθικά συμπλέγματα (Μαρίνος, 2010)



3 - ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πολύ πριν από τον άνθρωπο, η φύση από μόνη της έχει καταφέρει να σκάψει κάτω από το έδαφος σε μεγάλο βαθμό και αρκετές φορές σε μεγάλες διαστάσεις. Σπήλαια, καταβόθρες και άλλες καρστικές κοιλότητες – αποτέλεσμα χημικής αποσάθρωσης και διάβρωσης – όπου έχουν φιλοξενηθεί και οι πρώτες μορφές ανθρώπινης ζωής. Αυτά τα «κενά» συναντώνται κυρίως σε ασβεστολιθικές περιοχές και σε εξαιρετικές περιπτώσεις σε ηφαιστειογενείς περιοχές. Εκτός όμως από τις φυσικές κοιλότητες, υπάρχουν εδώ και πάρα πολλά χρόνια και οι τεχνητές σήραγγες. Αν και οι πρώτες υπόγειες κατασκευές χρονολογούνται από την αρχαιότητα, αποτελούμενες από μικρά τμήματα και με μικρά μήκη, οι πρώτες τεχνητές σήραγγες μεγάλης εμβέλειας κατασκευάζονται τον 19^ο αι. και ακόμα πιο εντατικά τον 20^ο αι. ταυτόχρονα με την οικονομική ανάπτυξη. Είναι η εποχή στην οποία το υπέδαφος χρησιμοποιείται κατά κόρον και δημιουργούνται αξιόλογες σήραγγες τόσο στον τομέα της εξόρυξης, όσο και στον τομέα των μεταφορών, κατασκευάζοντας οδικούς άξονες, ενώ λίγο αργότερα ξεκινάει και ο σχεδιασμός στον τομέα των υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων.

3.2 ΓΙΑΤΙ ΥΠΟΓΕΙΩΣ ?

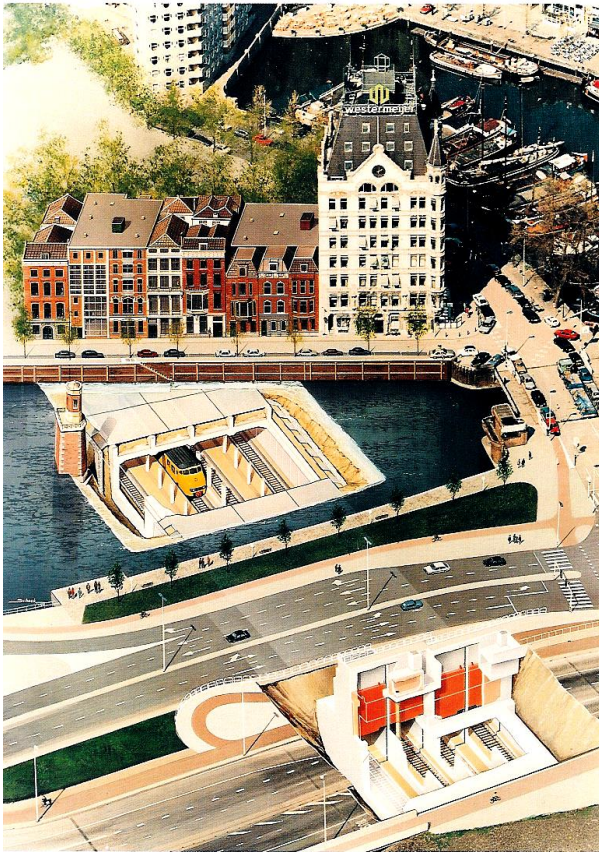
Εδώ και εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια, η φυσική περιοχή του ανθρώπου είναι η επιφάνεια της γης που αποτελεί ένα δισδιάστατο χώρο. Ωθούμενος από την ανάγκη, την περιέργεια ή ακόμη και την απερισκεψία ο άνθρωπος προσπάθησε ανέκαθεν να ξεφύγει από αυτές τι διαστάσεις και να επεκταθεί όσο το δυνατόν περισσότερο, ψάχνοντας να χρησιμοποιήσει μία τρίτη διάσταση τόσο προς τα πάνω, όσο και προς τα κάτω.

Οι λόγοι λοιπόν που οδήγησαν τον άνθρωπο να επεκταθεί κάτω από την επιφάνεια της γης χωρίζονται σε 3 κατηγορίες (περιβαλλοντικοί, κοινωνικοί και οικονομικοί) (ΙΤΑ).

3.2.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΛΟΓΟΙ

- Χρήση γης : Σε πάρα πολλές περιπτώσεις, η χρήση του υπεδάφους είναι αποτέλεσμα της έλλειψης χώρου στην επιφάνεια της γης. Ενώ παλιότερα αποτελούσε φαινόμενο που συναντούσαμε κυρίως σε πρωτεύουσες τα τελευταία χρόνια αποτελεί ανάγκη για όλες τις μεγάλες πόλεις στον κόσμο. Έτσι η χρήση του υπεδάφους μας επιτρέπει την κατασκευή εγκαταστάσεων οι οποίες δεν θα είναι ορατές στην επιφάνεια εξοικονομώντας έτσι χώρο. Τέτοια παραδείγματα αποτελούν οι υπόγειοι χώροι στάθμευσης, οι υπόγειες διαβάσεις πεζών κλπ.
- Απομόνωση και αδιαφάνεια : Το υπέδαφος, πυκνό και αδιαφανές προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στον τομέα της μόνωσης, ιδιαίτερα σε ότι αφορά τις καιρικές συνθήκες, τις φυσικές καταστροφές και τους σεισμούς, αλλά και την προστασία και διατήρηση. Η μόνωση αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που δικαιολογούν την ανάγκη εμφύτευσης ορισμένων εγκαταστάσεων στον υπόγειο χώρο.

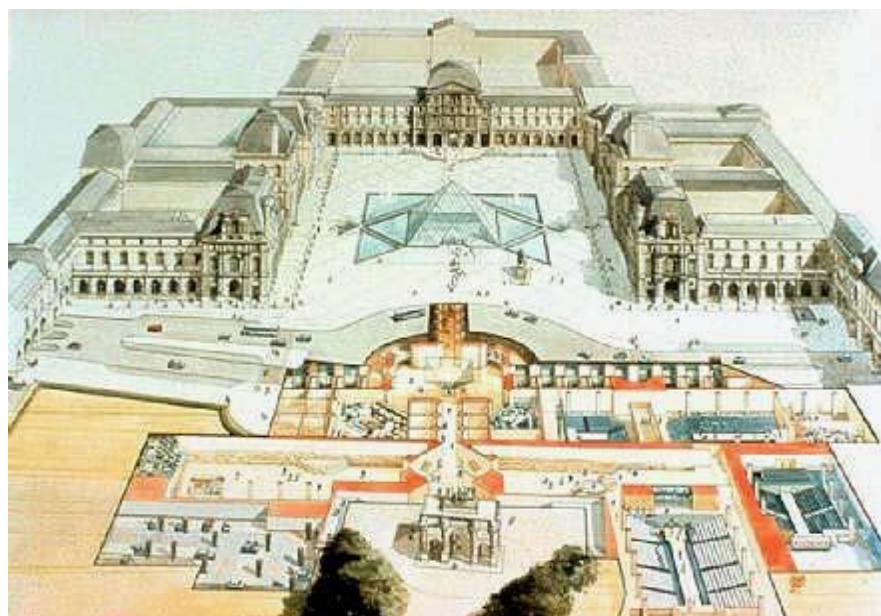
🚦 Παραδείγματα Υπόγειων Έργων που ανήκουν στην κατηγορία «Χρήσεις γης»



Εικόνα 6 : Σταθμός Blaak (Ρότερνταμ – Ολλανδία)



Εικόνα 7 : Αυτοκινητόδρομος – Σταθμός Lidabash – Ιαπωνία)



Εικόνα 8 : Υπόγεια επέκταση του Μουσείου του Λούβρου (Παρίσι – Γαλλία)



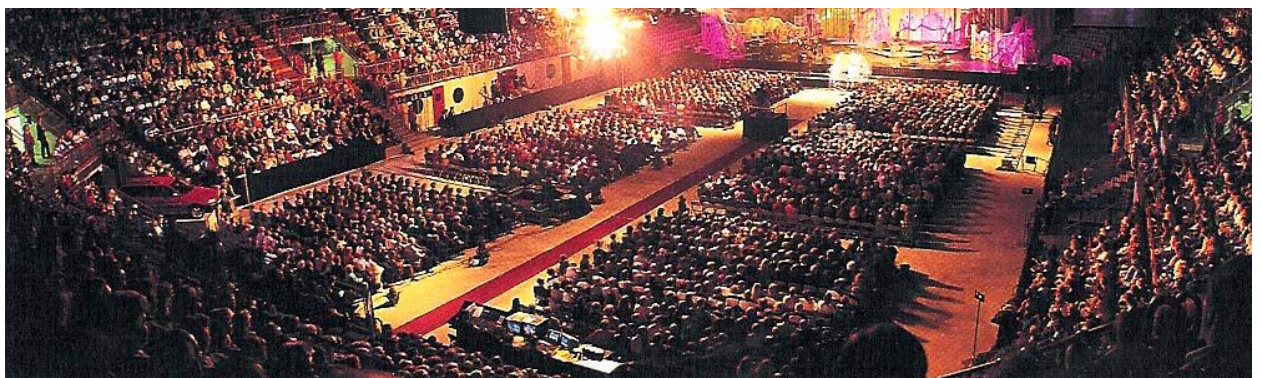
Εικόνα 9 : Το χωριό του Αϊ-Βασίλη (Λαπωνία – Φινλανδία)



Εικόνα 10 : Υπόγειο νοσοκομείο σε ορυχείο άλατος για αλλεργική θεραπεία (Ural – Ρωσία)



Εικόνα 11 : Υπόγεια πισίνα (Φινλανδία)

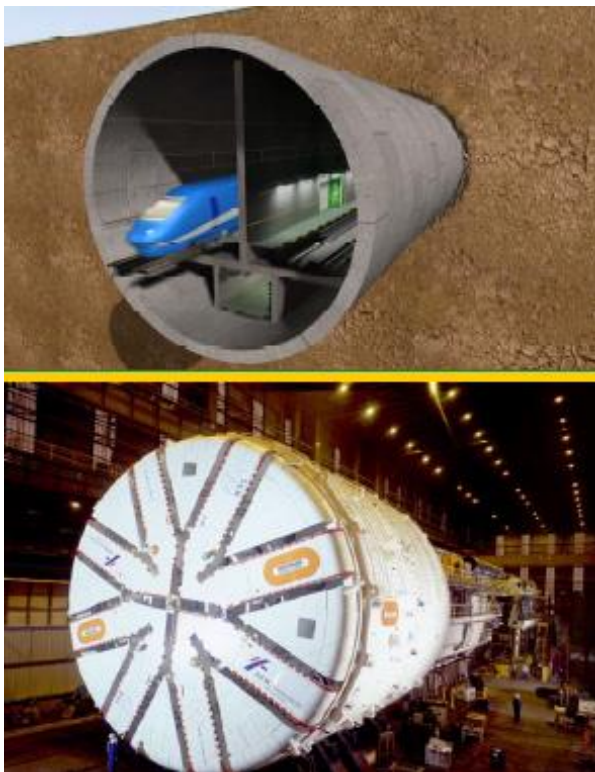


Εικόνα 12 : Gjøvik Olympic Mountain Hall (Νορβηγία)

- Προστασία του περιβάλλοντος : Το υπέδαφος προσφέρει επίσης πολλά πλεονεκτήματα από πλευράς προστασίας του περιβάλλοντος, ειδικά από οικολογική και αισθητική πτυχή, λαμβάνοντας υπόψη το σχεδιασμό των υποδομών με χαμηλό περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

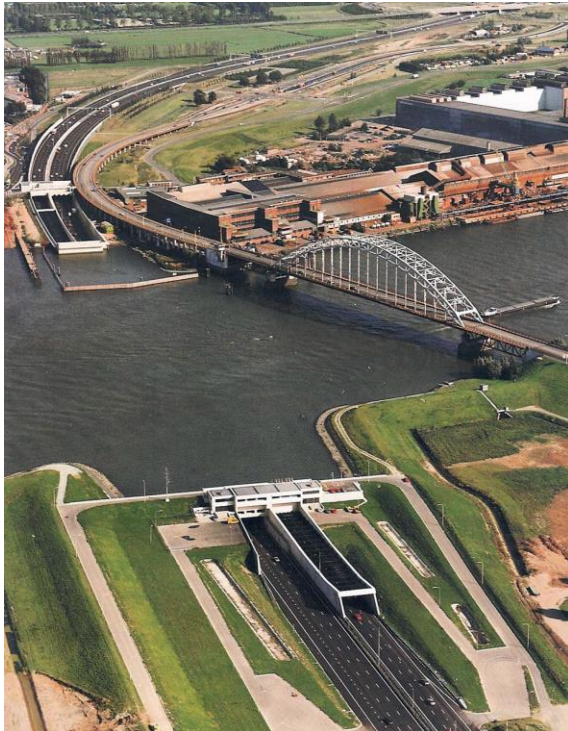


Εικόνα 13 : Ένα κομμάτι αυτοκινητόδρομου διέρχεται από ένα τούνελ, δημιουργώντας έτσι ένα φυσικό πέρασμα για ανθρώπους και ζώα χωρίς να διακόπτεται η βλάστηση (Φινλανδία)

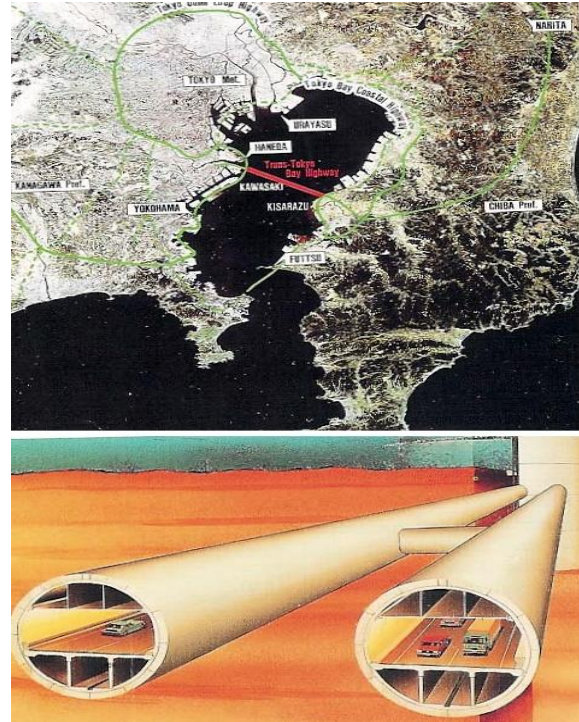


Εικόνα 14 : Green Heart tunnel (Ολλανδία)

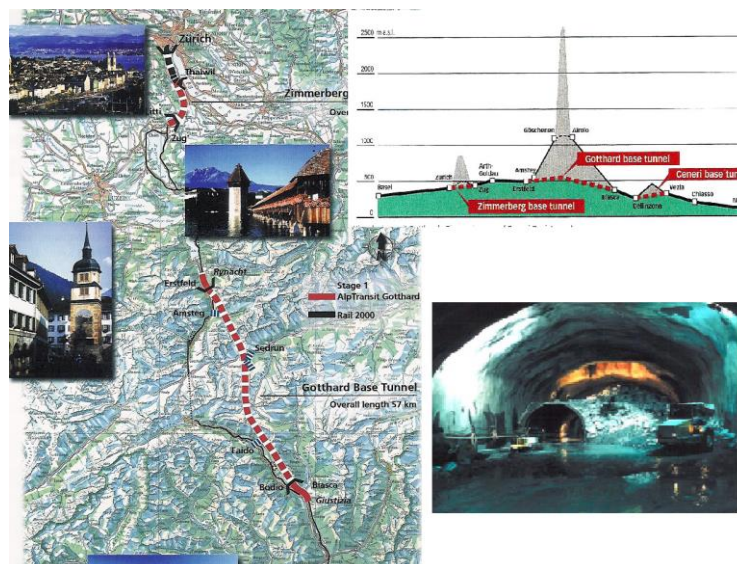
- Λόγοι που σχετίζονται με την τοπογραφία : Στις ορεινές ή ημιορεινές περιοχές, η δημιουργία των σιράγγων βελτιώνει ή καθιστά δυνατές πιθανές λύσεις μεταφοράς, όπως για παράδειγμα δρόμους, σιδηροδρομικές σήραγγες κλπ. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα όταν πρόκειται για την οικοδόμηση αξόνων μεγάλων ταχυτήτων, διότι είναι σημαντικό να προβλεφθούν στην κατασκευή όσο το δυνατόν μικρότερες γωνίες και ακτίνες. Οι σήραγγες προσφέρουν επίσης σημαντικές λύσεις για τη διέλευση ποταμών και μερικές φορές αποτελούν τη μοναδική λύση για να περάσουν τα υδατικά συστήματα (εξαιτίας των ισχυρών ρευμάτων και των μεγάλων βαθών κλπ.).



Εικόνα 15 : Noord Tunnel (Άμστερνταμ – Ολλανδία)



Εικόνα 16 : Trans Tokyo Bay Highway (Ιαπωνία)



Εικόνα 17 : Gotthard Base Tunnel (Ελβετία)

3.2.2 ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΙ ΛΟΓΟΙ

Η ορθή λειτουργία των συστημάτων υγείας και των κοινωνικών μηχανισμών αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για τη σωστή διαβίωση στις αστικές περιοχές. Ο υπόγειος χώρος διαδραματίζει ένα σημαντικό πλαίσιο σε αυτό τον τομέα, συμβάλλοντας για παράδειγμα στην αστική ανάπτυξη με σεβασμό στο περιβάλλον, που πραγματοποιείται είτε μέσω της μείωσης της ρύπανσης και της ηχορύπανσης, είτε με την ορθολογική χρήση του χώρου, την οικονομική ανάπτυξη, την προστασία του περιβάλλοντος διαβίωσης, τη δημόσια υγεία ή την ασφάλεια. Σε όλους αυτούς τους τομείς, προσφέρει αμέτρητα πλεονεκτήματα.

- Έμμεσα πλεονεκτήματα : Η αξιολόγηση των υπόγειων κατασκευών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το πώς η κοινότητα αντιλαμβάνεται τα μειονεκτήματα των υποδομών στην επιφάνεια του εδάφους από πλευράς περιβαλλοντικής υποβάθμισης.
- Σε μια προσέγγιση βιώσιμης ανάπτυξης, το ΑΕΠ τείνει να μην είναι η μόνη τιμή που λαμβάνεται υπόψη. Οι περιβαλλοντικές πτυχές που ωθούν στην επιλογή του υπόγειου χώρου, βελτιώνουν την ευημερία του πληθυσμού και την ποιότητα του πληθυσμού και έτσι αξίζει να ληφθούν σοβαρά υπόψη.

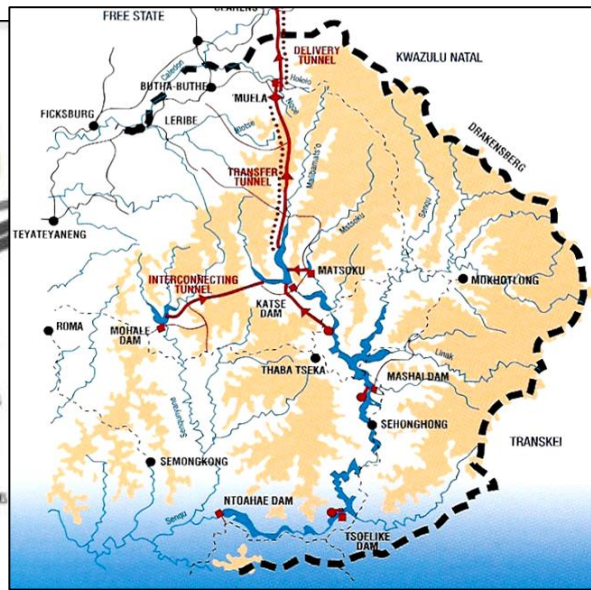


Εικόνα 18 : Κεντρική Αρτηρία (Βοστώνη – Η.Π.Α)

(Οι υπόγειοι αυτοκινητόδρομοι ελευθερώνουν τις επιφανειακές αρτηρίες, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άλλους σκοπούς, μειώνουν αισθητά την ηχορύπανση καθώς επίσης και την ρύπανση του περιβάλλοντος)



Εικόνα 19 : Μονάδα επεξεργασίας λυμάτων (Ελσίνκι – Φινλανδία)



Εικόνα 20 : Lesotho Highlands Water Project

*Στην προκειμένη περίπτωση η σήραγγα διαδραματίζει ζωτικό ρόλο, μεταφέροντας πόσιμο νερό, αλλά και απομακρύνοντας τα λύματα από τις αστικές περιοχές

3.2.3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΛΟΓΟΙ

Η οικονομική πτυχή μέχρι και σήμερα δεν ευνοεί ιδιαίτερα την ανάπτυξη χρήσης του υπόγειου χώρου, παραμένοντας έτσι το σημαντικότερο εμπόδιο που αντιμετωπίζεται όταν πρόκειται για την κατασκευή ενός υπόγειου έργου. Δεδομένου ότι το αρχικό κόστος κατασκευής των υπόγειων δομών είναι πολύ υψηλότερο από εκείνο των εγκαταστάσεων στην επιφάνεια της γης, θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι υπόγειες κατασκευές «τιμωρούνται» σε σχέση με αυτές τις επιφάνειες.

Αυτό βέβαια που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι όποιο και να είναι το οικονομικό αντίκτυπο μια υπόγειας κατασκευής, πριν ληφθεί μία απόφαση θα πρέπει να αξιολογούνται και τα πλεονεκτήματα τόσο όσον αφορά το κόστος ζωής και την εξυπηρέτηση των ανθρώπινων αναγκών, όσο και τα πλεονεκτήματα σε σχέση με την αειφορική ανάπτυξη του περιβάλλοντος.

Η οικονομική ανάλυση που πραγματοποιείται για να ληφθεί η απόφαση αν μια υπόγεια κατασκευή είναι συμφέρουσα οικονομικά ή όχι, βασίζεται στο κόστος, τη χρηματοδότηση αλλά και τους κινδύνους (AITES).

3.2.3.1 ΚΟΣΤΟΣ

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν όλα τα έξοδα που σχετίζονται με :

- Τη μελέτη και κατασκευή
- Την απόκτηση γης
- Τη χρήση της ελεύθερης γης
- Τη λειτουργία της δομής

- Το κόστος κύκλου ζωής (οι υπόγειες κατασκευές έχουν γενικότερα μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε σχέση με αυτές που βρίσκονται στην επιφάνεια)
- Την αξιολόγηση του κύκλου ζωής περιβαλλοντικής προστασίας

3.2.3.2 ΚΙΝΔΥΝΟΙ

Με το πέρασμα των χρόνων οι κίνδυνοι για την κατασκευή υπόγειων δομών ολοένα και μειώνονται. Είναι πλέον εφικτό σε πολύ σημαντικό βαθμό πολλοί από τους κινδύνους να αντιμετωπίζονται σε πολύ πρώιμο στάδιο, ακόμη και κατά τον σχεδιασμό ακόμα του έργου, εφόσον οι μηχανικοί διαθέτουν πλέον στα χέρια τους άρτιες γεωλογικές μελέτες και αναλύσεις για τις συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή, βελτιώνοντας έτσι τις τεχνικές που πρέπει να χρησιμοποιηθούν σε κάθε περίπτωση για την αποφυγή προβλημάτων.

Πίνακας 5 : Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υπόγειων κατασκευών (Carmody and Sterling, 1993, Zhao et al, 2000. σελ 54)

Major Issues	Sub Category	Potential Benefits	Potential Drawbacks
Physical and Institutional Issues	Location	Proximity Lack of surface space Service provision Status	Unfavorable geology Uncertain geology
	Isolation	Climatic <i>thermal, severe weather, fire, earthquake</i> Protection <i>noise, vibration, explosion, fallout, industrial accident</i> Security <i>access, protected surfaces</i> Containment <i>hazardous materials, hazardous processes</i>	Climatic <i>thermal, flooding</i> Communication Human issues <i>psychological acceptability, psychological concerns, fire safety, personal safety</i>
	Preservation	Aesthetics <i>visual impact, interior design</i> Environmental <i>natural landscape, ecology, run-off</i> Materials	Aesthetics <i>visual impact, building service, skilful design</i> Environmental <i>site degradation, drainage, pollution</i>
	Layout	Topographic freedom 3-dimensional planning	Ground support Span limitations Access limitations Adaptability Sewage removal
	Institutional		Easement acquisition Permits Building code Investment uncertainty
Life Cycle Cost	Initial Cost	Land cost savings Construction savings <i>no structural support, weather independent, scale</i> Sale of excavated materials or minerals Savings in specialized design features	Confined work conditions Ground support Limited access Ground excavation, transportation, and disposal Cost uncertainty <i>geological, contractual, institutional delays</i>
	Operating Cost	Maintenance Insurance Energy use	Equipment/materials access Personnel access Ventilation and lighting Maintenance and repair
Societal Issues		Land use efficiency Transportation and Circulation efficiency Energy conservation Environment/aesthetics Disaster readiness National security Less construction disruption	Environmental degradation Permanent changes Embodied energy

3.3 ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΧΩΡΩΝ

Ο αυξανόμενος ανταγωνισμός για εξεύρεση χώρου στην επιφάνεια του εδάφους με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και για τους ευρύτερους χώρους μιας αειφόρου ανάπτυξης, επισημαίνουν σταδιακά την ανάγκη για μια καλύτερη και πιο συντονισμένη χρήση του υπεδάφους. Αναφερόμενοι λοιπόν πιο συγκεκριμένα στις χρήσεις του υπεδάφους μπορούμε να τις χωρίσουμε σε 3 μεγάλες κατηγορίες: τον υπόγειο πολεοδομικό σχεδιασμό, την εξόρυξη και την αρχιτεκτονική όπως θα διαπιστώσουμε και παρακάτω (ΙΤΑ).

3.3.1 ΥΠΟΓΕΙΟΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Ο υπόγειος πολεοδομικός σχεδιασμός αποτελεί την μεγαλύτερη και σημαντικότερη κατηγορία υπόγειων έργων. Η ραγδαία ανάπτυξη των αστικών περιοχών, η δημογραφική ανάπτυξη αλλά και η γήρανση των εγκαταστάσεων στις αναπτυσσόμενες πόλεις αποτελούν παράγοντες άρρηκτα συνδεδεμένους με την ανάγκη ζήτησης υπόγειων υποδομών με στόχο την βελτίωση της ποιότητας ζωής. Ταυτόχρονα κρίνεται απαραίτητος ο εκ των προτέρων σχεδιασμός του υπόγειου χώρου, λαμβάνοντας υπόψη την μετεγκατάσταση και χωροθέτηση υφιστάμενων εγκαταστάσεων, την κατασκευή νέων αλλά και την έλλειψη πρόσβασης σε λιγότερο ευνοημένες περιοχές. Όπως αναφέρει και η Παγκόσμια Ένωση Σηράγγων και Υπόγειων Εγκαταστάσεων, (AITES) η πολεοδομία είναι πλέον αναγκασμένη να ξεφύγει από την παραδοσιακή οριοθέτηση εγκαταστάσεων στην επιφάνεια και να επεκταθεί και στο υπέδαφος εξετάζοντας στο σύνολο τις αλληλεπιδράσεις των τριών διαστάσεων και αξιοποιώντας στο έπακρο τον χώρο για την εξυπηρέτηση των άμεσων αναγκών χωρίς όμως να αμελεί τις προκλήσεις που θα προκύψουν τις επόμενες δεκαετίες.

Όταν αναφερόμαστε στον υπόγειο πολεοδομικό σχεδιασμό κάνουμε λόγο για τρεις μεγάλες κατηγορίες που αφορούν τις μεταφορές, την ενέργεια, το νερό και τις τηλεπικοινωνίες και τις λοιπές υπόγειες εγκαταστάσεις, όπως θα δούμε και πιο αναλυτικά παρακάτω.

3.3.1.1 ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Οι υπόγειες σήραγγες που εξυπηρετούν τις μεταφορές έχουν αρχίσει να κατασκευάζονται εδώ και αιώνες. Αναπτύχθηκαν παράλληλα τόσο σε αστικό όσο και σε μη αστικό περιβάλλον. Οι πρώτες σήραγγες σε αστικό περιβάλλον κατασκευάστηκαν για τα δίκτυα μαζικής μεταφοράς (μετρό, σιδηρόδρομοι κλπ.). Σήμερα έχουν επεκταθεί περαιτέρω κατασκευάζοντας οδικές σήραγγες, υπόγειες διαβάσεις πεζών αλλά και υπόγειους χώρους στάθμευσης. Στο υπεραστικό περιβάλλον υπάρχουν εδώ και πάρα πολλά χρόνια υπόγειοι σιδηρόδρομοι και αυτοκινητόδρομοι που ενώνουν περιοχές αφηφώντας τις δύσκολες τοπογραφικές συνθήκες. Μία από τις πιο γνωστές και ίσως η πιο αρχαία σήραγγα τέτοιου τύπου, είναι η σήραγγα της Malpas στο Canal du Midi στη Γαλλία, που κατασκευάστηκε το 1776.

✚ -Παραδείγματα υπόγειου σχεδιασμού που αφορούν τον υπόγειο σχεδιασμό στον τομέα των μεταφορών

Εικόνα 21 : Ο υπόγειος αυτοκινητόδρομος M30 στη Μαδρίτη, που περιβάλλει ολόκληρη την πόλη



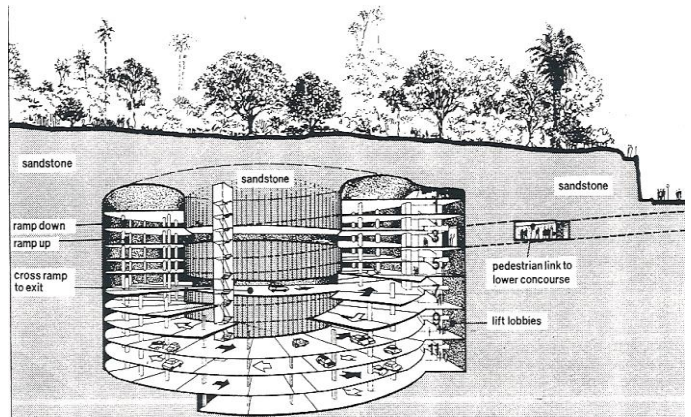
Εικόνα 22 : Υπόγεια σιδηροδρομική σήραγγα



Εικόνα 23 : Υπόγεια διάβαση πεζών



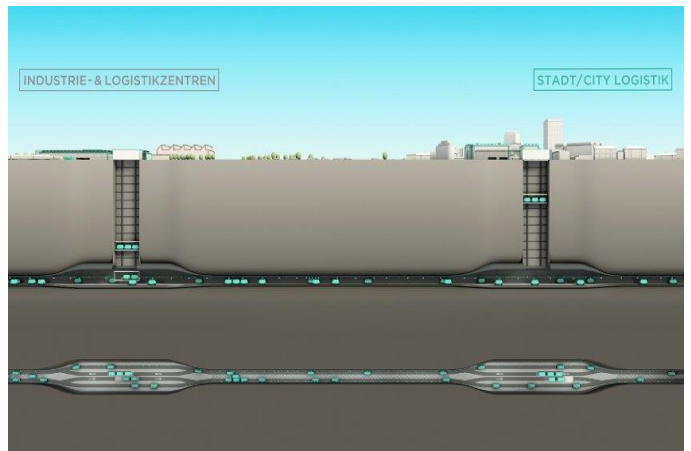
Εικόνα 24 : Υπόγειο παρκινγκ μεγάλης χωρητικότητας, δίπλα από την Όπερα του Σίνδεϋ



Εικόνα 25 : Σταθμός του μετρό της Αθήνας



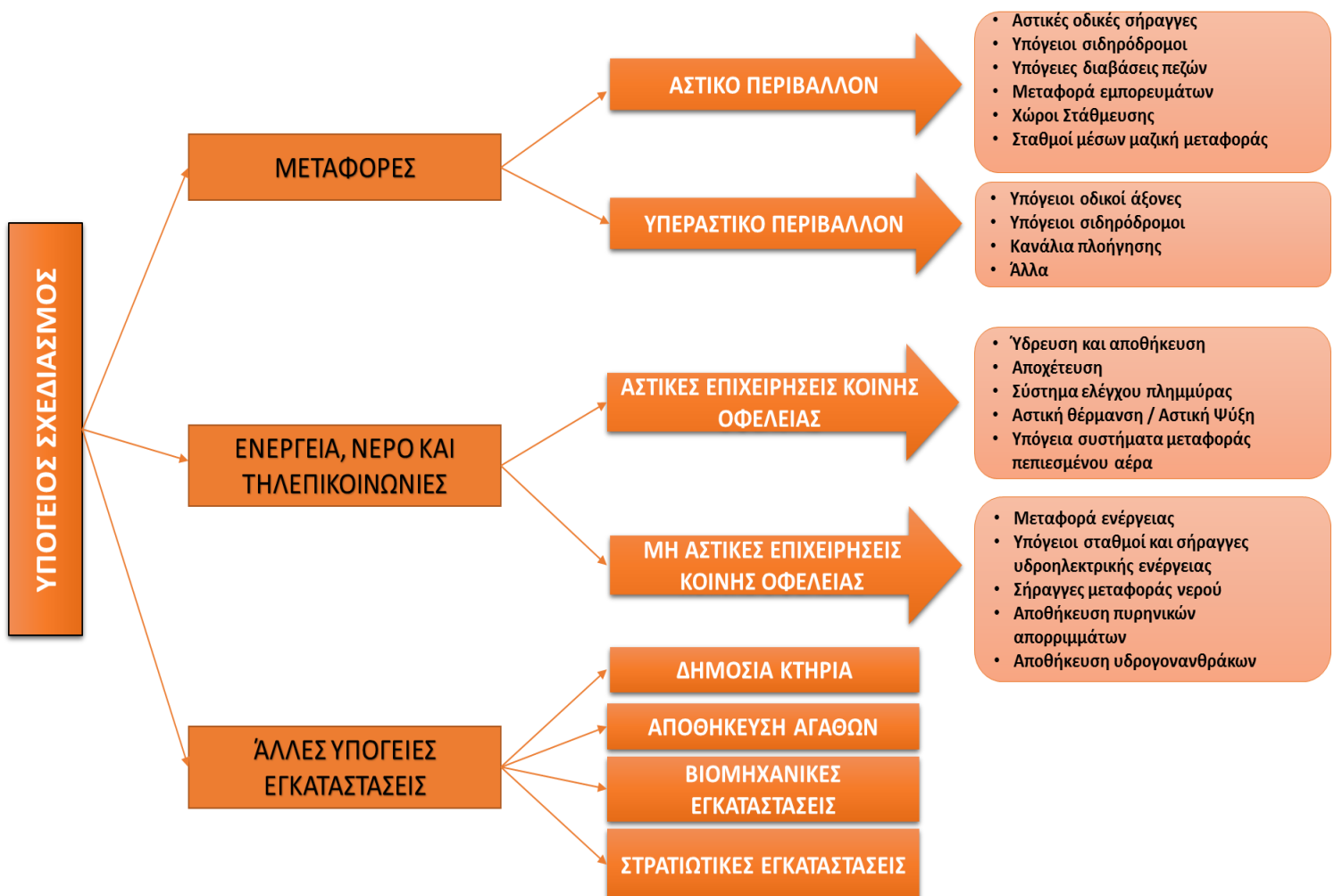
Εικόνα 26 : Υπόγεια σήραγγα μεταφοράς προϊόντων



3.3.1.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑ, ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Εκτός από τις μεταφορές τα τελευταία χρόνια, όλο και αυξάνεται η χρήση του υπεδάφους για την εγκατάσταση επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας τόσο σε αστικό όσο και σε μη αστικό περιβάλλον. Οι ανάγκες ολοένα και πληθαίνουν (αγωγοί ηλεκτρισμού, μεταφοράς νερού και αερίου, οπτικές ίνες κλπ.), και είναι δύσκολο να εγκατασταθούν στην επιφάνεια του εδάφους, με αποτέλεσμα να καθίσταται αναγκαία η «ταφή» τους στο υπέδαφος. Στην περίπτωση των αγωγών σε μη αστικές περιοχές, η κύρια χρήση αφορά την υδροηλεκτρική ενέργεια ενώ ακολουθούν οι σήραγγες καυσίμων και οι σήραγγες μεταφοράς νερού. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα τελευταία χρόνια γίνεται όλο και πιο συχνά λόγος για την υπόγεια αποθήκευση των πυρηνικών απορριμμάτων αλλά και την αποθήκευση υδρογονανθράκων.

Διάγραμμα 1 : Κατηγορίες και παραδείγματα που σχετίζονται με τον σχεδιασμό υπόγειου χώρου

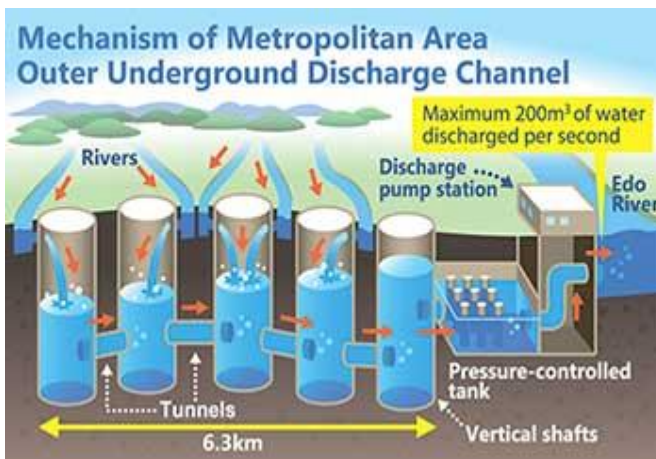




Εικόνα 27 : Υπόγειος αγωγός τηλεθέρμανσης (Κοζάνη)



Εικόνα 28 : Ηλεκτρικά καλώδια και καλώδια επικοινωνίας



Εικόνα 29 : Αντιπλημμυρικά έργα στο Τόκιο (Ιαπωνία)



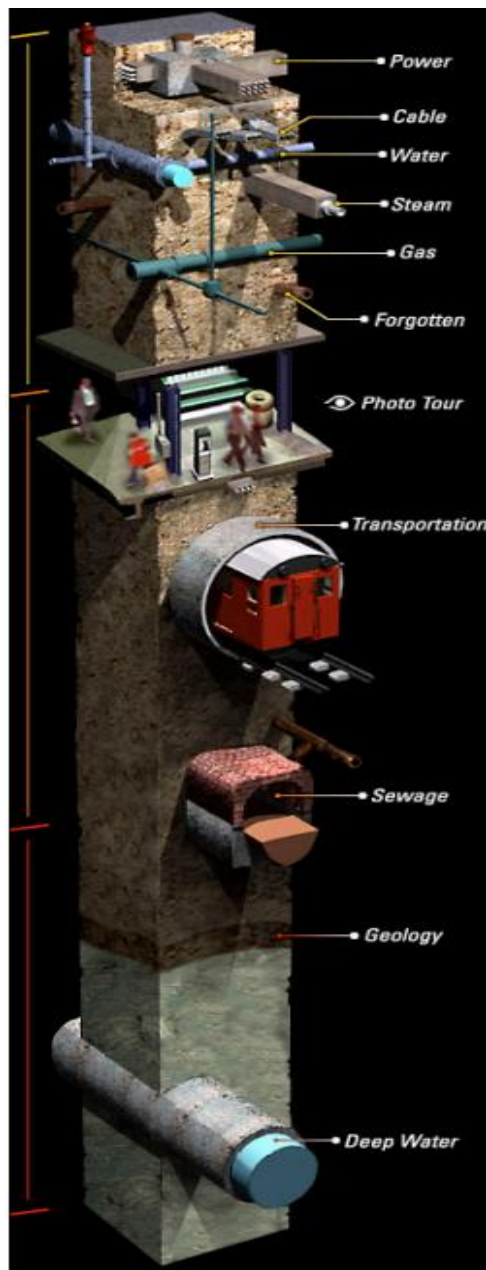
Εικόνα 30 : Αγωγός μεταφοράς ενέργειας



Εικόνα 31 : Αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων

3.3.1.3 ΛΟΙΠΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Εκτός από τα παραπάνω, υπάρχουν και άλλες υπόγειες εγκαταστάσεις που εξυπηρετούν τις ανθρώπινες ανάγκες εξοικονομώντας χώρο στην επιφάνεια. Μία κατηγορία αφορά στην αποθήκευση αγαθών με μεγαλύτερο πλεονεκτήματα την υψηλή θερμική αδράνεια και το σχετικά περιορισμένο κόστος κατασκευής.



Εικόνα 32 : Νέα Υόρκη – τομή υπεδάφους (Barles και Jardel, 2005)

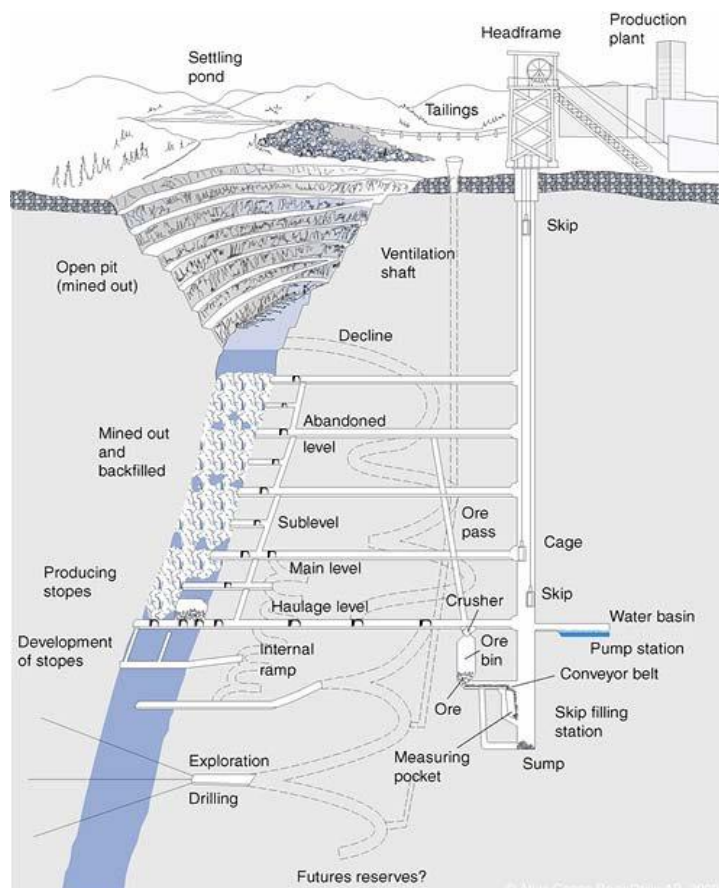
3.3.2 ΕΞΟΡΥΞΗ

Η εξόρυξη μεταλλευμάτων είναι γνωστή από την αρχαιότητα, περιλαμβάνοντας εκτεταμένη υπόγεια εκσκαφή σιηράγγων, φρεάτων στοών και σπηλαίων. Οι μέθοδοι εξόρυξης που χρησιμοποιούνται διαφέρουν κατά καιρούς και εξελίσσονται σε συνδυασμό με την τεχνολογία εκσκαφής και υποστήριξης.

Στα υπόγεια ορυχεία είναι αναγκαία αρκετά ανοίγματα για διαφορετικούς σκοπούς : κύριος άξονας, αεραγωγοί, φρέατα εξαερισμού κλπ. Αυτά τα ανοίγματα αποσκοπούν στην προσβασιμότητα και στην σωστή λειτουργία του ορυχείου. Κάποια άλλα ανοίγματα συνδέονται με την μεταφορά των μεταλλευμάτων και διατηρούνται ανοιχτά μέχρι να ολοκληρωθεί η διαδικασία της εξόρυξης.

Η τεχνική εξόρυξης που ακολουθείται κάθε φορά εξαρτάται από τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του βράχου. Άλλοι παράγοντες όπως για παράδειγμα το μέγεθος, το σχήμα και η γεωμετρία του κοιτάσματος διαδραματίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στην επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξόρυξης.

Σήμερα η υπόγεια εξόρυξη εξακολουθεί να είναι ιδιαίτερα δραστήρια σε χώρες της Νότιας Αφρικής (ορυχεία που φθάνουν μέχρι και 4.000 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης) και Νότιας Αμερικής, την Αυστραλία, και τον Καναδά.



Εικόνα 33 : Τεχνολογία υπόγειων ορυχείων (Harmin, 1997)

3.4 ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΣΗΡΑΓΓΑ – ΣΗΡΑΓΓΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΝΕΡΟΥ

Στη συγκεκριμένη μελέτη, η κατασκευή που θα μας απασχολήσει περισσότερο είναι οι σήραγγες μεταφοράς νερού (υδραυλικές σήραγγες) γι' αυτό και θα αναφερθούμε λίγο πιο αναλυτικά στο ρόλο που διαδραματίζουν.

Οι αστικές περιοχές αυξάνονται με ραγδαίους ρυθμούς και μαζί με αυτούς και η ζήτηση ύδρευσης. Για να μπορέσουν να καλυφθούν οι ανάγκες κρίνεται πολλές φορές απαραίτητη η μεταφορά νερού από περιοχές που βρίσκονται σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις. Οι τοπογραφικές συνθήκες αποτελούν συχνά μεγάλο εμπόδιο στην κατασκευή έργων μεγάλης έκτασης. Για να ξεπεραστούν λοιπόν τυχόν εμπόδια και να διασφαλιστεί η μεταφορά νερού είναι απαραίτητη η κατασκευή κατάλληλων υποδομών όπως για παράδειγμα υπόγειες σήραγγες, που θα διαπερνούν περιοχές με μεγάλο υψόμετρο (λόφοι, βουνά κλπ.)

Μια άλλη περίπτωση αφορά στην κατασκευή μεγάλων μηχανικών συστημάτων, κυρίως σε χώρες που παρουσιάζουν σοβαρές διαφορές του υδρολογικού ισοζυγίου σε όλη την επιφάνεια, και το νερό είναι άνισα κατανομημένο.

Η κατάσταση αυτή επιδεινώνεται καθώς η κλιματική αλλαγή κάνει τις καιρικές συνθήκες λιγότερο προβλέψιμες. Οι εποχιακές πλημμύρες γίνονται όλο και πιο ακραίες και οι ξηρασίες πιο συχνές και σοβαρές.

Η καλύτερη λύση για την επίλυση αυτού του προβλήματος, είναι η μεταφορά νερού από τις υγρότερες περιοχές στις περιοχές που υποφέρουν από ξηρασία και έλλειψη βροχής. Για να επιτευχθεί το παραπάνω κατασκευάστηκαν μεγάλα τεχνικά έργα με τις υπόγειες σήραγγες να κατέχουν τον πρωταγωνιστικό ρόλο. Πολύ χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το υπό κατασκευή κανάλι νερού στην Κίνα, που μεταφέρει νερό από τον νότο προς τον βορρά, αποτελούμενο από ένα μεγάλο αριθμό υπόγειων σηράγγων που διασχίζουν τις οροσειρές που βρίσκονται ανάμεσα.

3.4.1 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΚΑΙ ΦΑΣΕΙΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ

Όλες οι τεχνικές κατασκευές προϋποθέτουν μία μέση διάρκεια ζωής σχεδιασμού. Αυτό συμβαίνει και με την περίπτωση των σηράγγων καθώς διαστασιολογούνται για τουλάχιστον μία εκατονταετία και περισσότερο. Τέτοια τεχνικά έργα είναι κατασκευασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να μην απαιτείται δομική συντήρηση κατά την διάρκεια ζωής τους. Σε περιπτώσεις για τις οποίες δεν μπορεί να εξασφαλισθεί η συντήρηση κατά την κατασκευή του έργου θα πρέπει η μελέτη να προβλέπει την δυνατότητα ασφαλούς και αποδοτικής συντήρησης όπου η δαπάνη θα συμπεριλαμβάνεται στη συντήρηση της όλης διάρκειας ζωής σχεδιασμού.

Η διάνοιξη της σήραγγας με συμβατικές μεθόδους πραγματοποιείται συνήθως σε περισσότερες από μία φάσεις. Οι σημαντικότερες φάσεις εκσκαφής είναι οι παρακάτω (Καββαδάς, 2004):

Εκσκαφή μετώπου βαθμίδας (Top heading and bench).

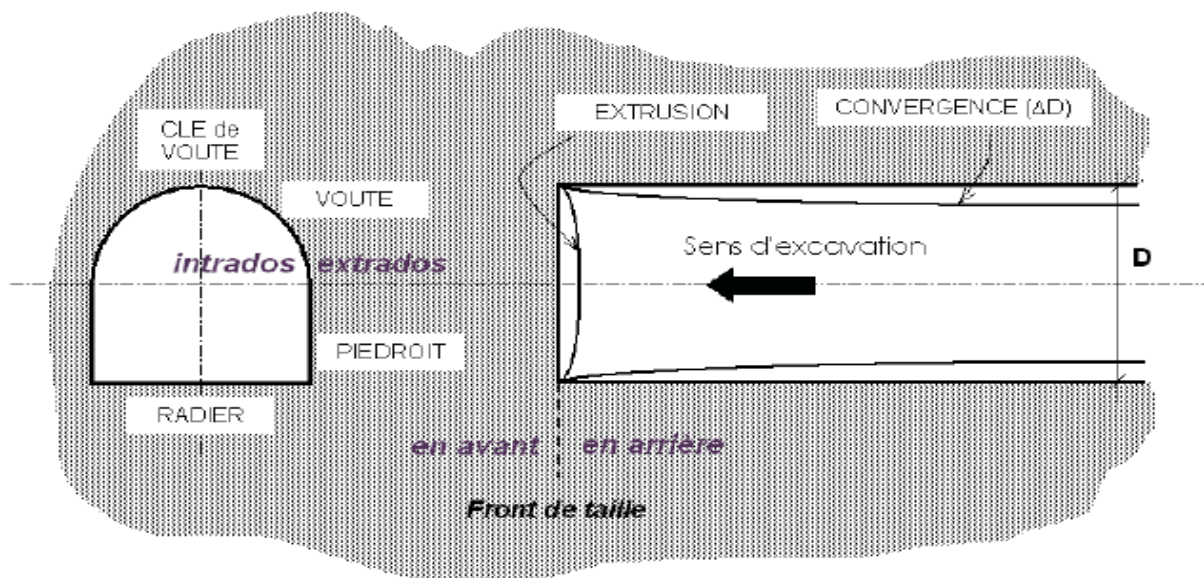
Σε αυτήν την περίπτωση η εκσκαφή πραγματοποιείται από πάνω προς τα κάτω. Η πρώτη φάση μπορεί να γίνει και σε περισσότερες υποφάσεις κατά το πλάτος της σήραγγας. Ουσιαστικά αυτήν η φάση είναι η σημαντικότερη καθώς είναι αυτή που θα δώσει την εικόνα των συνθηκών που αναμένεται να συναντηθούν κατά την διάνοιξη της σήραγγας.

Εκσκαφή με πλευρικές στοές (Side-wall drifts).

Η μέθοδος αυτή πραγματοποιείται κυρίως σε περιπτώσεις σιηράγγων μεγάλου εύρους όπου τα μηχανικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων είναι πολύ πτωχά ενώ ο περιορισμός σύγκλισης είναι πολύ κρίσιμος όπως συμβαίνει σε αστικές περιοχές. Ουσιαστικά υποδιαιρείται η διατομή κατά το πλάτος σε δύο υποδιαιρέσεις και πραγματοποιείται πρώτα η μία και στη συνέχεια η άλλη. Σε εξαιρετικά δύσκολες περιπτώσεις κατασκευάζονται δύο πλευρικές στοές αρχικά και τέλος διανοίγεται και ο κεντρικός πυλώνας.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως τα στόμια των σιηράγγων αποτελούν τα πιο ευαίσθητα σημεία κατά την διάνοιξη μιας υπόγειας σήραγγας. Έτσι η μελέτη για την ευστάθεια των στομίων είναι μία ιδιαίτερη περίπτωση για τους παρακάτω λόγους (Καββαδάς, 2004).

- Οι γεωλογικοί σχηματισμοί επειδή βρίσκονται στην επιφάνεια είναι πιο αποσαθρωμένοι και εξαλλιωμένοι.
- Εξαιτίας της κλίσης του πρανούς που έχει το έδαφος από την φύση του θα υπάρχουν έντονες διατμητικές τάσεις.
- Κατά την εκσκαφή του σήραγγας δεν μπορεί να αναπτυχθεί πλήρες το φαινόμενο θόλου εξαιτίας του μικρού πάχους των υπερκειμένων αλλά και της γειτνίασης με το πρανές προσβολής του μετώπου της σήραγγας.
- Συχνά, ο συντελεστής ασφαλείας στις περιοχές στομίων έναντι των διατμητικών αστοχιών του φυσικού πρανούς είναι ήδη ανεπαρκής. Έτσι κατά την διάνοιξη του στομίου ο συντελεστής μειώνεται περισσότερο εξαιτίας της διατάραξης της βραχομάζας με αποτέλεσμα να γίνεται μικρότερος της μονάδας και το στόμιο να αστοχεί.



Εικόνα 34 : Εγκάρσια και διαμήκη τομή της σήραγγας

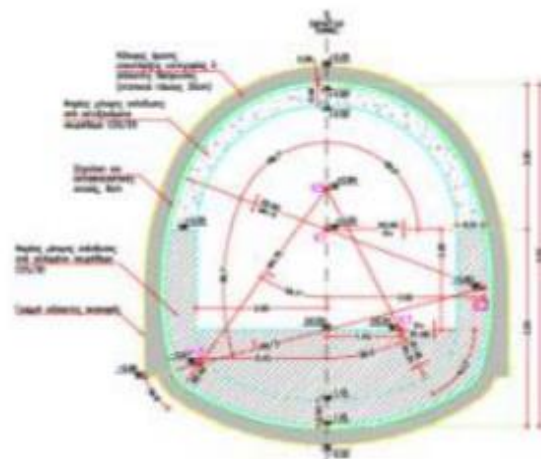
3.4.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

3.4.2.1 Υδραυλική Σήραγγα εκτροπής ρέματος Κωσταράκου (Εγνατία Οδός, Τμήμα 3.3-3.5.1)

- **Περιγραφή Έργου :** Υδραυλική σήραγγα εκτροπής ρέματος Κωσταράκου
- **Μήκος :** 310m
- **Μέγιστα υπερκείμενα :** 45m
- **Διατομή ελεύθερου χώρου :** 19,8m²
- **Μέθοδος όρυξης :** NATM - Χρήση εκρηκτικών και μηχανικών μέσων
- **Γεωλογία :** Περιδοτίτες, σερπεντινωμένοι περιδοτίτες, σερπεντινίτες, τεκτονικό μίγμα



Εικόνα 35 : Γενική άποψη στομίου εισόδου



Εικόνα 36 : Τυπική διατομή τελικής επένδυσης

3.4.2.2 Υδραυλική Σήραγγα αποστράγγισης για τη σταθεροποίηση κατολίσθησης Μ. Ορύγματος (Εγνατία Οδός, Τμήμα 3.3-3.5.1)



Εικόνα 37 : Στόμιο εισόδου σήραγγας αποστράγγισης



Εικόνα 38 : Διατομή εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης

- **Περιγραφή Έργου :** Υδραυλική σήραγγα αποστράγγισης
- **Μήκος :** 520m
- **Μέγιστα υπερκείμενα :** 100m
- **Διατομή ελεύθερου χώρου :**

19,8m²
- **Μέθοδος όρυξης :** NATM – Χρήση εκρηκτικών και μηχανικών μέσων
- **Γεωλογία :** Περιδοτίτες, σερπεντινωμένοι περιδοτίτες, σερπεντινίτες, τεκτονικό μίγμα

3.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

3.5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Για την κατασκευή υπόγειων έργων εφαρμόζεται παγκοσμίως η Νέα Αυστριακή Μέθοδος Σηράγγων γνωστή και ως NATM. Ουσιαστικά αποτελείται από ένα σύνολο εργασιών τεχνικών μέσων και μέτρων υποστήριξης που χρησιμοποιήθηκαν στις Αυστριακές Άλπεις το 1960 απ' όπου πήρε και το όνομα της παρόλο που είχε προταθεί και στο παρελθόν σε άλλα μέρη του κόσμου. Πρόκειται για μία συμβατική μέθοδο διάνοιξης που πραγματοποιείται με εκτίναξη και με απλά μηχανικά μέσα εκσκαφής. Η δεύτερη μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η μέθοδος διάνοιξης με μηχανοποιημένο τρόπο. Σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιούνται μηχανήματα ολομέτωπης κοπής (TBM) όπου επιλέγονται και κατασκευάζονται κατά παραγγελία ανάλογα με τον γεωλογικό σχηματισμό που συναντάται στην χάραξη του υπόγειου έργου. Αποτελεί μία δαπανηρή μέθοδο και χρησιμοποιείται κυρίως κάτω από αστικό περιβάλλον όπως για παράδειγμα η κατασκευή μητροπολιτικών σταθμών όπου οι μετακινήσεις του εδάφους θα πρέπει να είναι οι ελάχιστες (Καββαδάς, 2004).

3.5.2 ΜΕΘΟΔΟΣ NATM

3.5.2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ NATM

Χαρακτηριστικό αυτής της μεθόδου είναι ότι η εκσκαφή της σήραγγας καθώς και τα μέτρα άμεσης υποστήριξης πραγματοποιούνται με απώτερο στόχο την ενεργοποίηση της αντοχής της περιβάλλουσας βραχώμαζας. Αυτό επιτυγχάνεται με την ελεγχόμενη σύγκλιση των τοιχωμάτων της σήραγγας ώστε να μειωθούν δραματικά οι τάσεις που ασκεί η ίδια η βραχώμαζα στα μέτρα άμεσης υποστήριξης, αλλά δεν θα πρέπει να γίνει σε τέτοιο βαθμό ώστε να προκαλέσει την αποδιοργάνωση της βραχώμαζας και κατά συνέπεια την αστοχία του υλικού και την κατάρρευση της διατομής της σήραγγας. Διαφορετικά στόχος αυτής της μεθόδου είναι ο καλός και αποτελεσματικός σχεδιασμός και κατασκευή του έργου με βάση την ασφάλεια και την οικονομία. Το μέτωπο της εκσκαφής είναι πιο επιρρεπής στις συγκλίσεις των τοιχωμάτων μιας σήραγγας και επομένως οι μεγαλύτερες σε ποσοστό συγκλίσεις πραγματοποιούνται στο μέτωπο εκσκαφής. Ακόμη ο ρυθμός σύγκλισης πραγματοποιείται με μεγάλο ρυθμό και έτσι προκύπτει γενικότερα πως η αντοχή της βραχώμαζας ενεργοποιείται επαρκώς κοντά στο μέτωπο, συνεπώς τα μέτρα άμεσης υποστήριξης θα πρέπει να κατασκευαστούν όσο το δυνατόν πιο κοντά στο μέτωπο της εκσκαφής της σήραγγας (Καββαδάς, 2004).

3.5.2.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Η εφαρμογή της μεθόδου NATM βασίζεται σε κάποια συγκεκριμένα στάδια τα οποία αναφέρονται στη συνέχεια (Λάζος Ηλίας, 2014), (Καββαδάς, 2004):

- Πραγματοποίηση της γεωλογικής μελέτης και εφαρμογή των εργαστηριακών και επιτόπου δοκιμών για τον προσδιορισμό των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών της βραχώμαζας και του εδάφους που θα χαραχθεί η σήραγγα.
- Μελέτη για την αποτελεσματικότερη εκσκαφή της διατομής της σήραγγας καθώς επίσης και για την λήψη κατάλληλων μέτρων προσωρινής στήριξης με βάση τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά. Με βάση την ταξινόμηση της βραχώμαζας σχεδιάζονται οι τυπικές διατομές διάνοιξης και τα μέτρα άμεσης υποστήριξης.
- Εκτέλεση της εκσκαφής χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα μέσα (συμβατικά ή εκρηκτικές ύλες). Η διάνοιξη μπορεί να πραγματοποιηθεί σε περισσότερες από μία φάσεις για την καλύτερη ευστάθεια αφού έτσι μικραίνει η επιφάνεια του μετώπου και

κατά συνέπεια μειώνονται οι συγκλίσεις των τοιχωμάτων. Η πιο συνηθής περίπτωση είναι η διάνοιξη της σήραγγας σε δύο φάσεις, την άνω διατομή (θόλος) και την κάτω διατομή (πυθμένας). Το βήμα προχώρησης κυμαίνεται από 1 έως 3 μέτρα τη μέρα.

- Εφαρμογή των κατάλληλων μέτρων προσωρινής υποστήριξης αμέσως μετά την εκσκαφή. Αυτά είναι συνήθως εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, αγκύρια, πλαίσια. Τα μέτρα τοποθετούνται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο μέτωπο ώστε να αποφεύγονται πιθανές συγκλίσεις και γενικότερα αποδιοργάνωση της βραχόμαζας. Σε ασθενής βραχόμαζες ή εδάφη με πολύ φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται πριν από την εκσκαφή δοκοί προπορείας με την μορφή ομπρέλας για την προστασία του μετώπου καθώς επίσης και για την προστασία των μέσων εκσκαφής και την ασφάλεια του προσωπικού. Η αρχική υποστήριξη θα πρέπει να εφαρμόζεται σε σύντομο χρονικό διάστημα καθώς ο χρόνος της εφαρμογής του από την εκσκαφή ελέγχει τις παραμορφώσεις της σήραγγας.
- Εγκατάσταση κατάλληλων οργάνων για τη συστηματική παρακολούθηση της συμπεριφοράς των γεωυλικών και της προσωρινής υποστήριξης δηλαδή για τις συγκλίσεις των τοιχωμάτων, τις πιέσεις που ασκεί η βραχόμαζα, την στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα καθώς και την θλιπτική τάση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Με τα νέα αυτά δεδομένα πραγματοποιείται και η συγκρισή τους με τα αρχικά της μελέτης και αναβαθμίζονται σύμφωνα με τα πραγματικά. Ακόμη χρησιμοποιούνται ως δεδομένα και για την τελική μόνιμη υποστήριξη.
- Τέλος αφού επέλθουν οι συνθήκες ισορροπίας πραγματοποιείται και η μόνιμη υποστήριξη η οποία είναι αυτή που θα καθορίσει την ύψιστη ασφάλεια στο χρόνο ζωής του τεχνικού έργου καθώς και τη βελτίωση της στεγανότητας του.

3.5.2.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ NATM

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου NATM σε σχέση με τις άλλες μεθόδους διάνοιξης (διάνοιξη με μηχανοποιημένο τρόπο TBM) είναι τα παρακάτω (Καββαδάς, 2004) :

Εύκολη προσαρμογή σε μεταβαλλόμενες γεωτεχνικές συνθήκες

- Εύκολη προσαρμογή στις μεταβολές της γεωμετρίας της διατομής καθώς επίσης και στη διάνοιξη μη-κυκλικών διατομών.
- Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται είναι μικρού κόστους, επομένως συμφέρει οικονομικά σε σήραγγες μικρού μήκους.
- Επιτρέπει την εύκολη στεγάνωση της σήραγγας με συνθετική μεμβράνη η οποία τοποθετείται στο διάστημα μεταξύ της άμεσης και της τελικής επένδυσης.

3.5.2.4 ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ NATM

Με τον όρο μηχανισμοί αστοχίας-συμπεριφοράς αναφέρονται, όλοι εκείνοι η μηχανισμοί διακινδύνευσης της ευστάθειας της διατομής μιας σήραγγας είτε όταν η βραχόμαζα εκσκάπτεται και δεν έχει υποστηριχθεί ακόμα είτε όταν έχουν τοποθετηθεί τα μέτρα άμεσης υποστήριξης και πλέον η βραχόμαζα συμπεριφέρεται ως σύνολο με το κέλυφος της προσωρινής υποστήριξης (Μαρίνος, 2010).

Οι τύποι των αστοχιών κατά την διάνοιξη μιας σήραγγας χωρίζεται σε δύο γενικές κατηγορίες. Αυτές είναι οι βαρυτικές αστοχίες και οι τασικές. Οι βαρυτικές αστοχίες οφείλονται στις δυνάμεις βαρύτητας και αναφέρονται σε μεσαία και μεγάλα τεμάχια (μπλοκ) τα οποία αποκολλούνται ή ολισθαίνουν κατά την διάνοιξη μιας σήραγγας καθώς επίσης και σε ζώνες ρηγμάτων ή και ζώνες μέτριας αποσάθρωσης όπου η συμπεριφορά της βραχόμαζας

εκδηλώνεται με φαινόμενα κατάπτωσης βράχων ή καταρροής υλικού. Όσον αφορά τις τασικές αστοχίες, πρόκειται για παραμορφώσεις που οφείλονται στην ανάπτυξη τάσεων κυρίως εξαιτίας του πάχους των υπερκείμενων σχηματισμών και επηρεαζόμενο σε σημαντικό βαθμό από το βαθμό κερματισμού. Οι τασικές παραμορφώσεις υπολογίζονται από τον λόγο αντοχής βραχόμαζας προς επιτόπου τάσεις (σ_{cm}/p_o).

Οι παραπάνω αστοχίες (βαρυτικές και τασικές) αναλύονται ως εξής (Μαρίνος, 2010):

- St: Ευσταθής διατομή με τοπικές μόνο βαρυτικές αστοχίες. Η βραχόμαζα είναι συμπαγής με περιορισμένες ασυνέχειες.
- Br: Ψαθυρή θραύση ή εκτίναξη ισχυρού βράχου σε πολύ μεγάλα βάθη.
- Wg: Σφηνοειδείς ολισθήσεις ή πτώσεις τεμαχών λόγω βαρύτητας. Ασήμαντες παραμορφώσεις. Η βραχόμαζα είναι μέτρια έως αρκετά κερματισμένη ορίζοντας μπλοκ προς ελεύθερη πτώση ή ολίσθηση. Η ευστάθεια ελέγχεται από τα χαρακτηριστικά των ασυνεχειών όπως η αντοχή των ασυνεχειών, η οποία εκφράζεται από τη γωνία τριβής (ϕ) και τη συνοχή (c), και τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά όπως η κλίση, η φορά κλίσης, η εμμόνη και η απόστασή τους. Ο λόγος της αντοχής της βραχόμαζας προς τις επιτόπου τάσεις (σ_{cm}/p_o) είναι μεγάλος ($> 0,6 - 0,7$) και δε δημιουργούνται συνθήκες παραμόρφωσης ($\epsilon < 1\%$).
- Ch: Κατάπτωση τύπου καμινάδας. Η βραχόμαζα είναι έντονα κερματισμένη διατηρώντας τις περισσότερες φορές τη δομή της (ή τουλάχιστον η βραχόμαζα περιμετρικά αυτής). Έχει συνήθως ανοικτή δομή χωρίς καλό αλληλοκλείδωμα και συνδυασμό πολλές φορές με τις μικρές πλευρικές τάσεις μπορεί να οδηγήσει σε καταπτώσεις που προοδευτικά αναπτύσσονται και δημιουργούν υπερεκκαφή τύπου καμινάδας, η οποία μπορεί ή όχι να γεφυρώνεται (εξαρτώμενη από τις επιτόπου συνθήκες) πάνω από τη σήραγγα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και περιπτώσεις πλήρως αποδιοργανωμένης βραχόμαζας ακόμα και σε μεγάλα υπερκείμενα με μεγάλες πλευρικές τάσεις.
- Rv: Καταρροή βραχόμαζας. Η βραχόμαζα είναι αποδιοργανωμένη και συντετριμμένη ή φυλλοποιημένη με μηδενική πρακτικά συνοχή και εξαρτώμενη από το βαθμό αλληλοκλειδώματος (ανοικτή ή κλειστή δομή) των άρρηκτων τεμαχών (περίπτωση Rv1) αλλά και πιθανών δευτερογενών υλικών, π.χ αργίλου (περίπτωση Rv2), μπορεί να προκαλέσει άμεση γενική καταρροή της βραχόμαζας στο εσωτερικό και το μέτωπο της σήραγγας. Η διαφορά σχέση με την κατάπτωση τύπου καμινάδας (Ch) έγκειται στο μέγεθος των τεμαχών όπου εδώ είναι πολύ μικρό, στο χρόνο κατάπτωσης, όπου εδώ εκδηλώνεται άμεσα, και πολλές φορές στην έκταση της αστοχίας όπου εδώ μπορεί να είναι μεγαλύτερη λόγω αδυναμίας εύρεσης βραχόμαζας με καλύτερο αλληλοκλείδωμα για να γεφυρώσει σχετικά άμεσα πάνω από τη σήραγγα.
- Fl: Ροή βραχόμαζας με έντονη παρουσία νερού. Η βραχόμαζα είναι κατακερματισμένη και αποδιοργανωμένη με μηδενική συνοχή, με έντονη παρουσία υπόγειου νερού, ανάμεσα στα τεμάχια, προκαλεί άμεση ροή βραχόμαζας και νερού στο εσωτερικό της σήραγγας.
- Sh: Μικρές έως μέτριες παραμορφώσεις με την εκδήλωση διατμητικών αστοχιών σε ζώνη μικρής έκτασης περιμετρικά της σήραγγας. Η βραχόμαζα αποτελείται από τεμάχια άρρηκτου βράχου μικρής αντοχής (συνήθως $\sigma_{ci} < 15 \text{ MPa}$) ενώ η δομή της βραχόμαζας, μέσω του GSI, μειώνει περαιτέρω την αντοχή αυτή. Το βάρος των υπερκείμενων για την εκδήλωση των παραμορφώσεων είναι είτε μικρό έως μέτριο (περί τα 50m) στην περίπτωση πτωχής ποιότητας διατμημένης βραχόμαζας, είτε μεγαλύτερο για καλύτερης ποιότητας βραχόμαζες. Ο λόγος του σ_{cm}/p_o στην περίπτωση αυτή είναι μικρός ($0,3 < \sigma_{cm}/p_o < 0,6$) και αναμένονται ή παρατηρούνται μέτριες παραμορφώσεις ($1 - 2,5\%$).
- Sq: Σημαντικές παραμορφώσεις λόγω υπερφόρτισης από την εκδήλωση διατμητικών αστοχιών σε εκτεταμένη ζώνη περιμετρικά της σήραγγας. Η βραχόμαζα αποτελείται από τεμάχια άρρηκτου βράχου μικρής αντοχής ($\sigma_{ci} < 15 \text{ MPa}$), ενώ η δομή της βραχόμαζας, μέσω του GSI,

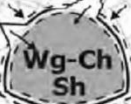
μειώνει περαιτέρω την αντοχή αυτή. Ο λόγος του $\sigma_{cm}/\rho\sigma$ στην περίπτωση αυτή είναι μικρός ($\sigma_{cm}/\rho\sigma < 0,3$) και αναμένονται ή παρατηρούνται παραμορφώσεις $>2,5\%$, ενώ μπορεί να εκδηλώνονται και παραμορφώσεις στο μέτωπο προκαλώντας πλέον ένα πρόβλημα τριών διαστάσεων.

- Sw: Διογκούμενο έδαφος. Η βραχώμαζα αποτελείται από σημαντική παρουσία διογκούμενων ορυκτών όπως μοντμοριλονίτης, σμεκτίτης, ανυδρίτης κ.α τα οποία με την παρουσία νερού, ακόμα και της υγρασίας του εσωτερικού περιβάλλοντος της σήραγγας, διογκώνονται και μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές παραμορφώσεις (π.χ η ανεμπόδιστη διόγκωση του ανυδρίτη τα 60%). Αυτές εκδηλώνονται κυρίως στο δάπεδο της σήραγγας όταν αυτό δεν είναι κλειστό.
- San: Ανισότροπες παραμορφώσεις. Η βραχώμαζα είναι ετερογενής (στρωσιγενής ή περιέχει συστηματικές ζώνες αδυναμίας) και ανάλογα με τον προσανατολισμό των επιφανειών (π.χ στρώσεων), σε σχέση με την σήραγγα μπορεί να συμπεριφερθεί ανισότροπα όσον αφορά τις παραμορφώσεις.

Οι παραπάνω αστοχίες προέκυψαν από το σύστημα εκτίμησης της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς TBC (Tunnel Behaviour Chart) που χρησιμοποιείται κατά την διάνοιξη σηράγγων. Το TBC (Μαρίνος, 2007) ουσιαστικά είναι ένα διάγραμμα βασισμένο σε τρεις αρχές οι οποίες είναι ο χαρακτηρισμός της δομής της βραχώμαζας, η αντοχή του άρρηκτου βράχου (σ_{ci}) και το ύψος των υπερκειμένων (H). Η διάκριση των παραμέτρων (σ_{ci}) και ύψους υπερκειμένων (H) στο παρακάτω διάγραμμα δεν χαρακτηρίζονται άμεσα ποσοτικά αλλά διακρίνεται ποιοτικά η επιλογή χαμηλών και υψηλών τιμών. Για την καλύτερη κατανόηση αυτού δεχόμαστε ότι : (Μαρίνος, 2010)

- Η δομή μπορεί να καθορίσει τη δυναμική συμπεριφορά της βραχώμαζας κατά τη διάνοιξη της σήραγγας. Στο προτεινόμενο διάγραμμα λοιπόν χρησιμοποιούνται οι τυποποιημένες μορφές των δομών του GSI.
- Οι συμπεριφορές που προτείνονται αφορούν παρατηρήσεις σε σήραγγες με συνήθη βάθη από 30m έως 300m. Το βάθος όσον αφορά τις βαρυτικές αστοχίες γενικά μπορεί να καθορίζει το πόσο εκτεταμένες μπορεί να είναι οι καταπτώσεις ανάλογα με τις πλευρικές συμπίεσεις που μπορεί να δέχεται το πέτρωμα (π.χ. μία βραχώμαζα η οποία παρουσιάζει φαινόμενα καταρροής σε μικρά υπερκείμενα, σε μεγαλύτερα μπορεί να περιορίζεται με καταπτώσεις τύπου καμινάδας). Όσον αφορά τις τασικές - διατμητικές αστοχίες της βραχώμαζας, το πάχος των υπερκειμένων καθορίζει το πότε ξεκινούν οι διατμητικές αστοχίες και ποιά η έκταση των παραμορφώσεων. Τα όρια αυτά εκτιμώνται ως εξής: 150m για τις πολύ καλές δομές (άρρηκτη και κερματισμένη-αδιατάρακτη στρωματώδης), 100m για τις πολύ κερματισμένες και 70 m για τις πτωχές δομές (διαταραγμένη - πτυχωμένη, αποδιοργανωμένη, φυλλώδης-διατμημένη).
- Τα όρια των τιμών σ_{ci} που ορίζουν την συμπεριφορά καθορίζονται κυρίως με βάση το όριο όπου δεν εμφανίζονται τασικές αστοχίες. Το όριο αυτό είναι γενικά 15MPa.

Πίνακας 6. Διάγραμμα εκτίμησης της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς της βραχομάζας (TBC) (Μαρίνος, 2010)

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ (TBC) B. Μαρίνος (2007)		ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΑ			
		Μικρό πάχος ($H < <$)		Μεγάλο πάχος ($H > >$)	
		ΑΝΤΟΧΗ ΑΡΡΗΚΤΟΥ ΒΡΑΧΟΥ (σ_c)			
ΔΟΜΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ (ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ GSI)	$\sigma_c < <$	$\sigma_c > >$	$\sigma_c < <$	$\sigma_c > >$	
 ΑΡΡΗΚΤΗ Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άσπρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση					
 ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ/ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ- ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ Αδιατάρακτη βραχομάζα με πολύ καλό αλληλοκλειδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών					
 ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ Μερικώς διαταραγμένη βραχομάζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών					
 ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας					
 ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ Ισχυρά κερματισμένη βραχομάζα με πτωχό αλληλοκλειδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιώδων και αποστραγγυλωμένων τεμαχίων					
 ΦΥΛΛΩΔΗΣ/ ΔΙΑΤΜΗΜΕΝΗ Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχομάζα. Η φύλλωση επικρατεί έναντι οποιαδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιώδων τεμαχίων (η κλίμακα σε αυτό το εκάντιδο δεν συγκρίνεται με αυτή των άλλων εκάντιδων)					

Κατηγορίες Τεχνικογεωλογικής Συμπεριφοράς Ανυποστήρικτης Διατομής	
St (Stable):	Ευσταθής διατομή με τοπικές μόνο βαρυτικές αστοχίες
Wg (Wedge failure):	Σφηνοειδείς ολισθήσεις ή πτώσεις τεμαχίων λόγω βαρύτητας
Ch (Chimney failure):	Αστοχία τύπου «καμινάδας»
Rv (Ravelling ground):	Καταρροή βραχομάζας
Sh (Shearing failures in shallow zone around the tunnel perimeter):	Μικρές έως μέτριες παραμορφώσεις με την εκδήλωση διατμητικών αστοχιών σε ζώνη μικρή έκτασης περιμετρικά της σήραγγας χωρίς όμως να αποκλείονται τοπικά και αστοχίες τεμαχίων λόγω βαρύτητας
Sq (Squeezing ground):	Σημαντικές παραμορφώσεις λόγω υπερφορτίσης από την εκδήλωση διατμητικών αστοχιών σε εκτεταμένη ζώνη περιμετρικά της σήραγγας

Η τεχνικογεωλογική συμπεριφορά μπορεί να ελέγχεται και από δύο ή ακόμα και τρεις τύπους κατηγορίας (π.χ. Sh-Ch) αλλά και από ενδιάμεσες συνθήκες δύο κατηγοριών που ανήκουν στον ίδιο γενικό μηχανισμό συμπεριφοράς (π.χ. βαρυτικές αστοχίες: Wg-Ch).

Σημειώσεις:

- * Η ένταση παρουσία αργίλου είτε στις ασυνέχειες ως επιφωμίσεις είτε ως ζώνες μέσα στη βραχομάζα μπορεί να μετακινεί τον τύπο των κινηματικών αστοχιών μόνο προς τα κάτω στο παραπάνω διάγραμμα (π.χ. από Wg [9] → Ch [13]).
- * Η παρουσία νερού επηρεάζει τον συντελεστή ασφαλείας και όχι τον μηχανισμό της συμπεριφοράς. Οι περιπτώσεις που επηρεάζει αφορούν κυρίως στις δομές «διαταραγμένη-στρωματώδης» και «αποδιοργανωμένη» όπου η έντονη παρουσία νερού είναι πιθανό να «μετακινήσει» τη συμπεριφορά από μια κατάσταση τύπου καμινάδας (Ch) ή συνεχής κατάρρευση και καταρροή (Rv) σε ροή εκδύφους (F). Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην παρουσία νερού σε ζώνες υψηλής περατότητας (κερματισμένες ζώνες ρηγάτων) ή σε ενσφαιρικές οι οποίες έχουν «φραγεί» από ζώνες πολύ χαμηλής περατότητας (διατμητικές ζώνες ρηγάτων με έντονη παρουσία αργιλοποιημένων γεωλικών).
- * Η ποιότητα των ασυνεχειών, το δεύτερο στοιχείο του GSI, συμβάλλει στην ένταση του φαινομένου της συγκεκριμένης συμπεριφοράς.
- * Ο πίνακας δεν αφορά περιπτώσεις πολύ μεγάλου πάχους υπερκειμένων (π.χ. πολλές εκατοντάδες m ή πάνω από 1000 m).
- * Επί τούτων δεν ορίζονται όρια στο πάχος των υπερκειμένων ούτε στις τιμές της αντοχής του άρρηκτου πετρώματος, ώστε ο πίνακας αυτός να μην κινδυνεύει να υποκαταστήσει από μη έμπειρους χρήστες. Σκοπός του πίνακα είναι να δώσει τη λογική και τους μηχανισμούς της αστάθειας στις διάφορες περιπτώσεις τύπων βραχομάζας στη φύση. Εν πάσει περιπτώσει θα μπορούσε να θεωρηθεί κανείς εντελώς ενδεικτικό ως κατωρρήν όριο $\sigma_{ci} = 15 \text{ MPa}$.

3.5.3 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΚΑΙ ΜΟΝΙΜΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

3.5.3.1 ΜΕΤΡΑ ΑΜΕΣΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

Ο κατάλληλος σχεδιασμός των διατομών άμεσης υποστήριξης στηρίζεται σε δύο κριτήρια. Αυτά είναι η επιλογή των μέτρων υποστήριξης και η διαστασιολόγησή τους. Απαραίτητο συστατικό όλων αποτελεί η γεωτεχνική συμπεριφορά του υλικού, η οποία είναι αυτή που θα καθορίσει την επιλογή των μέτρων που θα χρησιμοποιηθούν. Η επιλογή αυτή στηρίζεται περισσότερο σε εμπειρικές μεθόδους και στη γεωτεχνική αντίληψη και λιγότερο σε μαθηματικές αναλύσεις και υπολογισμούς (Μαρίνος, 2010).

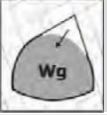
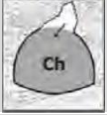
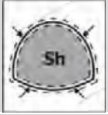
Τα κυριότερα μέτρα υποστήριξης της διατομής των σηράγγων είναι τα ακόλουθα (Ηλίας, 2014):

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με μεταλλικό πλέγμα και μεταλλικές ίνες οπλισμού
- Αγκύρια βράχου
- Μεταλλικά πλαίσια
- Ελαφρά βλήτρα προπορείας (Spiles)
- Ομπρέλα βαριών δοκών προπορείας (Forepole umbrella)
- Μέτρα θεμελίωσης κελύφου
- Προσωρινό ανάστροφο τόξο
- Μόνιμο ανάστροφο τόξο
- Δοκοί προπορείας
- Αγκύρια μετώπου – υαλόκαρφα
- Ολισθαίνουσα (ενδίδουσα) υποστήριξη
- Ένεμα για τη βελτίωση του υλικού (Grouting)
- Αποστραγγιστικές και ανακουφιστικές οπές

Σε προηγούμενο υποκεφάλαιο αναφέρθηκαν οι διάφορες κατηγορίες αστοχιών που μπορούν να προκύψουν κατά την εκσκαφή μίας υπόγειας σήραγγας. Με βάση τις παραπάνω κατηγορίες, στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται και οι διατομές προσωρινών μέτρων υποστήριξης. Ο πίνακας αυτός βασίζεται σε ένα μεγάλο εύρος τεχνικών σηράγγων της Εγνατίας οδού που πραγματοποιήθηκαν πολλές αναλύσεις για την καλύτερη δυνατή κατανόηση και επιλογή της κατάλληλης διατομής ανάλογα με τον τύπο αστοχίας. Βέβαια οι αναλύσεις ώστε να προκύψουν τα παρακάτω αποτελέσματα πραγματοποιήθηκαν υπό συγκεκριμένες συνθήκες και αναφέρονται σε (Μαρίνος, 2010) :

- Πάχος υπερκείμενων έως 300 μέτρα,
- Διάνοιξη σηράγγων πεταλοειδούς διατομής διάστασης 100-120 m²,
- Διάνοιξη με συμβατικά μηχανικά μέσα ή με διατρήματα και ανατινάξεις και
- Διάνοιξη σε δύο τουλάχιστον φάσεις

Πίνακας 7. Διατομές άμεσης υποστήριξης σηράγγων ανά κατηγορία συμπεριφοράς βραχώμαζας (Μαρίνος, 2010).

	St	Wg	Ch	Rv	Sh	Sq
						
Βήμα προχώρησης	< 3 m στην άνω διατομή	2 – 3 m στην άνω ημιδιατομή	1,5 – 2 m στην ημιδιατομή	1 – 1,5 m στην άνω ημιδιατομή	1,5 – 2 m	1 m
Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	5 cm	5 – 10 cm	10 – 15 cm	20 – 25 cm	20 – 25 cm	25 – 35 cm
Αγκύρια	Σημειική τοποθέτηση, όπου κρίνεται απαραίτητο	Αραιός κάναβος (π.χ 3m*3m) και μήκος ανάλογο με τα χαρακτηριστικά των σφηνών	Πυκνός κάναβος (π.χ 1,5m*1,5m) και ανάλογο με τα χαρακτηριστικά των τεμάχων προς ολίσθηση	Πυκνός κάναβος (π.χ 1,5m*1,5m) και μήκος 3 – 4 m, πλήρους πάκτωσης για την όσο το δυνατόν καλύτερη ενίσχυση και πρόσδεση συνοχής στο υλικό	Κάναβος 1,5 – 2m x 1,5 – 2m και μήκος 5 – 5 m	Κάναβος 1 – 1,5 m x 1 – 1,5 m, 6 – 9 m μήκος στο θόλο της σήραγγας
Πλαίσια		HEB120 ή αντίστοιχα Lattice Girders όπου απαιτείται ανάλογα και με τον κερματισμό της βραχώμαζας	HEB120 - 140 ή αντίστοιχα Lattice Girders, πιθανώς με Elephant Foot	HEB140 - HEB160 ή αντίστοιχα Lattice Girders, με Elephant Foot	HEB120 - HEB140 ή αντίστοιχα Lattice Girders, με Elephant Foot	HEB160 - HEB180 ή αντίστοιχα Lattice Girders, με Elephant Foot
Θεμελίωση κελύφους				Σε περίπτωση που χρειαστεί ενίσχυση της περιοχής θεμελίωσης μπορεί να γίνει χρήση μικροπασσάλων, ενεμάτωσης ή/και διαμόρφωση προσωρινού ανάστροφου τόξου		Ενδεχομένως (Μικροπασσαλοί)
Αγκύρια μετώπου					Σε ειδικές περιπτώσεις τοποθέτηση αγκυρίων fiberglass για λόγους $\sigma_{cm}/\rho < 0,3$ – 0,5	Τοποθέτηση αγκυρίων fiberglass για λόγους $\sigma_{cm}/\rho < 0,3$ για τον περιορισμό ασταθειών μετώπου
Δοκοί προπορείας			Διαμέτρου 25 – 32 mm και μήκους 5-6 m, σημαντικό μέγεθος στα spiles είναι η πυκνότητά τους και όχι τόσο το μήκος ή η διάμετρος τους. Το μήκος που προτείνεται για τα spiles είναι περισσότερο κατασκευαστικό, καθώς αυτά δεν πρόκειται να παραλάβουν κάποια φορτία	Διαμέτρου 51 – 76 mm και μήκους 5 – 6 m, το σημαντικό μέγεθος στα spiles είναι η πυκνότητά τους και όχι τόσο το μήκος ή η διάμετρος τους		Διαμέτρου Φ114/101 mm και μήκους 12 m
Πυρήνας μετώπου			Αναλόγως με 5 cm εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στο μέτωπο	Ναι με 5 cm εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στο μέτωπο	Πιθανόν αν η βραχώμαζα έχει πτωχή δομή	Ναι
Προσωρινό ανάστροφο τόξο				Πιθανώς αν υπάρχουν και θέματα παραμορφώσεων	Πιθανώς ($\sigma_{cm}/\rho < 0,4$)	Ναι

Μόνιμο ανάστροφο τόξο					Πιθανώς (scm/ro<0,4)	Ναι
Αποστράγγιση		Αναλόγως των συνθηκών υπόγειων υδάτων	Αναλόγως των συνθηκών υπογείων υδάτων απαιτείται καλή αποστράγγιση διότι διευκολύνουν τις καταπτώσεις αυτές	Για περιορισμένη παρουσία νερού χρειάζεται καλή αποστράγγιση διότι διαταράσσει το αλληλοκλείδωμα των τεμαχίων και μειώνει τις ενεργές τάσεις	Αναλόγως των συνθηκών υπόγειων υδάτων απαιτείται ανακούφιση από τις πιέσεις των νερών.	Αναλόγως των συνθηκών υπόγειων υδάτων απαιτείται ανακούφιση από τις πιέσεις των νερών
Παρατηρήσεις	Πιθανώς να υπάρχει δυνατότητα ολομέτρητης διάνοιξης. Άμεση τοποθέτηση εκτ.σκυροδέματος για τη συγκράτηση μικροτεμαχίων πιθανώς προκληθέντων από τη διαταραχή της εκσκαφής.	Το βήμα εκσκαφής θα πρέπει να καθορίζεται από την ανάγκη περιορισμού των σφηνών ανάλογα του μεγέθους και του χρόνου αυτοϋποστήριξής τους (π.χ πόσο χαλαρή μπορεί να είναι η βραχώμαζα, ποιότητα εκσκαφής, ελεύθερες πτώσεις κ.α.). Άμεσο σφράγισμα των τεμαχίων της βραχώμαζας για παρεμπόδιση της χαλάρωσής τους και ενδεχόμενης πτώσης ή ολίσθησής τους και την συνέχιση ασφαλέστερης τοποθέτησης των άλλων μέτρων. Η φιλοσοφία τοποθέτησης πυκνού κανάβου αγκυρίων σε συνδυασμό με τα πλαίσια ενσωματωμένα στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα περιορίζουν τη βραχώμαζα (τα δικτυωτά πλαίσια συντελούν στην κατεύθυνση αυτή). Η ενεμάτωση των αγκυρίων σε ευρύτερη έκταση της περιβάλλουσας βραχώμαζας την ενισχύει έναντι ολίσθησης. Πιθανή ανάγκη χρησιμοποίησης αυτοδιατρυμένων αγκυρίων, μέτριο (ανάλογα την ποιότητα της βραχώμαζας και των άλλων συνθηκών) βήμα εκσκαφής μπορεί να βοηθήσει στον περιορισμό της βραχώμαζας και μη ενεργοποίησης και διαταραχής ευρύτερης ζώνης γύρω από τη σήραγγα. Βέβαια, πρέπει να καθορίζεται και από τα μεγέθη των υπό ολίσθηση τεμαχίων	Άμεσο σφράγισμα των τεμαχίων της βραχώμαζας για παρεμπόδιση της χαλάρωσής τους και ενδεχόμενης πτώσης ή ολίσθησής τους και την συνέχιση ασφαλέστερης τοποθέτησης των άλλων μέτρων. Η φιλοσοφία τοποθέτησης πυκνού κανάβου αγκυρίων σε συνδυασμό με τα πλαίσια ενσωματωμένα στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα περιορίζουν τη βραχώμαζα (τα δικτυωτά πλαίσια συντελούν στην κατεύθυνση αυτή). Η ενεμάτωση των αγκυρίων σε ευρύτερη έκταση της περιβάλλουσας βραχώμαζας την ενισχύει έναντι ολίσθησης. Πιθανή ανάγκη χρησιμοποίησης αυτοδιατρυμένων αγκυρίων, μέτριο (ανάλογα την ποιότητα της βραχώμαζας και των άλλων συνθηκών) βήμα εκσκαφής μπορεί να βοηθήσει στον περιορισμό της βραχώμαζας και μη ενεργοποίησης και διαταραχής ευρύτερης ζώνης γύρω από τη σήραγγα. Βέβαια, πρέπει να καθορίζεται και από τα μεγέθη των υπό ολίσθηση τεμαχίων	Τα μικρά έως μέτρια (ανάλογα με την ποιότητα της βραχώμαζας και των άλλων επιτόπου συνθηκών) βήμα εκσκαφής μπορεί να βοηθήσει στον περιορισμό της βραχώμαζας και μη ενεργοποίησης και διαταραχής ευρύτερης ζώνης γύρω από τη σήραγγα. Άμεσο σφράγισμα-περιορισμός των τεμαχίων της βραχώμαζας για τη συγκράτηση της βραχώμαζας έναντι καταρροής. Για την ενίσχυση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος προτείνεται η χρήση μεταλλικού πλέγματος μικρού κανάβου για την άμεση δυνατότητα συγκράτησης των χαλαρών τεμαχίων βράχου. Προτείνονται αυτοδιατρυόμενα αγκύρια λόγω της άμεσης καταρροής των οπών διάτρησης. Στο θόλο της σήραγγας μπορεί να προταθεί απλές τσιμεντενέσεις, οι οποίες είναι δυνατόν εν μέρει να επιτευχθούν μέσω οπών των spiles. Δεν απαιτείται η δημιουργία ισχυρού κελύφους αφού δεν προβλέπονται στην κατηγορία αυτή παραμορφώσεις.	Το ακριβές πάχος του εκτ.σκυροδέματος, το μήκος των αγκυρίων και τα χαρακτηριστικά αντοχής τους καθορίζονται από την αντοχή της βραχώμαζας και τις επιτόπου συνθήκες.	Το ακριβές πάχος του εκτ.σκυροδέματος, το μήκος των αγκυρίων και τα χαρακτηριστικά αντοχής τους καθορίζονται από την αντοχή της βραχώμαζας και τις επιτόπου συνθήκες. Πολύ πυκνός κανάβος αγκυρίων fiberglass στο μέτωπο, μη τοποθέτηση forepolling, πυκνός κανάβος αγκυρίων στο θόλο και τις παρειές και γρήγορο κλείσιμο του προσωρινού ανάστρου. Όταν scm/ro<0,15 και τα προβλήματα παραμορφώσεων είναι πολύ μεγάλα, η φιλοσοφία της άμεσης υποστήριξης επικεντρώνεται στον έλεγχο και περιορισμό των παραμορφώσεων με ολισθαίνουσες διατάξεις (εύκαμπτη υποστήριξη) για την ελεγχόμενη παραμόρφωση της βραχώμαζας και την ακολουθεί μείωση των πιέσεων που θα κληθεί να παραλάβει τελική διατομή όταν και θα λειτουργεί ως άκαμπτη.

3.5.3.2 ΜΕΤΡΑ ΜΟΝΙΜΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

Όσον αφορά την τελική επένδυση έχει ως στόχο να παραλάβει τα υδραυλικά φορτία σε μακροχρόνια βάση καθώς επίσης να επιφέρει την πλήρη στεγανότητα του έργου και την καλή οπτική αισθητική του εσωτερικού της σήραγγας.

Τα μέτρα άμεσης υποστήριξης δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν στο ρόλο της μόνιμης και τελικής επένδυσης και συνήθως θεωρείται ότι παύουν να παραλαμβάνουν φορτία μετά την

εφαρμογή αυτής στην πάροδο του χρόνου. Αυτό συμβαίνει γιατί το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα της άμεσης υποστήριξης έρπεται σε μεγαλύτερο βαθμό από τον έγχυτο σκυρόδεμα της μόνιμης υποστήριξης, τα χαλύβδινα πλαίσια δεν έχουν την πλήρη επικάλυψη με αποτέλεσμα να είναι πιο επιρρεπείς στη διάβρωση και τέλος τα αγκύρια διαβρώνονται με αποτέλεσμα να έρπουν.

Η μόνιμη υποστήριξη βασίζεται σε 2 βασικές αρχές σχεδιασμού οι οποίες είναι:

- η τελική επένδυση αναλαμβάνει μερικό ή συνολικό φορτίο της περιβάλλουσας βραχώμαζας
- η εφαρμογή της πραγματοποιείται μετά από την συνολική διάνοιξη της σήραγγας και την επίτευξη της προσωρινής υποστήριξης και εφόσον έχει επέλθει η ισορροπία από την άμεση υποστήριξη.

Τα φορτία που θα αναλάβει η τελική επένδυση είναι τα εξής:

- Τα φορτία των προσωρινών αγκυρίων καθώς αυτά μπορεί να διαβρωθούν
- το φορτίο των χαλύβδινων πλαισίων όταν αυτά διαβρώνονται εξαιτίας της μη επαρκούς επικάλυψης καθώς και το φορτίο του εκτοξευόμενου σκυροδέματος όταν αυτό έρπεται σε μεγάλο βαθμό.
- Μέρος του φορτίου που δεν μπορεί να παραλάβει το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα της άμεσης υποστήριξης ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις ασφαλείας ενός μόνιμου έργου.
- Ενδεχόμενα αυξημένα φορτία που δημιουργούνται από ερπυσμό σε βάθος χρόνου
- Υδροστατικές πιέσεις εξαιτίας της ελλιπής αποστράγγισης ή απότομης απόφραξης του συστήματος της αποστράγγισης
- Φορτία που μπορούν να ασκηθούν από τυχόν μετέπειτα κατασκευές
- Φορτία λόγω σεισμικότητας

3.5.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΜΕ ΜΗΧΑΝΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΤΡΟΠΟ (ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΟΛΟΜΕΤΩΠΗΣ ΚΟΠΗΣ)

Οι εκρηκτικές ύλες, κατά την διάνοιξη σιηράγγων μπορούν να επηρεάσουν την βραχώμαζα γύρω από το μέτωπο της εκσκαφής εξαιτίας της θραύσης που προκαλούν καθώς επίσης η μέθοδος αυτή πραγματοποιείται σε πολλές φάσεις με νεκρά διαστήματα μεταξύ των φάσεων αυτών. Έτσι αναπτύχθηκε η μέθοδος διάνοιξης με μηχανοποιημένο τρόπο όπου πρόκειται για μηχανήματα ολομέτωπης κοπής (TBM) (Καλιαμπάκος, χ.χ).

3.5.4.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΟΛΟΜΕΤΩΠΗΣ ΚΟΠΗΣ

- Μηχανές χωρίς ασπίδα: χρησιμοποιείται για σκληρά πετρώματα και δεν χρησιμοποιεί ασπίδα αφού πρόκειται για σταθερά πετρώματα. Το μηχάνημα σταθεροποιείται με έμβολα στα πλευρικά τοιχώματα της σήραγγας και η προώθηση της κοπτικής κεφαλής πραγματοποιείται από μία ή περισσότερες σειρές τηλεσκοπικών κυλίνδρων.
- Μηχανές με ασπίδα (μονή ή διπλή): χρησιμοποιείται για πετρώματα μέσης ή μικρής αντοχής. Η εκσκαφή και η αντιστήριξη της σήραγγας πραγματοποιείται μέσα στην προστατευόμενη περιοχή της ασπίδας. Η αντιστήριξη πραγματοποιείται με τοποθέτηση προκατασκευασμένων δακτυλίων από οπλισμένο σκυρόδεμα οι οποίοι μπορούν να κατασκευαστούν είτε απευθείας για μόνιμη υποστήριξη, είτε για προσωρινή ακολουθούμενοι από την σκυροδέτηση της διατομής στην τελική φάση. Σε σύγκριση

με τα μηχανήματα ανοιχτού τύπου η προώθηση των μηχανών με ασπίδα περιορίζεται από την ταχύτητα τοποθετήσεως των δακτυλίων αντιστηρίξεως.

- Μηχανές για ειδικές συνθήκες (EPB): χρησιμοποιείται για πολύ φτωχή βραχώμαζα. Αποτελείται από μία ισχυρή ασπίδα (cutterhead) η οποία προστατεύει το πρόσωπο της ασκώντας πίεση μέσω ενός ρευστου. Τα μηχανήματα αυτά είναι τα πλέον κατάλληλα για διάνοιξη σήραγγων που υπάρχουν ασταθή υλικά καθώς επίσης είναι και κατάλληλα στις περιπτώσεις εισροών υδάτων αφού υποστηρίζει τα τοιχώματα φράζοντάς τα με ρευστό μπετονίτη.

4 - ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΝΗΣΟΥ ΛΕΣΒΟΥ – ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

4.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΛΕΣΒΟΥ

Όπως είναι γνωστό η γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας αποτελεί μια σύνθετη ενότητα στον κλάδο της Γεωλογίας. Η νήσος Λέσβος προβληματίσε σε μεγάλο βαθμό τους γεωλόγους μελετητές, αποτελώντας μία από τις δυσκολότερες περιοχές μελέτης με πολυάριθμες γεωλογικές και τεκτονικές δραστηριότητες με αποτέλεσμα να είναι ιδιαίτερα δύσκολη η απόφαση ως προς την ένταξή της σε μία από τις γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας. Υπήρξαν διάφορες απόψεις βασισμένες σε διαφορετικές θεωρίες οι κυριότερες από τις οποίες αναφέρονται αναλυτικά παρακάτω.

4.1.1 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΕΝΤΑΞΗΣ ΛΕΣΒΟΥ ΣΤΙΣ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ

Οι Ελληνίδες ζώνες αναπτύσσονται σε μία γενική διεύθυνση ΒΒΔ – ΝΝΑ και στο χώρο του Αιγαίου στρέφονται αλλάζοντας έτσι την διεύθυνση τους σε Α – Δ και στην συνέχεια καταλήγουν σε διεύθυνση ΒΑ – ΝΔ. Η στροφική αυτή μετατόπιση των γεωτεκτονικών ζωνών καθώς και η κάλυψή τους στην περιοχή του Αιγαίου από το νερό της θάλασσας δυσκόλεψαν τους ερευνητές ώστε να κατανοήσουν σε ποια ζώνη συγκεκριμένα ανήκει η νήσος Λέσβος. Ένας ακόμη λόγος που συντέλεσε αρνητικά στο πρόβλημα αυτό είναι το γεγονός ότι το μεγαλύτερο κομμάτι του νησιού είναι καλυμμένο από ηφαιστειακά πετρώματα του Νεογενούς. Το τελευταίο και κυριότερο στοιχείο που προβληματίσε τους γεωλόγους μελετητές ήταν οι μεγάλες οφιολιθικές μάζες που βρίσκονται στο ΝΑ κομμάτι του νησιού και η σύνδεσή τους με τις οφιολιθικές λωρίδες (ΕΡΟ και ΙΡΟ) του Ελληνικού χώρου αλλά και της Μικράς Ασίας.

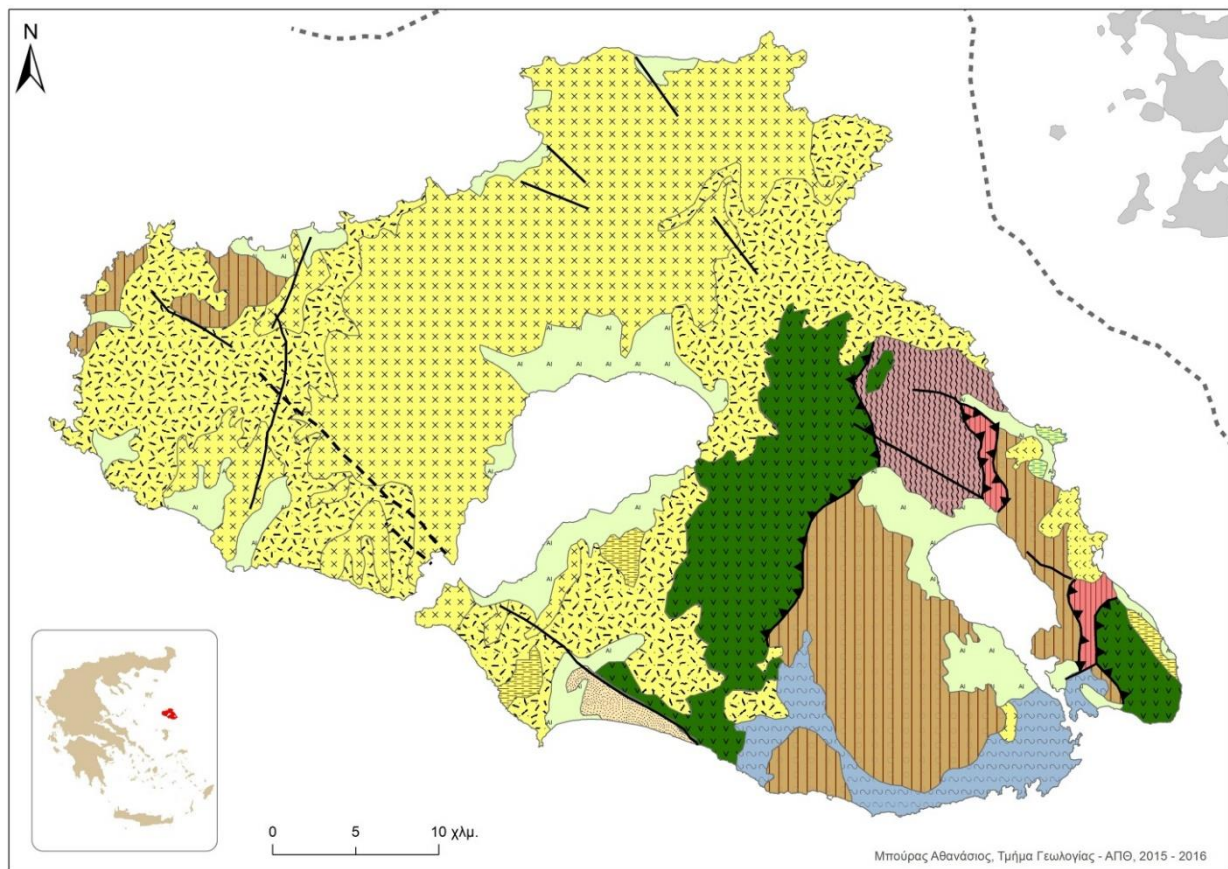
Αρχικά σύμφωνα με τον Brunh (1961) και τον Μαράτο (1972) το νησί της Λέσβου εντάχθηκε στην μάζα της Ροδόπης εξαιτίας των ηφαιστειακών πετρωμάτων του Τριτογενούς τους οποίους συναντάμε και στην περιοχή της Θράκης. Την άποψη αυτή ενίσχυσε το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Λέσβου που είναι αντίστοιχο με αυτό της μάζας της Ροδόπης. Ο προβληματισμός αυτός βέβαια δεν σταμάτησε εκεί καθώς υπήρξαν 2 διαφορετικές απόψεις που έδιναν διαφορετική λύση στο πρόβλημα. Οι μεταγενέστερες αυτές απόψεις είχαν ως κριτήριο τις οφιολιθικές βραχώμαζες. Συγκεκριμένα ο Hecht (1972) στήριξε την άποψη ότι οι οφιόλιθοι είναι συνέχεια της ζώνης Αξιού και το μεταμορφωμένο υπόβαθρο είναι αντίστοιχο επίσης της ζώνης αυτής.

Η δεύτερη άποψη σύμφωνα με τον Μουντράκη (1983) και τον Κατσικάτσο (1986) έλεγε ότι οι οφιόλιθοι της Λέσβου είναι συνέχεια της Υποπελαγονικής και τα μεταμορφωμένα πετρώματα ανήκουν στην ζώνη της Πελαγονικής. Αυτή η άποψη στηρίχθηκε και αργότερα με νεότερες έρευνες ταυτίζοντας την οφιολιθική μάζα της Λέσβου περισσότερο με τους οφιόλιθους της Υποπελαγονικής ζώνης όπου συνοδεύεται με την παρουσία σημαντικών μεταμορφωμένων πετρωμάτων στη βάση των οφιολίθων (μεταμορφική σόλα) καθώς και με μία ενότητα τεκτονικών μειγμάτων που βρίσκονται όλα τοποθετημένα σε ένα ηπειρωτικό περιθώριο όπως αυτό το δυτικό της Πελαγονικής. (Θωμάϊδου, 2009).

4.1.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η νήσος Λέσβος γεωλογικά αποτελείται από πετρώματα που συναντάει κανείς κυρίως στις εσωτερικές Ελληνίδες. Σύμφωνα με τους Hecht (1972) και Katsikatos et al (1986) το νησί περιέχει μία ενότητα προαλπικών και αλπικών πετρωμάτων που καταλαμβάνει σχεδόν ολόκληρο το Νοτιοανατολικό άκρο. Μικρές είναι οι εμφανίσεις αυτών των σχηματισμών στο υπόλοιπο τμήμα του νησιού καθώς το μεγαλύτερο μέρος καταλαμβάνεται από Νεογενή ηφαιστειακά πετρώματα και μεταλικά ιζήματα.

Χάρτης 1 : Γεωλογικό μοντέλο της Λέσβου, σύμφωνα με την θεωρία του Hecht (1972)



Μπούρας Αθανάσιος, Τμήμα Γεωλογίας - ΑΠΘ, 2015 - 2016

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΜΕΤΑΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΚΑΙ ΒΡΑΔΥΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ

- Ολόκαινο**
Τεταρτογενείς αποθέσεις - Σύγχρονες προσχώσεις κοιλάδων, πεδιάδων και παράκτιες αποθέσεις
- Πλειστόκαινο**
Λιμναίες και χερσαίες αποθέσεις : Άργιλοι, Πηλοί, Άμμοι, Κροκαλοπαγή, Κοκκινωχώματα
- Πλειόκαινο**
Θαλάσσιες αποθέσεις : Κροκαλοπαγή, Άμμοι, Άργιλοι, Μάργες, Μαργαίκοι ασβεστόλιθοι και συχνά στρώματα Λιγνίτη, Λιμναίες Αποθέσεις : Κροκαλοπαγή, Άμμοι, Άργιλοι, Μάργες, Μαργαίκοι ασβεστόλιθοι και συχνά στρώματα Λιγνίτη

ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ

- Ιουρασικό**
Σχιστοκερατολιθική διάπλωση: Κερατόλιθοι, Ψαμμίτες, Πηλίτες με φακούς λευκών ασβεστολιθών και εγκλωβισμένα

ΠΡΟΑΛΠΙΚΕΣ ΣΕΙΡΕΣ

- Περμοτριαδικό**
Ασβεστόλιθοι, Γραουβάκες, Σχιστόλιθοι, Πρασινίτες, Ηφαιστίτες
- Ανώτερο Παλαιοζωικό**
Πρασινοσχιστόλιθοι, σχιστόλιθοι, φυλλίτες, γραουβάκες με κροκαλοπαγή και ενστρώσεις ασβεστολιθών ή δολομίτες
- Λιθανθρακοφόρο**
Σχιστόλιθοι, Φυλλίτες, Γραουβάκες, Μάρμαρα

ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

1 - ΠΛΟΥΤΩΝΙΚΑ

Βασικά και υπερβασικά

Οφιόλιθοι : Πυροξενικοί περιδοτίτες, Δονίτες, Σερπεντινωμένοι περιδοτίτες

2 - ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΑ

Όξινα έως ουδέτερα

Μειόκαινο - Πλειόκαινο

Ρυόλιθοι, Ρυοδακίτες, Δακίτες, Ανδεσίτες, Τραχειανδεσίτες, Τραχίτες (ρ)

Μειόκαινο - Πλειόκαινο

Τόφφοι, Ιγνιμβρίτες (τ)

Βασικά

Πλειόκαινο

Βασικά Πετρώματα : Βασάλτες

Γεωλογικό Όριο

Επίθεση

Ρήγμα

Πιθανό Ρήγμα

Θαλάσσιο Όριο

Η βασική διαφορά μεταξύ του Hecht (1972) με τους Katsikatos et al (1986) είναι ότι ο πρώτος εντάσσει την ηφαιστειοιζηματογενή σειρά στην ενότητα των Νεοπαλαιοζωικών πετρωμάτων και τοποθετεί τεκτονικά μόνο τους οφιολίθους. Σε αντίθεση με τον Hecht ο Katsikatos θεωρεί ότι τόσο η ηφαιστειοιζηματογενής σειρά όσο και τα οφιολιθικά πετρώματα τοποθετήθηκαν τεκτονικά πάνω στο Νεοπαλαιοζωικό υπόβαθρο του νησιού. Σύμφωνα με τον Hecht (1972) τα Νεοπαλαιοζωικά πετρώματα χωρίζονται σε 2 διαφορετικές ενότητες, την πρώτη που ήταν

ηλικίας Περμίου – Λιθανθρακοφόρου και αποτελείται κυρίως από φυλλίτες και σχιστόλιθους πρασινοσχιστολιθικής φάσης με ενστρώσεις μαρμάρων. Η δεύτερη ενότητα είναι ηλικίας Λιθανθρακοφόρου και δομείται από φυλλίτες, σχιστόλιθους, μεταψαμμίτες, μεταρκόζες, αργιλικούς σχιστόλιθους με ενστρώσεις ή φακούς μαρμάρων, πρασινοσχιστολιθικής μεταμόρφωσης πετρώματα κατά θέσεις ή ακόμη και ημιμεταμορφωμένα. Η δεύτερη ενότητα αναφέρει επίσης ότι βρίσκεται τεκτονικά τοποθετημένη πάνω στην πρώτη. Αντίθετα η νεότερη εκδοχή των Katsikatsos et al (1986) χωρίζει την αυτόχθονη ενότητα του υποβάθρου σε δύο επιμέρους σχηματισμούς, τους Νεοπαλαιοζωικούς σχηματισμούς και τους Τριαδικούς. Οι παλαιοζωικοί σχηματισμοί αποτελούνται από σχιστόλιθους κυρίως μοσχοβιτικούς, χαλαζιακούς και ασβεστιτικούς, με παρεμβολές μεταψαμμιτών όσον αφορά το Νοτιοανατολικό κομμάτι του νησιού. Αντίθετα στο Βορειοδυτικό τμήμα του νησιού, τα Παλαιοζωικά πετρώματα αποτελούνται από μεταψαμμίτες, σερικιτικούς-ψαμμιτικούς σχιστόλιθους, χαλαζιακούς σχιστόλιθους, χαλαζιακά λατυποπαγή και κατά θέσεις φυλλίτες σε εναλλαγές μεταξύ τους. Ακόμη στους παραπάνω σχηματισμούς συναντώνται και ενστρώσεις ανθρακικών πετρωμάτων με πάχος ακόμη και μεγαλύτερο των 400 μέτρων. Μάλιστα οι Katsikatsos et al (1986) αναφέρουν ότι οι Τριαδικοί σχηματισμοί βρίσκονται σε κανονική επαφή με τους Παλαιοζωικούς και είναι η συνέχεια αυτών. Διαφορετικά μεταξύ Παλαιοζωικών και Τριαδικών σχηματισμών δεν υπάρχει στρωματογραφική ασυμφωνία ή τεκτονική που αναφέρει ο Hecht (1972) στην δική του μελέτη.

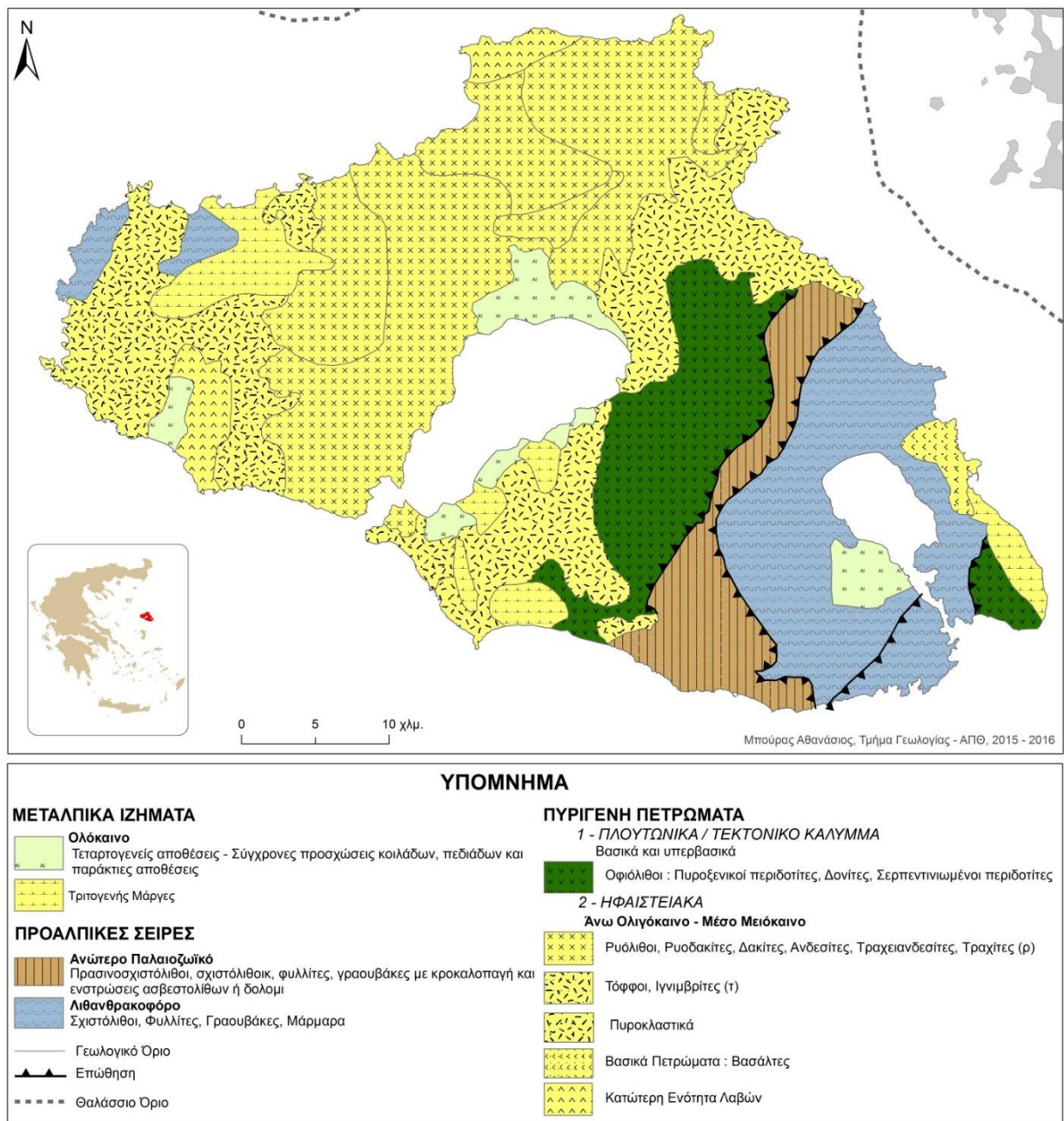
Σύμφωνα με τις παραπάνω μελέτες εκτός από την αυτόχθονη ενότητα της Λέσβου υπάρχουν και οι αλλόχθονες ενότητες. Υπάρχει διαφορά απόψεων μεταξύ των δύο προαναφερθέντων μελετητών σχετικά με την αλλόχθονη ενότητα του νησιού της Λέσβου. Συγκεκριμένα ο Hecht (1972) αναφέρει ως αλλόχθονη ενότητα μόνο την οφιολιθική σειρά που βρίσκεται τεκτονικά επωθημένη πάνω στα ηφαιστειογενή πετρώματα τα οποία με την σειρά τους όπως αναφέρθηκε και παραπάνω τα κατατάσσει μαζί με τα Νεοπαλαιοζωικά πετρώματα και μόνο ένα μέρος τους κατατάσσεται στα οφιολιθικά και συγκεκριμένα αυτά που είναι αμφιβολιτικής φάσης.

Οι Katsikatsis et al (1986) αναφέρουν την ηφαιστειογενή σειρά ως ένα μία αλλόχθονη ενότητα Τριαδικής ηλικίας αποτελούμενη από μεταμορφωμένα βασικά πυριγενή πετρώματα (μεταβασίτες) και ιζηματογενή πετρώματα. Συγκεκριμένα η ηφαιστειογενή σειρά αποτελείται από σχιστόλιθους κυρίως μαμαρυγικούς, χλωριτικούς και κατά θέσεις αμφιβολιτικούς και ψαμμιτικούς, σε εναλλαγές με μεταβασίτες, κυρίως πρασινίτες και πρασινόλιθους με φακούς και ενστρώσεις και συχνά ολισθόλιθους κρυσταλλικών ασβεστολίθων και δολομιτών που το πάχος μπορεί να φτάσει τα 400 μέτρα. Ακόμη η ενότητα αυτή περιέχει μεταπηλίτες ως ασβεστιτικοί φυλλίτες και λεπτωπλακώδεις ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους έως ασβεστιτικούς σχιστόλιθους (Θωμαΐδου, 2009).

Στην αλλόχθονη ενότητα περιλαμβάνονται επίσης τα οφιολιθικά πετρώματα τα οποία βρίσκονται σύμφωνα με τους Katsikatsos et al (1986,) τεκτονικά επωθημένα πάνω στην ηφαιστειογενή σειρά. Τα πετρώματα των οφιολίθων αποτελούνται συγκεκριμένα από πυροξενικούς περιδοτίτες, δουνίτες, σερπεντινιωμένους περιδοτίτες και μεταμορφωμένα πετρώματα στη βάση των πετρωμάτων και συγκεκριμένα της μεταμορφικής σόλας η οποία δημιουργήθηκε κατά την επώθηση των οφιολίθων επάνω στην ηφαιστειογενή σειρά.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως το μεγαλύτερο τμήμα της νήσου Λέσβου είναι καλυμμένο από Νεογενή ηφαιστειακά πετρώματα και συγκεκριμένα Άνω Ολιγόκαινου – Κάτω Μειόκαινου, όπου κατά θέσεις ακολουθούνται από ιζήματα λιμναία και θαλάσσια Πλειοκαινικής και Τεταρτογενούς ηλικίας.

Χάρτης 2 : Γεωλογικό μοντέλο της Λέσβου σύμφωνα με τη θεωρία Κατσικάκη 1986



Συγκεκριμένα τα ηφαιστειακά πετρώματα είναι αποτέλεσμα μιας ηφαιστειακής δράσης που σημειώθηκε κατά το Άνω Ολιγόκαινο – Κάτω Μειόκαινο. Σύμφωνα με τους Fytika et al (1984) επρόκειτο για ένα ηφαιστειακό τόξο το οποίο συντέλεσε στην δημιουργία μιας σειράς ηφαιστειακών πετρωμάτων ασβεσταλκαλικής και σωσονιτικής σύστασης που εκτείνονται στην

- Σχηματισμός Ερεσού
- Σχηματισμός Σκουτάρου
- Πυροκλαστικά Σιγρίου
- Ιγνιμβρίτης Πολυχίτου

- Σχηματισμός Σκαλοχωρίου
- Σχηματισμός Σukaμινιάς
- Σχηματισμός Μυτιλήνης
- Ηφαιστειακές φλέβες τροφοδοσίας (dykes) Μεσοτόπου

Τέλος, μετά την ηφαιστειακή δράση του Ολιγοκαίνου – Μειοκαίνου ακολουθεί μία ιζηματογένεση που χαρακτηρίζεται από λιμναίο και θαλάσσιο περιβάλλον κατά το Πλειόκαινο. Οι αποθέσεις αυτές αποτελούνται από μαργαϊκούς ασβεστολίθους, με ενστρώσεις ψαμμιτών, κροκαλοπαγή, υπόλευκες μάργες και αργίλλους τα οποία μπορεί να είναι πλούσια σε ασπόνδυλα απολιθώματα (Θωμαΐδου, 2009).

4.2 ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Στα πετρώματα που χαρακτηρίζουν το υπόβαθρο της νήσου Λέσβου παρατηρούνται τεκτονικές δομές που οφείλουν την γένεση τους σε συμπίεστικές δομές καθώς και σε εφελκυστικές, οι οποίες έδρασαν στα πετρώματα αυτά σε παλαιότερους γεωλογικούς χρόνους από διαφορετικές τεκτονικές διεργασίες. Ο συνδυασμός αυτών των δομών μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες στην χρονολόγηση τους.

Κατά την αρχική τοποθέτηση των οφιολιθικών βραχομαζών πάνω στην αυτόχθονη ενότητα των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της νήσου Λέσβου που χαρακτηρίζει την κατωφέρεια του ηπειρωτικού περιθωρίου δημιουργήθηκαν διάφορες συμπίεστικές τεκτονικές δομές στους οφιόλιθους και στη μεταμορφική σόλα σε συνδυασμό με την δημιουργία των τεκτονικών μίγμάτων. Εξαιτίας των μετέπειτα τεκτονικών δραστηριοτήτων δημιουργήθηκαν νέες δομές που στην ουσία επικάλυψαν τις παλαιότερες και τις κατέστησαν ως δύσκολα αναγνωρίσιμες. Ωστόσο σε κάποια πετρώματα και κυρίως στην μεταμορφική σόλα και στα τεκτονικά μίγματα παρατηρούνται ισοκλινείς πτυχές που θεωρείται ότι οφείλονται στην πρώτη κύρια συμπίεστική δραστηριότητα με την τοποθέτηση των οφιολίθων πάνω στο αυτόχθονο υπόβαθρο κατά το Άνω Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό. Πρόκειται για συμμεταμορφική πτύχωση με ισοκλινείς πτυχές και δημιουργία σχιστότητας κατά το αζονικό επίπεδο.

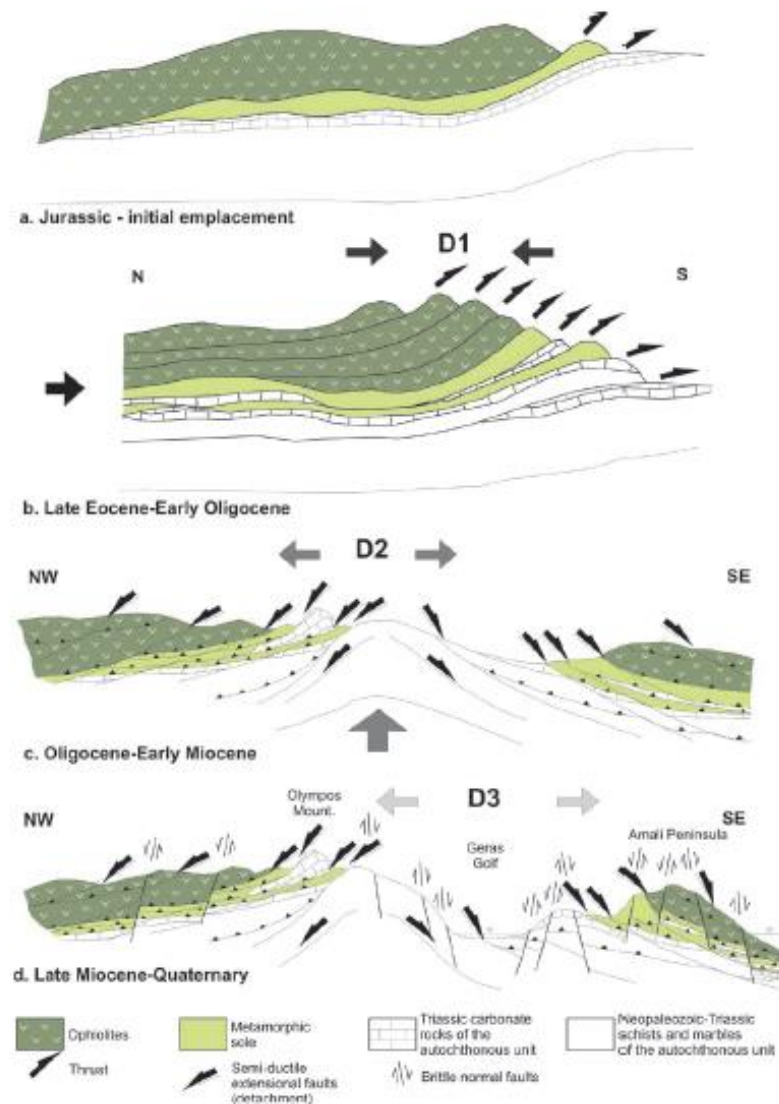
Κατά το Τριτογενές, μετά την αρχική τοποθέτηση του Μεσοζωϊκού ακολουθεί το D1 τεκτονικό συμπίεστικό γεγονός το οποίο επηρεάζει τα πετρώματα της Λέσβου με διάφορες συμπίεστικές δομές. Για την ακρίβεια είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία μικροπτυχών και σιγμοειδών παχύνσεις σωμάτων οι οποίες εμφανίζονται ως υπολλειματικές μέχρι και σήμερα αφού ακολούθησε ένα εφελκυστικό τεκτονικό γεγονός κατάρρευσης που δημιούργησε νεότερες δομές που κυριαρχούν μέχρι και σήμερα. Η συμπίεση αυτή μπορεί να βρίσκεται με τη μορφή μικροπτυχών τόσο στα οφιολιθικά πετρώματα, όσο και στη μεταμορφική σόλα και τα τεκτονικά μίγματα. Η γενική διεύθυνση της τεκτονικής D1 είναι Β – Ν ενώ παρουσιάζεται και μια δευτερεύουσα διεύθυνση Α – Δ η οποία πιθανών να οφείλεται σε τοπική περιστροφή του υλικού. Μετέπειτα ακολούθησαν κι άλλα τεκτονικά γεγονότα, για την ακρίβεια εφελκυστικά (D1 και D2) που επηρέασαν τις συμπίεστικές αυτές δομές του D1.

Όσον αφορά το D2, πρόκειται για ένα εφελκυστικό γεγονός που στην ουσία ακολουθεί την συμπίεση του D1 προκαλώντας έτσι κανονικά ρήγματα μικρά σε γωνία κλίσης. Ανήκει στην γενικότερη εφελκυστική τεκτονική του Τριτογενούς η οποία προκάλεσε την κατάρρευση του ορογενούς και των τεκτονικών καλυμμάτων. Το τεκτονικό αυτό γεγονός ήταν υπαίτιο για την δημιουργία ρηγμάτων αποκόλλησης (detachment) που προκάλεσαν την κατάρρευση των καλυμμάτων, την αποκάλυψη των τεκτονικών παραθύρων των σχηματισμών του Περμοτριαδικού υπόβαθρου και έδωσαν τη σημερινή εικόνα στα πετρώματα. Το τεκτονικό

αυτό γεγονός είχε ως αποτέλεσμα να κόψει και να αλλοιώσει τις παλιές συμπίεστικές δομές ενώ αργότερα η ίδια κόβεται από νεότερη εφελκυστική τεκτονική. Οι συνθήκες του τεκτονικού αυτού γεγονότος ήταν ημιπλαστικές με αποτέλεσμα την δημιουργία ρηγμάτων στα οφιολιθικά πετρώματα, στην σόλα και τα τεκτονικά μίγματα. Η κύρια διεύθυνση κίνησης των ρηγμάτων αποκόλλησης είναι Βορειοδυτική ενώ το ανατολικό τμήμα του οφιολίθου που συναντάμε έχει διεύθυνση Νοτιοανατολική. Εξαιτίας πιθανής τοπικής περιτροφικής μετατόπισης του υλικού η διεύθυνση μπορεί να είναι και BA – NΔ έως ABA – ΔNΔ.

Τέλος, ακολουθεί το τρίτο εφελκυστικό γεγονός D3 (Άνω Μειόκαινο-Πλειστόκαινο), όπου στην ουσία ευθύνεται για ρήγματα τόσο κανονικά όσο και για οριζόντιας μετατόπισης τα οποία έδωσαν την σημερινή μορφολογία του νησιού. Ουσιαστικά τα ρήγματα αυτά προκάλεσαν ταπεινώσεις και ανυψώσεις στο νησί με σημαντικότερο το μεγάλο τεκτονικό βύθισμα του Κόλπου Γέρας και μετατόπισαν και διαμόρφωσαν ακόμη και επαφές πετρωμάτων. Ακόμη τα κανονικά ρήγματα της τελευταίας τεκτονικής D3 προκάλεσαν αλλοίωση και στην διαδοχή των πετρωμάτων του υποβάθρου της νήσου αφού βύθισαν σε πολλά σημεία την μεταμορφική σόλα και έφεραν σε επαφή τους οφιολίθους με τα τεκτονικά μίγματα. Τα ρήγματα αυτής της τεκτονικής παρουσιάζουν γενική διεύθυνση BA – NΔ έως B – N (Θωμαΐδου, 2009).

Στην εικόνα που ακολουθεί απεικονίζονται σχεδιαστικά τα τεκτονικά γεγονότα που αναφέρθηκαν παραπάνω:

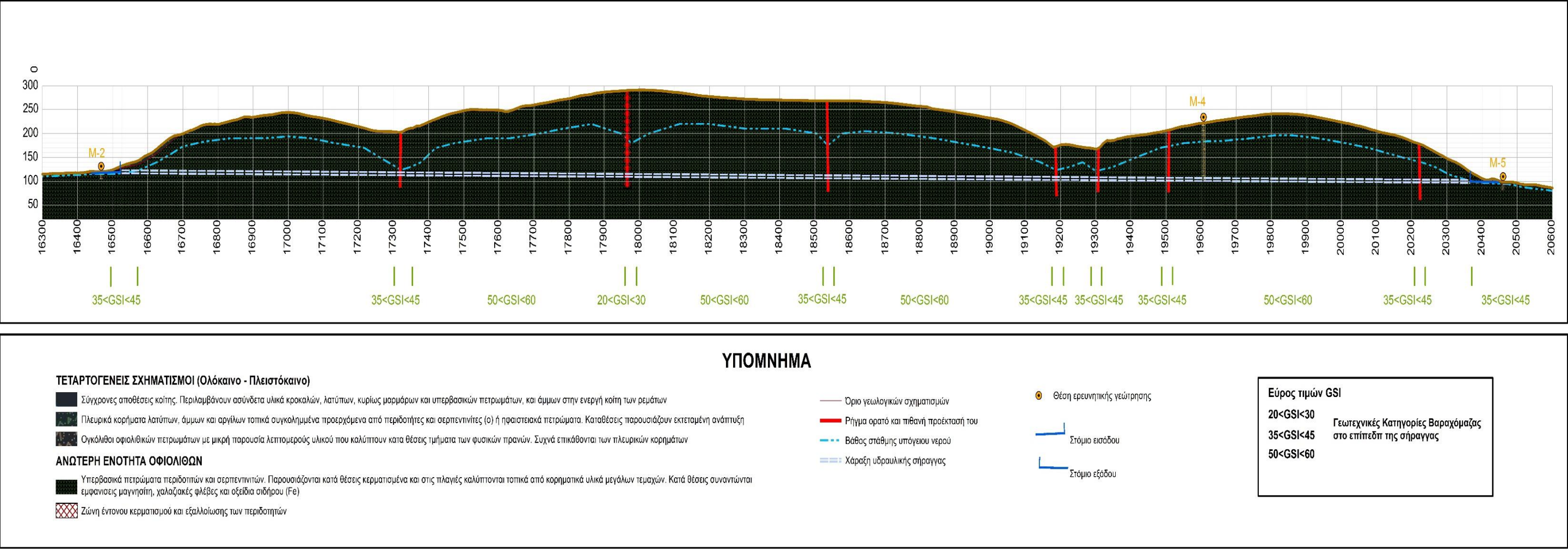


Εικόνα 39. Σχηματική τεκτονική εξέλιξη του υποβάθρου της Λέσβου, που ακολούθησε την αρχική τοποθέτηση της οφειολιθικής μάζας και της μεταμορφικής σόλας: a. αρχική τοποθέτηση των οφειολίθων και της μεταμορφικής σόλας κατά το Ιουρασικό, b. D1 συμπιεστικό γεγονός που προκάλεσε την λεπίωση και συσσώρευση των καλυμμάτων κατά το Άνω Ηώκαινο - Κάτω Ολιγόκαινο, c. D2 εφελκυστικό γεγονός ημι-πλαστικών συνθηκών που προκάλεσε την ανύψωση και την κατάρρευση του ορογενούς κατά το Ολιγόκαινο - Κάτω Μειόκαινο, d. D3 εφελκυστικό γεγονός θραυσιγενών συνθηκών που δημιούργησε τα νεοτεκτονικά βυθίσματα (Mountrakis et al., 2001).

4.3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στη συνέχεια απεικονίζεται μια γεωτεκτονική – γεωτεχνική τομή που αναφέρεται στην περιοχή της υπόγειας σήραγγας στο κομμάτι της οφιολιθικής βραχώμαζας. Η σχεδίαση της τομής πραγματοποιήθηκε μέσω των προγραμμάτων Autocad 2016 και Arcmap-Gis 10. Παρουσιάζεται επίσης και το σχετικό υπόμνημα της τομής στο οποίο δίδονται οι έννοιες των συμβολισμών και των στοιχείων που την απαρτίζουν. Αυτά είναι οι γεωλογικές μονάδες που εμφανίζονται σε όλη την περιοχή του έργου και τα γεωλογικά όρια που τις χωρίζουν, τα τεκτονικά ρήγματα κατά μήκος της περιοχής που σχεδιάστηκε, τα χαρακτηριστικά του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα καθώς επίσης η χάραξη της υπόγειας υδραυλικής σήραγγας, τα σημεία των γεωτρήσεων με τις γεωτρήσεις και τα στόμια εισόδου και εξόδου αυτής. Ακόμη κατά μήκος της τομής αναγράφονται οι χιλιομετρικές θέσεις από την αρχή της σήραγγας έως το πέρας, τα πραγματικά υψόμετρα του εδάφους και τέλος οι γεωτεχνικές κατηγορίες βραχώμαζας που δημιουργήθηκαν με βάση το δείκτη γεωλογικής αντοχής GSI οι οποίες θα παρουσιαστούν αναλυτικότερα σε επόμενο κεφάλαιο.

Γράφημα 1 : Γεωτεκτονική – Γεωλογική τομή της υπόγειας υδραυλικής σήραγγας στην περιοχή των οφιολίθων.

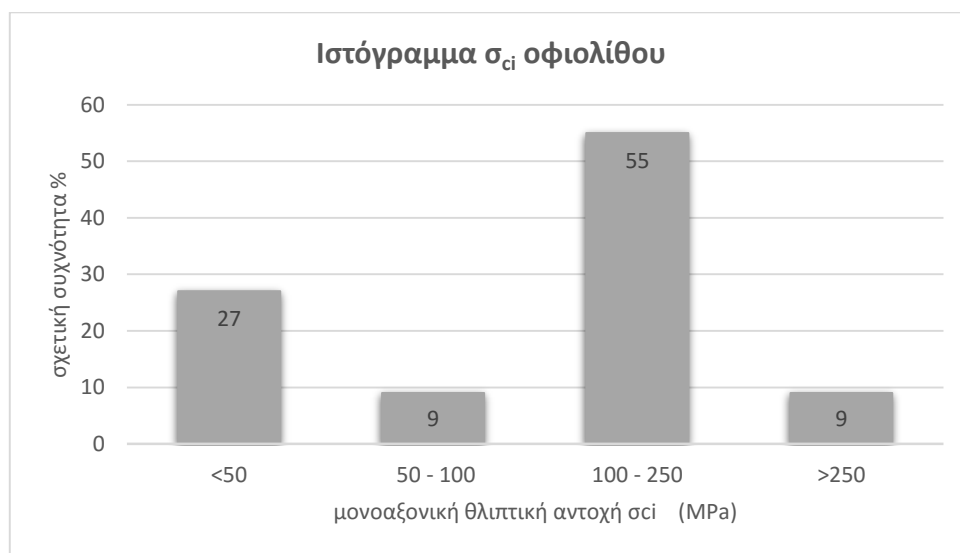


**5 - ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΩΝ
ΒΡΑΧΟΜΑΖΩΝ ΣΤΗ ΖΩΝΗ
ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΧΑΡΑΞΗΣ ΤΟΥ
ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

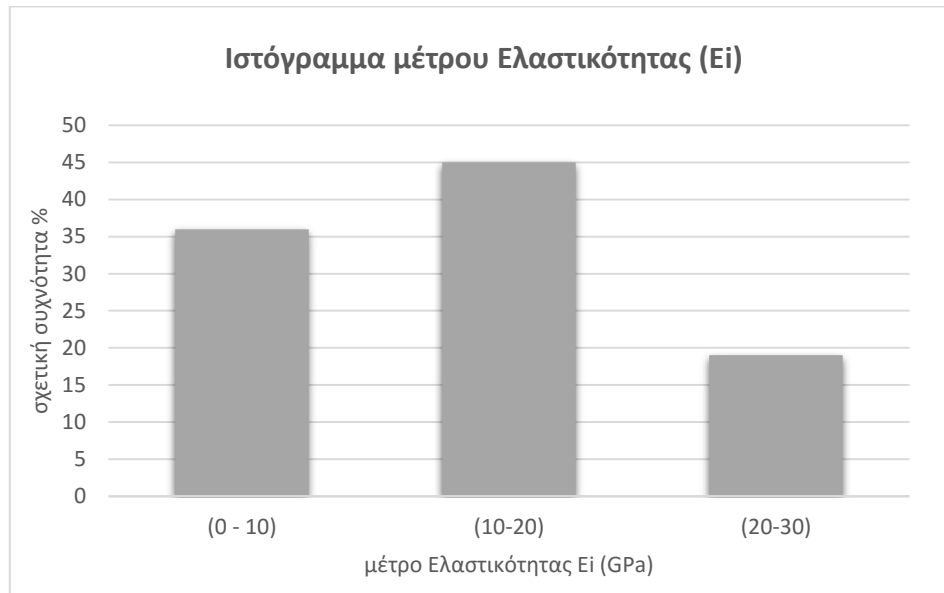
5.1 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Στο υποκεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται μία στατιστική επεξεργασία η οποία βασίζεται σε δεδομένα γεωτρήσεων. Παρουσιάζονται τα ιστογράμματα σχετικής συχνότητας (%) των παραμέτρων της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής (σ_{ci}) και του μέτρου Ελαστικότητας (E_i). Ακόμη θα πραγματοποιηθεί διάγραμμα βάθους σε σχέση με τον δείκτη κερματισμού βραχόμαζας RQD, διάγραμμα βάθους σε συνάρτηση με την μονοαξονική θλιπτική αντοχή και διάγραμμα βάθους-μέτρου Ελαστικότητας. Τα δεδομένα προέκυψαν από δοκιμές βραχομηχανικής της εταιρείας 'Εδαφομηχανική ΑΤΕ' και συγκεκριμένα από τις προαναφερθείσες σε προηγούμενο κεφάλαιο γεωτρήσεις, M-2, M-4 και M-5.

Γράφημα 1 : Σχετική συχνότητα της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής σ_{ci} σε οφιολιθική βραχόμαζα



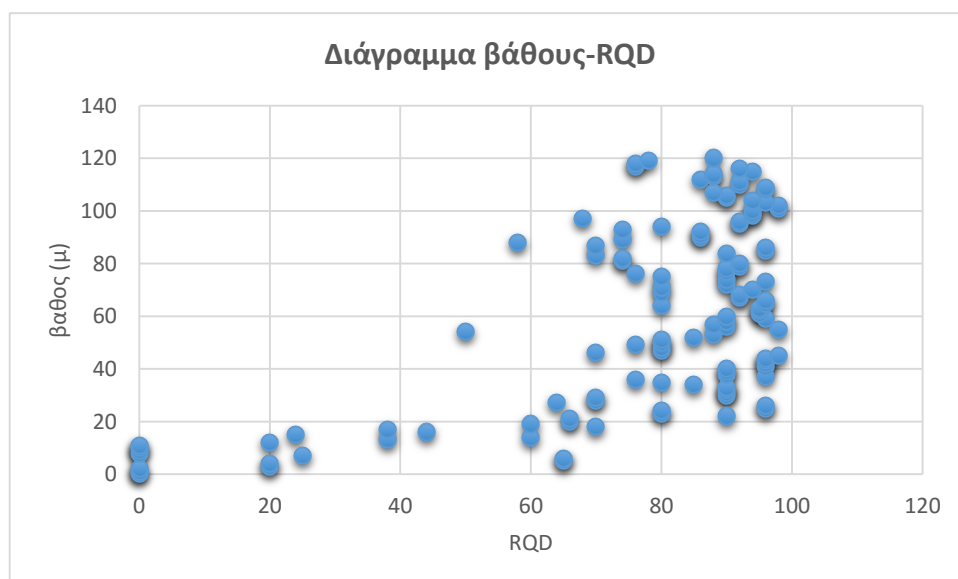
Το παραπάνω ιστόγραμμα απεικονίζει τη σχετική συχνότητα της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής σ_{ci} σε αριθμό δειγμάτων ($N=11$). Οι τιμές είναι περιορισμένες ωστόσο πραγματοποιήθηκε μία κατανομή σε συγκεκριμένα εύρη τιμών όπως φαίνεται στο διάγραμμα, που αντιπροσωπεύουν και διαφορετική αντοχή. Παρατηρείται ότι ο μεγαλύτερος αριθμός μετρήσεων βρίσκεται μεταξύ των (100 – 250 MPa) και έχει μέσο όρο ($\sigma_{ci} = 160$ MPa) όπου γενικά αντιστοιχεί σε ένα πολύ ισχυρό πέτρωμα σύμφωνα με τον πίνακα κατηγοριών πετρωμάτων με βάση την αντοχή (κατά ISRM, 1981) που απεικονίζεται παρακάτω. Η αμέσως επόμενη μεγαλύτερη συχνότητα κυμαίνεται σε τιμές (< 50 MPa) και ο μέσος όρος των μετρήσεων αυτών είναι ($\sigma_{ci} = 30$ MPa). Μικρή είναι η συχνότητα για τιμές μεταξύ (50 – 100 MPa) με μέσο όρο ($\sigma_{ci} = 74$ MPa) καθώς επίσης μικρή είναι και η συχνότητα που κυμαίνεται σε τιμές (> 250 MPa) με μέσο όρο ($\sigma_{ci} = 265$ MPa). Σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα το συγκεκριμένο πέτρωμα μπορεί να θεωρηθεί ως πολύ ισχυρό. Γνωρίζουμε από την βιβλιογραφία ότι ένας υγιής περιδοτίτης κυμαίνεται σε ένα εύρος τιμών μεγαλύτερο των 100 MPa πράγμα που συμφωνεί σε μεγάλο βαθμό με τα παραπάνω αποτελέσματα. Παρατηρείται όμως μία σημαντική κατανομή συχνοτήτων σε τιμές (< 50 MPa) το οποίο δηλώνει ότι ο περιδοτίτης είναι σερπεντινιωμένος και έντονα κερματισμένος που κατατάσσει το πέτρωμα κατά θέσεις στην κατηγορία του ασθενούς έως μετρίως ισχυρού.

Γράφημα 2 : Σχετική συχνότητα του μέτρου Ελαστικότητας E σε οφιολιθική βραχώμαζα

Το παραπάνω ιστόγραμμα απεικονίζει την σχετική συχνότητα του μέτρου Ελαστικότητας (E_i) σε αριθμό δειγμάτων ($N=11$). Η μεγαλύτερη συχνότητα κυμαίνεται μεταξύ (10 – 20 GPa) με μέσο όρο ($E_i = 11.5$ GPa). Ακολουθεί η συχνότητα που κυμαίνεται μεταξύ (0 – 10 GPa) με μέσο όρο ($E_i = 4.35$ GPa) και τελευταία είναι η συχνότητα που κυμαίνεται μεταξύ (20 – 30 GPa) με μέσο όρο ($E_i = 27$ GPa). Ο γενικός μέσος όρος όλων των τιμών είναι ($E_i = 14.5$ GPa).

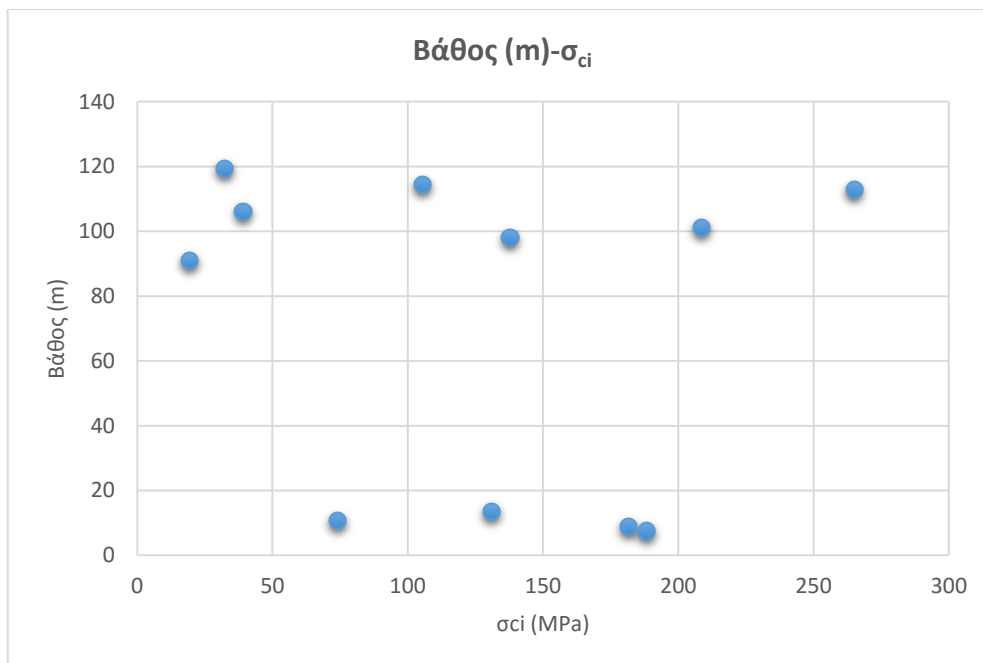
Στη συνέχεια θα γίνει μία επεξεργασία με βάση την ταξινόμηση των τιμών του δείκτη κερματισμού της βραχώμαζας (RQD, της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής και του μέτρου Ελαστικότητας (E_i) σε συνάρτηση με το βάθος. Θα παρουσιαστούν τα διαγράμματα RQD – Βάθους, σ_{ci} – Βάθους και E_i – Βάθους.

Γράφημα 3 : Ταξινόμηση αποτελεσμάτων του δείκτη κερματισμού σε συνάρτηση με το βάθος σε οφιολιθική βραχώμαζα



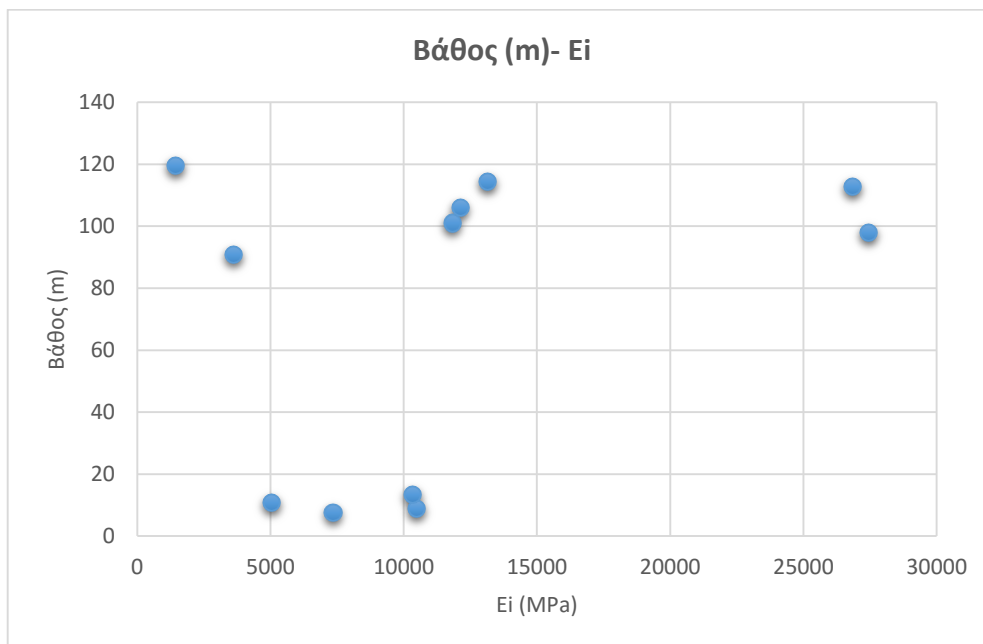
Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζονται οι διάφορες τιμές του δείκτη κερματισμού (RQD) της βραχώμαζας σε συνάρτηση με το βάθος. Παρατηρείται ότι σε βάθη μεγαλύτερα των 20 μέτρων οι τιμές RQD κυμαίνονται από 60 έως 100 περίπου. Αυτό αποδεικνύει ότι το συγκεκριμένο πέτρωμα σε βάθη μεγαλύτερα των 20 μέτρων χαρακτηρίζεται γενικά ως ένα πέτρωμα γενικά ελαφρού κερματισμού και οι χαμηλές τιμές που εμφανίζονται οφείλονται σε κάποιο τεκτονικό γεγονός που επέδρασε στην περιοχή κατά το παρελθόν. Ωστόσο παρατηρούνται σε μικρά βάθη μικρότερα των 20 μέτρων τιμές RQD που κυμαίνονται κυρίως κάτω από 40. Παρατηρούνται σε πολύ επιφανειακά βάθη τιμές RQD ακόμη και 0 γεγονός που οφείλεται σε τεκτονικά γεγονότα και κυρίως σε επιφανειακή αποσάθρωση του πετρώματος καθώς το νερό και ο αέρας επιδρούν πάνω του. Τέλος θα υπάρχουν ζώνες διάρρηξης-ρηγμάτων οι οποίες θα εκτείνονται μέχρι βάθος και κερματίζουν τη βραχώμαζα με αποτέλεσμα να συναντάμε σε μεγάλο βάθος μικρές τιμές RQD.

Γράφημα 4 : Ταξινόμηση αποτελεσμάτων της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής σ_{ci} σε συνάρτηση με το βάθος σε οφιολιθική βραχώμαζα



Στο διάγραμμα Βάθους - σ_{ci} απεικονίζονται οι τιμές της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής (σ_{ci}) σε συνάρτηση με το βάθος. Ο αριθμός των δειγμάτων ($N=11$) είναι περιορισμένος και δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο συγκεκριμένο αποτέλεσμα ωστόσο οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται σε βάθη μεγάλα. Οι μικρές τιμές σε μεγάλα βάθη οφείλονται σε ζώνες σερπεντινίωσης του περιδοτίτη και σε ζώνες κερματισμού.

Γράφημα 5 : Ταξινόμηση αποτελεσμάτων του μέτρου Ελαστικότητας E_i σε συνάρτηση με το βάθος σε οφιολιθικά πετρώματα



Πίνακας 8 : Αποτελέσματα μεγαλύτερου, μικρότερου, μέσου όρου και τυπικής απόκλισης για τις παραμέτρους GSI, RQD, σ_{ci} και E_i

	GSI	RQD	σ_{ci}	E_i
MAX	60	98	265.03	27465
MIN	20	0	19.3	1445
AVERAGE	-	76.4	125	11790
STDEVPA	-	25.75	76.3	8073

5.1.1 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΩΝ ΒΡΑΧΟΜΑΖΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΥΤΩΝ

Στο υποκεφάλαιο αυτό απαραίτητη προϋπόθεση είναι να γίνει μία γεωτεχνική κατηγοριοποίηση των οφιολιθικών πετρωμάτων σε διαφορετικούς τύπους βραχώμαζας με κύριο συντελεστή τον δείκτη γεωλογικής αντοχής (GSI) για την υδραυλική σήραγγα όπου είναι και η περιοχή μελέτης. Συγκεκριμένα η κατηγοριοποίηση των οφιολιθικών πετρωμάτων πραγματοποιείται σε τρεις διαφορετικούς τύπους βραχώμαζας η οποίοι αντιπροσωπεύουν κάθε ένας χωριστά και ένα διαφορετικό αριθμό του δείκτη γεωλογικής αντοχής (GSI). Η

κατηγοριοποίηση αυτή πραγματοποιείται για το συνολικό μήκος της υπόγειας σήραγγας και δίνεται στον παρακάτω πίνακα:

ΤΥΠΟΣ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	(GSI)
I	Καλή έως μέτριας ποιότητας περιδοτίτη που κατά θέσεις εμφανίζονται ζώνες σερπεντινίωσης	50-60
II	Περιδοτίτες ή σερπεντινίτες με ζώνες κερματισμού και αποσάθρωσης	35-40
III	Ζώνη έντονου κερματισμού και εξαλλοίωσης των περιδοτιτών	20-30

5.1.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΥΝΟΧΗΣ c , ΓΩΝΙΑΣ ΤΡΙΒΗΣ ϕ ΚΑΙ ΜΕΤΡΟΥ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ E_m ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ RockLab 1.0 ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΤΥΠΟ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Στη συνέχεια μέσω του προγράμματος RockLab 1.0 θα πραγματοποιηθεί ουσιαστικά η επίλυση του κριτηρίου Hoek and Brown για τον υπολογισμό της συνοχής (c) και της γωνίας τριβής (ϕ) για κάθε τύπο βραχόμαζας ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν συγκεντρωμένα σε ένα πίνακα και θα χρησιμοποιηθούν για την επιλογή διατομών σε κάθε περίπτωση. Για τον υπολογισμό της συνοχής και της γωνίας τριβής απαιτούνται σε πρώτη φάση οι τρεις βασικοί γεωτεχνικοί παράμετροι οι οποίοι είναι:

- Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή σ_{ci}
- Ο δείκτης γεωλογικής αντοχής GSI
- Η σταθερά m_i

Ακόμη λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές του μέτρου Ελαστικότητας (E_i) μπορεί να υπολογιστεί και το μέτρο παραμορφωσιμότητας (E_m) για καθένα από τους παραπάνω τύπους βραχόμαζας. Σημαντικές παράμετροι για την χρήση του προγράμματος και την διεξαγωγή αποτελεσμάτων αποτελούν το φαινόμενο βάρος γ (0.027 MN/m^3 για τους περιδοτίτες) καθώς και το βάθος της σήραγγας (σε m).

Πίνακας 9 : Γεωτεχνικοί παράμετροι για κάθε τύπο βραχόμαζας ξεχωριστά

ΤΥΠΟΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ GSI	ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ σ_{ci} (MPa)	ΣΤΑΘΕΡΑ m_i	ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ E_i (GPa)
I	50-60	160	28	27
II	35-40	74	25	11.5
III	20-30	30	10	4.3

Για την επιλογή της σταθεράς m_i χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας τιμών της σταθεράς m_i για τον άρρηκτο βράχο του (Hoek & Marinos, 2000). Σύμφωνα με τον πίνακα αυτό οι τιμές της σταθεράς m_i για τον περιδοτίτη είναι 25 ± 5 . Επομένως στον πρώτο τύπο βραχώμαζας όπου γενικά πρόκειται για ένα καλής ποιότητας πέτρωμα, η τιμή της σταθεράς m_i θα είναι μεγαλύτερη από 25. Ο δεύτερος τύπος αφορά βραχώμαζα πιο μέτριας ποιότητας και η τιμή του θα είναι 25. Στον τελευταίο τύπο όπου η αποσάθρωση είναι πολύ πιο εκτεταμένη η σταθερά m_i θα πάρει τιμή πολύ μικρότερη από 25 περίπου 10.

Στο παράρτημα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για κάθε τεχνικογεωλογικό τύπο βραχώμαζας που υπολογίστηκαν μέσω του προγράμματος RockLab 1.0. καθώς επίσης και ένας πίνακας με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα όλων των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν και υπολογίστηκαν.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για κάθε τεχνικογεωλογικό τύπο βραχώμαζας μέσω του προγράμματος RockLab 1.0. Συγκεκριμένα δίνονται οι τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων οι οποίες είναι η συνοχή c , η γωνία τριβής ϕ καθώς επίσης το μέτρο της Παραμορφωσιμότητας E_m . Παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες τιμές για την συνοχή, την γωνία τριβής καθώς επίσης και για το μέτρο της παραμορφωσιμότητας, αφορούν τον πρώτο τύπο βραχώμαζας. Ακόμη παρατηρείται ότι η μικρότερη τιμή για την συνοχή παρατηρείται στο δεύτερο τύπο βραχώμαζας βάθους 10 μέτρων ενώ η γωνία τριβής είναι η μεγαλύτερη. Για τον δεύτερο τύπο βραχώμαζας στο βάθος των 100 μέτρων η τιμή της συνοχής c μεγαλώνει ενώ αυτή της γωνίας τριβής μειώνεται. Οι τιμές της παραμορφωσιμότητας παραμένουν οι ίδιες αφού εξαρτώνται από το μέτρο της Ελαστικότητας το οποίο δεν αλλάζει. Τέλος η γωνία τριβής ϕ για τον τρίτο τύπο βραχώμαζας είναι και η μικρότερη καθώς επίσης και το μέτρο της παραμορφωσιμότητας. Εξίσου χαμηλή τιμή εμφανίζει και η συνοχή c αυτού του τύπου.

Πίνακας 10 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των γεωτεχνικών παραμέτρων για κάθε τύπο βραχώμαζας

ΤΥΠΟΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	ΒΑΘΟΣ (m)	GSI	σ_{ci} (MPa)	E_i (GPa)	m_i	ΣΥΝΟΧΗ c (MPa)	ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ $\phi(^{\circ})$	ΜΕΤΡΟ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΙΜΩΤΗΤΑΣ E_m (MPa)
I	100	55	160	27	28	1.561	64.3	11023.58
II(α)	100	40	74	11.5	25	0.726	55.83	1836
II(β)	10	40	74	11.5	25	0.233	68.04	1836
III	100	25	30	4.3	10	0.371	43.59	257.38

6 - ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΩΝ ΒΡΑΧΟΜΑΖΩΝ – ΤΥΠΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

6.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση της συμπεριφοράς βραχόμαζας κατά την εκσκαφή της υδραυλικής σήραγγας για κάθε τεχνικογεωλογικό τύπο οφιολίθου που προέκυψε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Ουσιαστικά θα χρησιμοποιηθεί μία τυπική διατομή για κάθε ένα από αυτούς τους τεχνικογεωλογικούς τύπους και η επιλογή αυτών θα γίνει με βάση το σύστημα εκτίμησης τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς TBC (Tunnel Behaviour Chart) (βλ. πίνακας 11). Για την επιλογή της κατάλληλης διατομής μέσω αυτού του συστήματος απαραίτητο στοιχείο αποτελούν τρεις βασικές παράμετροι οι οποίες είναι η δομή της βραχόμαζας, η αντοχή του άρρηκτου βράχου (σ_{ci}) και το ύψος των υπερκειμένων (H).

Πίνακας 11. Διάγραμμα εκτίμησης της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς της βραχόμαζας (TBC) (Μαρίνος, 2010)

TUNNEL BEHAVIOUR CHART (TBC) FOR ROCK MASSES (V. Marinos)*

ROCK MASS STRUCTURE (As in GSI, Hoek & Marinos, 2000)	OVERBURDEN (H) (Rock masses for up to several hundreds metres**)					
	Small overburden		Large overburden			
	INTACT ROCK STRENGTH (σ_{ci}) Indicative limit: $\sigma_{ci} \sim 15$ Mpa Low σ_{ci} High σ_{ci}		INTACT ROCK STRENGTH (σ_{ci}) Indicative limit: $\sigma_{ci} \sim 15$ Mpa Low σ_{ci} High σ_{ci}			
INTACT OR MASSIVE Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	1	2	3	4	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~150 m	
BLOCKY Well interlocked undisturbed rock mass consisting of blocks formed by three orthogonal intersecting discontinuity sets	5	6	7	8		
VERY BLOCKY Interlocked, partially disturbed rock mass with multi-faceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets	9	10	11	12	H LIMIT: ~100 m	
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity. It is understood that the rock mass is disturbed and anisotropy can be developed	13	14	15	16		
DISINTEGRATED Poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	17	18	19	20	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~70 m	
LAMINATED/FOLIATED/SHEARED Laminated or foliated and tectonically sheared weak rock mass. Foliation prevails over any other discontinuity set, resulting in complete lack of blockiness (this drawing scale is not compared with the other's drawing scales)	21	22	23	24		

Tunnel rock mass behaviour types (St, Wg, Sh, Sq, Rv, Ch) as defined in figure 3

The engineering geological behaviour may be also controlled by two or three different mechanisms (e.g. Sh-Ch)

Notes:

- * The data used in the TBC were obtained from tunnels excavated by the conventional method with top heading and bench in a non-urban environment with the overburden cover up to several hundred metres (generally not exceeding 500m) with a tunnel diameter=12m
- ** The chart does not refer to very high overburden (e.g. many hundreds of m or >1000m), where the scale and the mechanism of failure may differ
- The limit-ranges of the uniaxial compressive strength (σ_{ci}) of the intact rock and the overburden thickness (H) are indicative. This is done to avoid standardisation by an inexperienced user. The purpose of this diagram is to predict the failure mechanism of several common rock mass types.
- The surface condition of discontinuities, the second component to the GSI system, mainly affect the intensity of the failure phenomenon
- High clay presence along the discontinuities or zones in the rock mass may shift the gravity driven behaviour types towards the vertical axis of the chart (e.g. from Wg[9] to Ch [13])
- Groundwater presence mainly affects the factor of safety and not the behaviour type. Though, in some cases, such as "Blocky-Disturbed" & "Disintegrated" rock mass, the groundwater presence may "shift" a Chimney (Ch) or Ravelling (Rv) behaviour type to Flowing ground (F)
- Cases number 4, 8 and 12 may develop brittle failures (Br) when overburden increases considerably (e.g. >800 m) depending on the intact rock strength
- The illustrations of the tunnel are sketches; this shape corresponds to the usual top heading

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο οι περιδοτίτες αποτελεί ένα συμπαγές πέτρωμα μεγάλης αντοχής με ελάχιστες ασυνέχειες. Κύριος εχθρός της αντοχής αυτού του πετρώματος αποτελεί η αποσάθρωση και συγκεκριμένα η σερπεντινίωση καθώς μπορεί να μειώσει τις αντοχές μιας άρρηκτης βραχόμαζας και ακόμη χειρότερα να εισχωρήσει σε ασυνέχειες δίδοντάς της λείες και ολισθηρές επιφάνειες, πράγμα που μειώνει δραματικά την αντοχή της.

Ο πρώτος τύπος βραχόμαζας αναφέρεται στις χιλιομετρικές θέσεις των 16560 έως 17300, 17350 έως 17950, 18000 έως 18530, 18570 έως 19180, 19520 έως 20200. Ο δεύτερος τύπος βραχόμαζας ουσιαστικά χωρίζεται σε δύο διαφορετικούς τύπους ανάλογα το βάθος. Ο (α) αναφέρεται στο βάθος των 100 μέτρων και συγκεκριμένα στις χιλιομετρικές θέσεις των 17300 έως 17350, 18530 έως 18570, 19180 έως 19520 και 20200 έως 20240. Ο δεύτερος τύπος (β) αναφέρεται ουσιαστικά στο ίδιο εύρος GSI αλλά στο βάθος των 10 μέτρων δηλαδή στα στόμια της σήραγγας. Το στόμιο εισόδου αριθμείται από την Χιλιομετρική Θέση των 16500 έως 16560 ενώ το στόμιο εξόδου από την Χ.Θ των 20360 έως 20500. Ο τρίτος τεχνικογεωλογικός τύπος που προέκυψε αφορά την ζώνη έντονου κερματισμού και εξαλλοίωσης των περιδοτιτών και συγκεκριμένα την Χ.Θ των 17950 έως 18000. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται και στον πίνακα που ακολουθεί.

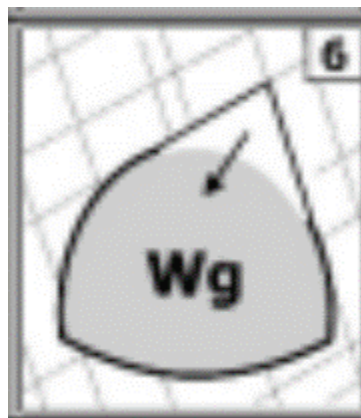
Πίνακας 12. Αναφορά Χιλιομετρικών θέσεων και δείκτη γεωλογικής αντοχής GSI για κάθε τύπο βραχόμαζας

ΤΥΠΟΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΗΣΗ ΘΕΣΗΣ (m)	GSI
I	16560 – 17300 17350 – 17950 18000 – 18530 18570 – 19180 19520 – 20200	55
II(α)	17300 – 17350 18530 – 18570 19180 – 19520 20200 – 20240	40
II(β)	16500 – 16560 (στόμιο εισόδου) 20360 – 20500 (στόμιο εξόδου)	40
III	17950 – 18000 (ζώνη κερματισμού και εξαλλοίωσης των περιδοτιτών)	25

6.1.2 ΤΥΠΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΤΥΠΟ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Σε αυτό το υποκεφάλαιο δίνονται οι τυπικές διατομές για κάθε τύπο βραχόμαζας που προέκυψε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Οι διατομές αυτές χρησιμοποιήθηκαν από το διάγραμμα εκτίμησης της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς της βραχόμαζας (TBC) (Μαρίνος, 2010)

Ο πρώτος τύπο βραχόμαζας αποτελεί τον υγιέστερο τύπο οφιολιθικής βραχόμαζας στο υπό μελέτης έργο από τους παραπάνω που προέκυψαν. Πρόκειται για ένα περιδοτίτη ο οποίος αναφέρεται σε καλής έως μέτριας ποιότητας πετρώματος ενώ κατά θέσεις εμφανίζονται ζώνες σερπεντινίωσης. Ο δείκτης γεωλογικής αντοχής GSI παίρνει την τιμή 55 ενώ η μέγιστη μονοαξονική θλιπτική αντοχή σ_{ci} είναι 160 MPa και η σταθερά m_i είναι ίση με 28. Λαμβάνοντας υπόψη το διάγραμμα εκτίμησης της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς της βραχόμαζας (TBC) προκύπτει ότι οι αστοχίες που θα ενεργοποιηθούν κατά την εκσκαφή της υπόγειας σήραγγας θα είναι βαρυτικού τύπου αστοχίες και συγκεκριμένα θα εκδηλώνονται υπό την μορφή σφηνοειδών ολισθήσεων. Το βάθος των διατομών αυτών βρίσκεται στα 100 μέτρα κατά μέσο όρο, πράγμα που δείχνει ότι το πέτρωμα θα είναι πιο υγιές απ' ό,τι θα ήταν κοντά στην επιφάνεια και κατά συνέπεια οι σφήνες που δύνανται να εκδηλωθούν να αποτελούνται από μικρότερων διαστάσεων τεμάχια.



Εικόνα 40 : Τύπος I – Τυπική διατομή

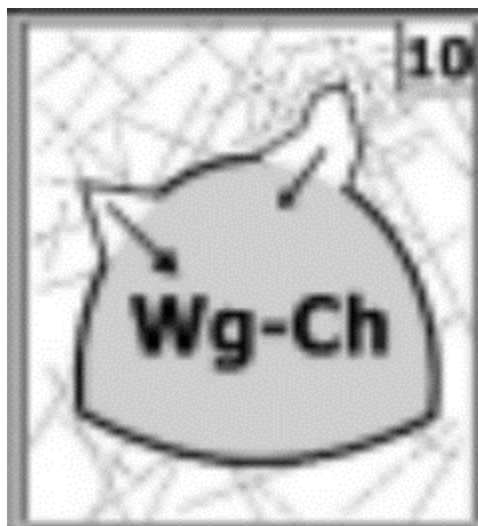
Ο δεύτερος τεχνικογεωλογικός τύπος βραχόμαζας αναφέρεται σε περιδοτίτες έως σερπεντινίτες οι οποίοι χαρακτηρίζονται από ζώνες κερματισμού κυρίως στο βάθος της σήραγγας σε ζώνες ρηγμάτων καθώς επίσης και από ζώνες αποσάθρωσης που παρατηρούνται κυρίως στην επιφάνεια του πετρώματος εξαιτίας της επίδρασης της διάβρωσης που προκαλούν τα επιφανειακά νερά και ο άνεμος.

Ο Δεύτερος τύπος όπως αναφέρθηκε χωρίζεται σε δύο μικρότερες κατηγορίες οι οποίες δημιουργήθηκαν σε σχέση με πάχος των υπερκειμένων. Ο (α) τύπος αναφέρεται σε υπερκείμενα των 100 μέτρων πάχους κατά μέσο όρο, ενώ ο (β) σε υπερκείμενα των δέκα μέτρων περίπου. Όσον αφορά τον (α) τύπο η τιμή του δείκτη γεωλογικής αντοχής GSI είναι 40 ενώ η αντοχή μονοαξονικής θλίψης σ_{ci} εκτιμήθηκε 74 MPa και η σταθερά m_i 25. Εξαιτίας της τεκτονικής καταπόνησης λόγω των ρηγμάτων που υπάρχουν στις περιοχές αυτές το GSI είναι μικρότερο από τον προηγούμενο τύπο που αναλύθηκε σε προηγούμενη παράγραφο. Οι αστοχίες σε αυτή την περίπτωση θα είναι βαρυτικές στις περιπτώσεις που το πάχος των υπερκειμένων δεν θα ξεπερνά τα 100 μέτρα. Έτσι θα εκδηλώνονται με την μορφή τύπου καμινάδας κατά περιοχές όπου η βραχόμαζα είναι πολύ διαταραγμένη και τα τεμάχια αυτής σχηματίζονται από πολλές οικογένειες ασυνεχειών αποτελώντας έτσι ένα πυκνό δίκτυο ασυνεχειών και σπασιμάτων καθώς επίσης μπορεί να αστοχήσει με την μορφή σφηνοειδών ολισθήσεων μεγαλύτερων τεμαχίων σε περιοχές όπου οι οικογένειες ασυνεχειών είναι λιγότερες. Σε περιπτώσεις που το πάχος των υπερκειμένων ξεπερνά τα 100 μέτρα θα εκδηλωθούν αστοχίες τύπου καμινάδας μικρότερων τεμαχίων εξαιτίας των καλύτερων ποιοτικών χαρακτηριστικών του πετρώματος αφού βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος.



Εικόνα 41: Τύπος II (α) – Τυπική διατομή σε βάθος < 100 μέτρων αριστερά και βάθος > 100 μέτρων δεξιά.

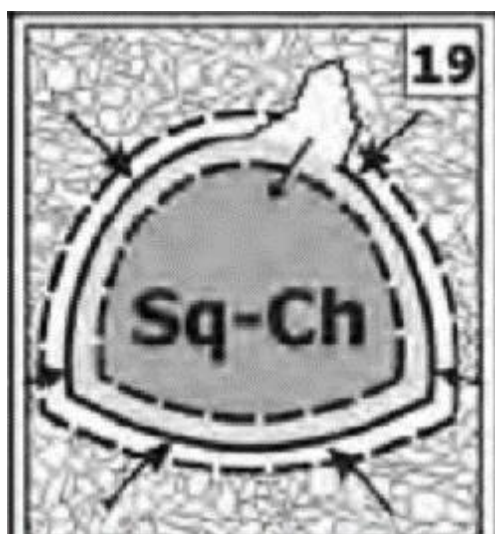
Όσον αφορά τον (β) τύπο τα υπερκείμενα είναι της τάξης των δέκα μέτρων εξαιτίας της μορφολογίας του βουνού που επικρατεί καθώς αναφέρεται στα στόμια εισόδου και εξόδου τα οποία βρίσκονται στην αρχή του αυτού Δ – ΒΔ και στο τέλος αυτού Α – ΝΑ αντίστοιχα. Σε αυτό τον τύπο βραχόμαζας ο δείκτης γεωλογικής αντοχής GSI, μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής σ_{ci} καθώς επίσης και η σταθερά m_i παίρνουν τις ίδιες τιμές. Οι αστοχίες θα είναι βαρυτικού τύπου και θα εκδηλώνονται με την μορφή αστοχίων τύπου καμινάδας εκεί όπου η βραχόμαζας είναι πολύ κερματισμένη, ενώ σε λιγότερο κερματισμένες περιοχές η βραχόμαζα θα αστοχήσει με την μορφή σφηνοειδούς ολίσθησης ή πτώσης τεμαχών λόγω βαρύτητας και τα τεμάχια θα είναι μεγαλύτερων διαστάσεων από αυτά που βρίσκονται στο βάθος όπου το πέτρωμα είναι πιο υγιές.



Εικόνα 42. Τύπος II (β) – Τυπική διατομή.

Ο τρίτος τεχνικογεωλογικός τύπος αναφέρεται στην περιοχή όπου συναντάμε μία ζώνη έντονου κερματισμού και εξαλλοίωσης των περιδοτιτών. Οι τιμή του δείκτη γεωλογικής αντοχής GSI

είναι μειωμένη σε σχέση με τις τιμές των δύο προηγούμενων τύπων βραχομαζών και συγκεκριμένα 25 καθώς επίσης και μονοαξονική θλιπτική αντοχή σ_{ci} εκτιμήθηκε 30 MPa και η σταθερά m_i 10. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η βραχόμαζα θα είναι ισχυρά κερματισμένη με πτωχό αλληλοκλείδωμα. Οι αστοχίες θα έχουν τασικό κυρίως χαρακτήρα καθώς τα υπερκείμενα θα ξεπερνούν τα 150 μέτρα πάχος. Επομένως οι αστοχίες αυτές θα εκδηλωθούν με την μορφή σημαντικών παραμορφώσεων λόγω της υπερφόρτισης από την εκδήλωση διατμητικών αστοχιών σε εκτεταμένη ζώνη περιμετρικά της σήραγγας καθώς επίσης μπορούν να σημειωθούν και βαρυτικές αστοχίες οι οποίες θα εκδηλωθούν με την μορφή τύπου καμινάδας.



Εικόνα 43 : Τύπος III – Τυπική διατομή

6.1.3 ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΚΣΚΑΦΗ ΤΗΣ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΤΥΠΟ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Κατά την εκσκαφή της σήραγγας ο κάθε τύπος βραχόμαζας που συναντάει ο σκαπτικός εξοπλισμός θα έχει και διαφορετική συμπεριφορά. Η συμπεριφορά αυτή περιγράφεται από τις αστοχίες που πραγματοποιούνται μέσα στην σήραγγα κατά την διάνοιξή της. Στο προηγούμενο υποκεφάλαιο έγινε ανάλυση της συμπεριφοράς της βραχόμαζας για κάθε τύπο ξεχωριστά και προτάθηκαν οι τυπικές διατομές που αντιστοιχούν σε κάθε έναν από αυτούς. Όμως για τον σχεδιασμό και ειδικά για την κατασκευή της σήραγγας απαραίτητα προϋπόθεση αποτελεί η ασφάλεια του προσωπικού καθώς επίσης και η παραλαβή των υδραυλικών φορτίων, η στεγανότητα και η καλή οπτική αισθητική του έργου η οποία πραγματοποιείται με την επιλογή των κατάλληλων μέτρων προσωρινής και μόνιμης υποστήριξης. Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει η επιλογή κατάλληλων μέτρων υποστήριξης της υπόγειας σήραγγας για κάθε τύπο βραχόμαζας που προέκυψε σε προηγούμενο κεφάλαιο χρησιμοποιώντας τον πίνακα διατομών άμεσης υποστήριξης σήραγγων ανά κατηγορία συμπεριφοράς βραχόμαζας (από Μαρίνος, 2010).

Με βάση λοιπόν τους τύπους διατομών που περιγράφηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο και επιλέχθηκαν ανάλογα την ποιότητα της βραχόμαζας θα γίνει και η επιλογή των απαραίτητων μέτρων υποστήριξης κατά την διάνοιξη της υπόγειας υδραυλικής σήραγγας. Ουσιαστικά θα προταθούν μέτρα τα οποία θα επιφέρουν την ομαλότερη εκσκαφή της υπόγειας σήραγγας

ανάλογα τον τύπο της γεωλογικής βραχόμαζας που συναντά ο εξοπλισμός κατά την εκσκαφή της.

Ο πρώτος τύπος ο αντιπροσωπεύει “καλής έως μέτριας ποιότητας περιδοτιτή” και αναπτύσσεται κυρίως σε σημαντικό βάθος. Αν λάβουμε υπόψη τα καλά ποιοτικά χαρακτηριστικά του περιδοτιτή στις συγκεκριμένες χιλιομετρικές θέσεις που αναπτύσσεται ο συγκεκριμένος τεχνικογεωλογικός τύπος βραχόμαζας, τότε μπορούν να προταθούν κυρίως ελαφριά μέτρα υποστήριξης. Αυτά μπορεί να είναι ένα λεπτό κέλυφος σκυροδέματος από 5 έως 10 cm να σφραγίσουν τυχόν σπασίματα περιμετρικά της διατομής σε συνδυασμό με μεταλλικά πλαίσια τύπου HEB120 ή αντίστοιχα Lattice Girders ανάλογα τον κερματισμό της βραχόμαζας τα οποία χρησιμοποιούνται για την αποτροπή των μικρών βραχώδων τεμαχών. Ακόμη προτείνεται ένας αραιός κάναβος αγκυρίων των οποίων το μήκος θα είναι ανάλογο των χαρακτηριστικών των σφηνών τα οποία θα αποτρέψουν τις σφηνοειδείς αστοχίες που προξενούν οι βαρυτικού τύπου αστοχίες. Ο οφιόλιθος γενικά αποτελεί ένα αδιαπέρατο πέτρωμα παρόλα αυτά Αποστραγγιστικά μέτρα απαιτούνται διότι ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται πάνω από το ύψος της σήραγγας και το νερό μπορεί να εισρεύσει μέσα από τις πιθανές ασυνέχειες του πετρώματος. Πρώτος και άμεσος στόχος είναι η αποφυγή ατυχημάτων που μπορούν να προκαλέσουν οι εισροές υδάτων μέσα στη σήραγγα στο προσωπικό που εργάζεται καθώς επίσης το νερό δρα καταλυτικά στην εκδήλωση αστοχιών.

Στον δεύτερο τεχνικογεωλογικό τύπο ο οποίος αναφέρεται σε “περιδοτιτές έως σερπεντινίτες σε ζώνες κερματισμού και αποσάθρωσης” συναντήσαμε δύο διαφορετικές συμπεριφορές βραχόμαζας ανάλογα το πάχος τον υπερκείμενων. Γενικά σε αυτόν τον τύπο τα μέτρα υποστήριξης θα είναι αυξημένα σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση. Ο πρώτος από τους δύο (α) αναφέρεται σε υπερκείμενα κατά μέσο όρο των 100 μέτρων. Σε περιπτώσεις όπου τα υπερκείμενα είναι μικρότερα των 100 μέτρων προτείνεται να χρησιμοποιηθούν οπλισμένο εκτοξευμένο σκυρόδεμα παχύτερου κελύφους από την προηγούμενη περίπτωση στον πρώτο τύπο βραχόμαζας, περίπου 10 έως 15 εκατοστών ώστε να σφραγιστούν οι ασυνέχειες που οφείλονται κυρίως στις ζώνες διάρρηξης σε συνδυασμό με μεταλλικά πλαίσια (HEB120 - 140 ή αντίστοιχα Lattice Girders) τα οποία αποτρέπουν τα βραχώδη τεμάχια να ολισθήσουν. Ακόμη προτείνεται ένας πυκνότερος κάναβος αγκυρίων ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των τεμαχών που ολισθαίνουν ο οποίος θα συγκρατήσει τα τεμάχια της βραχόμαζας που δύναται να ολισθήσουν με την μορφή σφηνών καθώς επίσης και η δημιουργία πυρήνα μετώπου σε περιοχές όπου είναι απαραίτητο. Εφόσον η στάθμη του υπόγειου υδροφόρου βρίσκεται πάνω από την σήραγγα, αποστραγγιστικά μέτρα είναι υποχρεωτικά αφού οι εισροές υδάτων διευκολύνουν τις καταπτώσεις βραχώδων τεμαχών. Στις περιπτώσεις που το πάχος των υπερκείμενων ξεπερνά τα 100 μέτρα πάχος, τα μέτρα υποστήριξης που προτείνονται να χρησιμοποιηθούν θα είναι παρόμοια με την προηγούμενη περίπτωση. Τα αγκύρια θα σχηματίζουν ένα αραιότερο κάναβο αφού οι ασυνέχειες θα είναι λιγότερο εκτεταμένες. Αποστραγγιστικά μέτρα είναι και σε αυτήν την περίπτωση απαραίτητα για την αποφυγή αστοχιών που δύναται να προκαλέσουν οι υδάτινες συνθήκες.

Στον (β) τύπο που αναφέρεται στις περιπτώσεις των στομιών τα μέτρα που προτείνονται να χρησιμοποιηθούν θα είναι βαριά. Τα συγκεκριμένα μέτρα υποστήριξης που προτείνονται αφορούν το οπλισμένο (με βαριά μεταλλικά πλαίσια ή ίνες) εκτοξευμένο σκυρόδεμα πάχους από 5 έως 20 εκατοστών ανάλογα την ποιότητα καθώς επίσης και ένας πυκνός κάναβος αγκυρίων για την συγκράτηση των τεμαχών που πρόκειται να ολισθήσουν λόγω βαρύτητας. Ακόμη προτείνεται να χρησιμοποιηθούν ως μέτρα υποστήριξης τα βλήτρα προπορείας για την αποφυγή της σταδιακής αποκόλλησης και των αστοχιών τύπου καμινάδας καθώς οι περιοχές των στομιών αποτελούν από τις πιο φτωχές ποιοτικά περιοχές βραχόμαζας. Ακόμη συνίσταται η δημιουργία πυρήνα μετώπου με εκτοξευμένο σκυρόδεμα αν η βραχόμαζα είναι πολύ φτωχή

και το μέτωπο ασταθές. Αποστραγγιστικά μέτρα προτείνονται σε περιπτώσεις που η στάθμη βρίσκεται πάνω από το ύψος της σήραγγας και μπορεί να επιβαρύνει τις συνθήκες συμπεριφοράς της βραχώμαζας.

Τέλος για τον τρίτο τεχνικογεωλογικό τύπο βραχώμαζας που προέκυψε, τα μέτρα υποστήριξης θα είναι ακόμη πιο ενισχυμένα σε σχέση με όλες τις παραπάνω περιπτώσεις αφού αναφέρεται σε ζώνη έντονου κερματισμού και εξαλλοίωσης των περιδοτιτών. Για το συγκεκριμένο κομμάτι της σήραγγας προτείνονται ως μέτρα υποστήριξης οπλισμένο με βαριά μεταλλικά πλαίσια εκτοξευμένο σκυρόδεμα πάχους 20 με 25 cm. Ακόμη προτείνεται ένας πυκνός κάναβος αγκυρίων για την αποφυγή των καταπτώσεων των μεγαλύτερων βραχώδων τεμαχών. Σε περιπτώσεις που η βραχώμαζα έχει πολύ πτωχή δομή απαιτείται η δημιουργία πυρήνα μετώπου από εκτοξευμένο σκυρόδεμα. Ακόμη προτείνεται η δημιουργία προσωρινού ανάστροφου τόξου για την αποφυγή ανύψωσης του δαπέδου της σήραγγας και τέλος οι αποστραγγιστικές ανακουφιστικές οπές για την αποφυγή εισροών υδάτων μέσα στο στόμιο της σήραγγας καθώς η ποιότητα αυτού του τύπου βραχώμαζας συντελείται από πολύ φτωχά χαρακτηριστικά τα οποία θα τα επηρεάσει.

Πίνακας 13: Προτεινόμενα μέτρα υποστήριξης για κάθε τεχνικογεωλογικό τύπο οφιολιθικής βραχώμαζας.

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	GSI	sci	mi	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΤΥΠΟ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ
I	55	160	27	- λεπτό κέλυφος σκυροδέματος από 5 έως 10 cm οπλισμένο με μεταλλικά πλαίσια τύπου HEB120 ή αντίστοιχα Lattice Girders ανάλογα τον κερματισμό της βραχώμαζας - αραιός κάναβος αγκυρίων - Αποστραγγιστικά μέτρα
II(α)	40	74	11.5	- εκτοξευμένο σκυρόδεμα παχύτερου κελύφους ~10 - 15 cm οπλισμένο με μεταλλικά πλαίσια (HEB120 - 140 ή αντίστοιχα Lattice Girders) - πυκνός κάναβος αγκυρίων (Βάθος <100 μ.) - αραιός κάναβος αγκυρίων (Βάθος >100 μ.) - δημιουργία πυρήνα μετώπου σε περιοχές όπου απαιτείται - αποστραγγιστικά μέτρα
II(β)	40	74	11.5	- οπλισμένο (με βαριά μεταλλικά πλαίσια ή ίνες) εκτοξευμένο σκυρόδεμα πάχους από 5 - 20 cm - πυκνός κάναβος αγκυρίων - βλήτρα προπορείας - πυρήνας μετώπου με εκτοξευμένο σκυρόδεμα σε ασταθές μέτωπο - Αποστραγγιστικά μέτρα
III	25	30	4.3	- εκτοξευμένο σκυρόδεμα πάχους 20 με 25 cm οπλισμένο με βαριά μεταλλικά πλαίσια - πυκνός κάναβος αγκυρίων - πυρήνας μετώπου από εκτοξευμένο σκυρόδεμα - δημιουργία προσωρινού ανάστροφου τόξου - αποστραγγιστικές ανακουφιστικές οπές

7 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο νησί της Λέσβου και συγκεκριμένα στο κομμάτι των οφιολιθικών βραχομαζών. Αποτελεί μία από τις δυσκολότερες περιοχές μελέτης με πολυάριθμες γεωλογικές και τεκτονικές δραστηριότητες με αποτέλεσμα να είναι ιδιαίτερα δύσκολη η απόφαση ως προς την ένταξή της σε μία από τις γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας.
- Όσον αφορά την γεωλογία της περιοχής έχουν τυπωθεί δύο βασικές απόψεις αυτές του Hecht (1972) και του Katsikatos et al (1986). Η βασική διαφορά μεταξύ των δύο αυτών απόψεων είναι ότι η πρώτη εντάσσει την ηφαιστειογενή σειρά στην ενότητα των Νεοπαλαιοζωικών πετρωμάτων και τοποθετεί τεκτονικά μόνο τους οφιολίθους σε αντίθεση με τη δεύτερη που θεωρεί ότι τόσο η ηφαιστειογενής σειρά όσο και τα οφιολιθικά πετρώματα τοποθετήθηκαν τεκτονικά πάνω στο Νεοπαλαιοζωικό υπόβαθρο του νησιού.
- Από τις γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή μελέτης και από την περιγραφή αυτών συμπεραίνεται ότι η περιοχή μελέτης της υδραυλικής σήραγγας δραστηριοποιείται μέσα σε οφιολιθικές βραχώμαζες οι οποίες διαφοροποιούνται κατά θέσεις ανάλογα των ποιοτικών χαρακτηριστικών.
- Από την στατιστική επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε για την περιοχή μελέτης, δημιουργήθηκαν ιστογράμματα της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής (σ_c) και του μέτρου Ελαστικότητας. Συμπερασματικά οι περισσότερες μετρήσεις κυμαίνονται σε τιμές των (100 – 250 MPa) ανήκοντας έτσι στην κατηγορία ενός πολύ ισχυρού πετρώματος (κατά ISRM, 1981). Αυτό δείχνει ότι ο οφιόλιθος είναι υγιής κατά το μεγαλύτερο μέρος στο οποίο πραγματοποιείται η διάνοιξη της υδραυλικής σήραγγας. Στη συνέχεια ακολουθεί η συχνότητα που ανήκει σε τιμές (<50 MPa) που αντιστοιχεί μετρίως ισχυρό πέτρωμα. Τέτοιες τιμές οφείλονται σε ζώνες έντονου κερματισμού και εξαλλοίωσης των περιδοτιτών. Μικρή είναι η συχνότητα για τιμές (50 – 100 MPa) που αντιστοιχούν σε ισχυρό τύπο πετρώματος καθώς επίσης και για τιμές (>250 MPa) που αντιστοιχούν σε εξαιρετικά ισχυρό πέτρωμα. Όσον αφορά το μέτρο Ελαστικότητας (E_i) παρατηρείται παρόμοιο φαινόμενο με την μονοαξονική θλιπτική αντοχή.
- Στην συνέχεια της στατιστικής επεξεργασίας δημιουργήθηκαν ακόμη τα διαγράμματα του δείκτη κερματισμού της βραχώμαζας RQD και της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής σ_c σε συνάρτηση με το βάθος καθώς επίσης και το διάγραμμα του μέτρου Ελαστικότητας E_i σε συνάρτηση με το βάθος. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα διαγράμματα αυτά είναι ότι σε βάθη μεγαλύτερα των 20 μέτρων ο κερματισμός της βραχώμαζας είναι αρκετά μικρότερος απ' ότι σε βάθη μικρότερα των 20 μέτρων. Συγκεκριμένα σε βάθη μεγαλύτερα των 20 μέτρων ο δείκτης κερματισμού της βραχώμαζας κυμαίνεται σε τιμές μεγαλύτερες του 60 σε αντίθεση με τη βραχώμαζα που βρίσκεται σε μικρότερα βάθη. Έως πολύ κερματισμένη βραχώμαζα συναντάτε κυρίως στις επιφάνειες των πετρωμάτων που αντιστοιχούν κυρίως στα στόμια της σήραγγας αλλά και κατά θέσεις οι οποίες βρίσκονται κατά μήκος της επιφάνειας της οφιολιθικής βραχώμαζας. Παρόλα αυτά εξαιτίας των τεκτονικών ρηγμάτων θα υπάρχουν ζώνες έντονου κερματισμού οι οποίες δεν θα υπακούν σε αυτό το φαινόμενο που παρατηρήθηκε και ακόμη και σε μεγάλο βάθος οι τιμές του RQD θα είναι μικρές.

Ακόμη, όσον αφορά την μονοαξονική θλιπτική αντοχή και το μέτρο Ελαστικότητας σε σχέση με το βάθος, παρόλο που οι μετρήσεις είναι περιορισμένες, σύμφωνα με το διάγραμμα προκύπτει ότι εμφανίζονται μεγάλες τιμές σε μεγάλα βάθη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το πέτρωμα στο εσωτερικό του είναι πιο υγιές απ' ότι κοντά στην επιφάνεια.

- Λαμβάνοντας υπόψη την γεωλογική τομή που προέκυψε από τα γεωτρητικά δεδομένα αλλά και τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν για την παραπάνω στατιστική επεξεργασία η οφιολιθική βραχώμαζα διακρίθηκε σε τρεις κύριους τεχνικογεωλογικούς τύπους. Αυτοί είναι: α) Καλή έως μέτριας ποιότητας περιδοτιτή που κατά θέσεις εμφανίζονται ζώνες σερπεντινίωσης, β) Περιδοτιτές ή σερπεντινίτες με ζώνες κερματισμού και αποσάθρωσης και γ) Ζώνη έντονου κερματισμού και εξαλλοίωσης των περιδοτιτών.ι
- Στη συνέχεια για κάθε τύπο βραχώμαζας μέσω του προγράμματος Rocklab 1.0 υπολογίστηκαν η συνοχή c καθώς επίσης και η γωνία τριβής φ° . Απαραίτητη προϋπόθεση για τον υπολογισμό αυτών των μεταβλητών είναι η τιμή του γεωλογικού δείκτη αντοχής (GSI) που αντιστοιχεί σε κάθε τύπο βραχώμαζας, καθώς επίσης και η τιμή της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής (σ_c) και η σταθερά (m_i). Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε τέσσερις φορές, μία φορά για τον πρώτο και τον τρίτο τύπο βραχώμαζας σε σημαντικό βάθος και δύο φορές για τον δεύτερο τύπο βραχώμαζας, μία σε σημαντικό βάθος και μία σε επιφανειακό το οποίο αντιστοιχεί στα στόμια της υδραυλικής σήραγγας. Οι υψηλότερες τιμές της συνοχής και της γωνίας τριβής που προέκυψαν αφορούν τον πρώτο τύπο βραχώμαζας καθώς είναι και ο περισσότερο υγιής. Οι μικρότερες τιμές της συνοχής c και της γωνίας τριβής φ° αφορούν τον τρίτο τύπο βραχώμαζας ο οποίος αναφέρεται σε ζώνη έντονου κερματισμού και εξαλλοίωσης των περιδοτιτών. Συνεπώς προκύπτει ότι όσο πιο κερματισμένη είναι μια βραχώμαζα και όσο πιο σερπεντινιωμένη είναι τόσο πιο μικρές θα είναι και οι τιμές της γωνίας τριβής και της συνοχής. Παρατηρείται βέβαια ότι η συνοχή c για τον δεύτερο τεχνικογεωλογικό τύπο βραχώμαζας στην επιφάνεια είναι μικρότερη από τις υπόλοιπες τιμές ακόμη και από τον τρίτο τεχνικογεωλογικό τύπο, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι η επιφανειακή αποσάθρωση ενός πετρώματος επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της οφιολιθικής βραχώμαζας.
- Έπειτα από την διαδικασία διάκρισης σε τεχνικογεωλογικούς τύπους βραχώμαζας ακολουθεί η εκτίμηση της συμπεριφοράς κατά την οποία θα ακολουθήσει η βραχώμαζα τόσο κατά την είσοδο και την έξοδο στα στομια εισόδου και εξόδου όσο και κατά μήκος της χάραξης της σήραγγας. Η κατηγοριοποίηση αυτή πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το σύστημα συμπεριφοράς της βραχώμαζας TBC (Μαρίνος, 2010). Όπως παρατηρήθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια οι αστοχίες που θα προκύψουν είναι κυρίως βαρυτικού τύπου για τους τεχνικογεωλογικούς τύπους I και II ενώ για τον τύπο III θα είναι τασικές αφού ξεπερνά το πάχος των 150 μέτρων σε υπερκείμενα. Οι αστοχίες που παρατηρούνται σε σημαντικό βάθος στους τύπους I και II θα είναι κυρίως της μορφής σφηνοειδών ολισθήσεων. Σε περιπτώσεις όπου η βραχώμαζα είναι περισσότερο διαταραγμένη θα παρατηρηθούν πιθανόν και αστοχίες τύπου καμινάδας όπου το μέγεθος των τεμαχών θα εξαρτάται ανάλογα με το βάθος. Όσον αφορά τον III τεχνικογεωλογικό τύπο βραχώμαζας, οι αστοχίες που θα προκύψουν θα έχουν τασικό χαρακτήρα καθώς τα υπερκείμενα θα ξεπερνούν τα 150 μέτρα πάχος. Έτσι θα υπάρξουν

σημαντικές παραμορφώσεις από την εκδήλωση διατμητικών αστοχιών ωστόσο μπορεί να υπάρξουν και αστοχίες βαρυτικού τύπου που θα εκδηλωθούν με μορφή τύπου καμινάδας. Τέλος, όσον αφορά τον II τεχνικογεωλογικό τύπο στην επιφάνεια του οφιολίθου που αναφέρεται στα στόμια εισόδου και εξόδου θα προκύψουν βαρυτικές αστοχίες οι οποίες θα εκδηλωθούν με τη μορφή τύπου καμινάδας σε περιοχές πολύ έντονου κερματισμού ενώ σε λιγότερο κερματισμένες βραχώμαζες οι αστοχίες θα έχουν τη μορφή σφηνοειδούς ολίσθησης ή ακόμη και πτώση τεμάχων λόγω βαρύτητας όπου το μέγεθος των τεμάχων θα εξαρτάται από το βάθος.

- Μετά την διαδικασία επιλογής των διατομών για κάθε τεχνικογεωλογικό τύπο βραχώμαζας απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η επιλογή κατάλληλων μέτρων υποστήριξης για την ασφάλεια του προσωπικού, την παραλαβή των υδραυλικών φορτίων, την στεγανότητα και την καλή οπτική αισθητική του έργου. Όσον αφορά τον I τύπο οφιολιθικής βραχώμαζας εξαιτίας των καλών ποιοτικών χαρακτηριστικών τα μέτρα που θα ληφθούν θα είναι κατά κύριο λόγο ελαφρού τύπου. Τα μέτρα που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι κυρίως οπλισμένο σκυρόδεμα, μεταλλικά πλαίσια, κάναβος αγκυρίων και αποστραγγιστικά μέτρα σε περιοχές όπου η στάθμή βρίσκεται ψηλότερα από τη στάθμη χάραξης της σήραγγας. Για τον II(α) τεχνικογεωλογικό τύπο τα μέτρα θα είναι παρόμοια με τον προηγούμενο τύπο, ελαφρώς πιο βαριά αφού τα ποιοτικά χαρακτηριστικά αυτού του τύπου θα είναι πιο μειωμένα. Αυτά είναι οπλισμένο σκυρόδεμα, μεταλλικά πλαίσια, πυκνός κάναβος αγκυρίων σε βάθος < 100 μέτρων και πιο αραιός σε βάθος > 100 μέτρων. Ακόμη είναι η δημιουργία πυρήνα μετώπου και αποστραγγιστικά μετρά όπου απαιτείται. Στον III τύπο οφιολίθου τα μέτρα υποστήριξης θα είναι βαριάς μορφής αφού οι αστοχίες θα έχουν τασικό χαρακτήρα. Τα μέτρα αυτά θα είναι εκτοξευμένο σκυρόδεμα με βαριά μεταλλικά πλαίσια, πυκνός κάναβος αγκυρίων, πυρήνας μετώπου από εκτοξευμένο σκυρόδεμα, δημιουργία προσωρινού ανάστροφου τόξου και αποστραγγιστικές οπές όπου απαιτείται. Στον II(β) τύπο βραχώμαζας τα μέτρα θα είναι κατά κύριο λόγο επίσης βαριά αφού πρόκειται για τα στόμια εισόδου και εξόδου. Στις περιοχές αυτές η βραχώμαζα εξαιτίας των μειωμένων χαρακτηριστικών χρειάζεται μεγαλύτερη προσοχή και καλύτερη αντιμετώπιση. Τα μέτρα που προτείνονται είναι οπλισμένο εκτοξευμένο σκυρόδεμα με βαριά μεταλλικά πλαίσια ή ίνες, πυκνός κάναβος αγκυρίων, βλήτρα προπορείας, πυρήνας μετώπου με εκτοξευμένο σκυρόδεμα και αποστραγγιστικά μέτρα όπου απαιτείται.

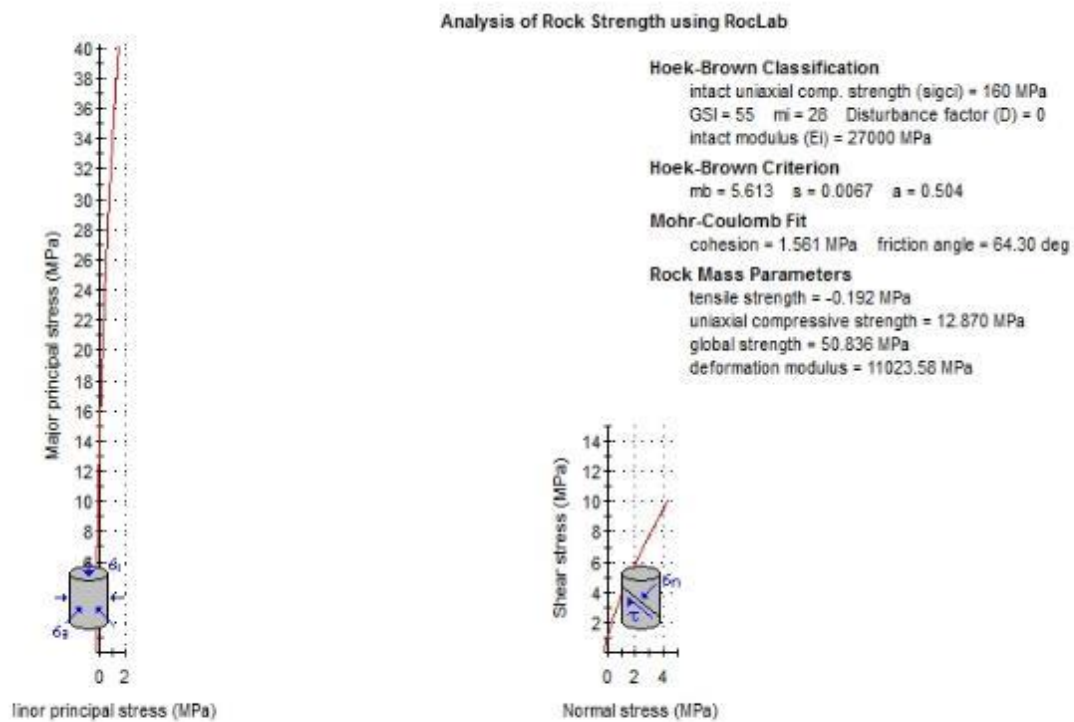
8 - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Barles, S., Jardel, S. 2005. *L'urbanisme souterrain: étude comparée exploratoire*. L' institute des Amériques. Ανασύρθηκε την 15/5/2015 από την ιστοσελίδα : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00128980>
- Brogniart, A. 1813. «Essai de classification mineralogique des roches mélanges», *Journal des Mines*, v. XXXIV, σελ. 190-199
- Coleman, R. G. 1977. *Ophiolites : Ancient Oceanic Lithosphere?* Springer Verlag, σελ. 229
- Deere, D.U. 1963. «Technical description of rock cores for engineering purposes». Στο : *Rock mechanics and engineering geology* 1(1) : 18. Vienna: Springer
- Gorard, G.P. 2002. *Why we go underground*. Toulouse: International tunneling and underground association [ITA]. Ανασύρθηκε την 17/09/2015 από την ιστοσελίδα : <https://www.ita-aite.org/en/why-go-underground>
- Hamrin, H. 2001. «Underground Mining Methodes and Applications». Στο : Hustrulid, W., Hustrulid, W.A., Bullock, R. (επιμ.), *Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies*. SME
- Hoek, E. 1983. *Strength of jointed rock masses*. 23rd. Rankine Lecture. *Geotechnique*. 33(3), p. 187-223
- Hoek, E., Brown, E.T. 1980. «Empirical strength criterion for rock masses». *J. Geotechnical Engineering Division ASCE* : 1013-1025
- Hoek, E., Brown, E.T. 1980. *Underground Excavations in Rock*. London : Institution of Mining and Metallurgy
- Hoek, E., Brown, E.T. 1988. «The Hoek-Brown failure criterion - a 1988 update». *Proc. 15th Canadian Rock Mech. Symp.* (ed. J.H. Curran), Toronto: Civil Engineering Dept., University of Toronto. pp. 31-38
- Hoek, E., Marinos, P., Kazilis, N., Angistalis, G., Rahaniotis, N., Marinos, V. 2006. Greece's Egnatia Highway Tunnels. *Tunnels & Tunnelling International*, September 2006, 32-35
- Marinos, P and Hoek, E. 2000. «GSI – A geologically friendly tool for rock mass strength estimation». Στο : *Proc. GeoEng2000 Conference*, Melbourne. σελ. 1422-1442
- Marinos, P., Hoek, E., Marinos, V. 2006. « Valiability of the engineering properties of rock masses quantified by the geological strength index : the case of ophiolites with specil emphasis of tunneling », *Bull Eng Geoil Env* 65, pp 129-142
- Moores, E. M. 1982. «Origin and emplacement of ophiolites», *Reviews of Geophysics*, v. 20
- Mountrakis, D., Thomaidou, E., Zouros, N., Kiliass, A. 2001. « Kinematic Analysis and tertiary evolution of the Lesvos ophiolites and metamorphic sole (Aegean Sea, Greece) » Στο : *Proceedings of the 9th International Congress, Bulletin of the Geological Society of Greece, VolXXXIV/1*. Athens. pp 267-274
- Mourtzas, N., Gkiokas, A. 2010. « Tunneling in ophiolitic series formations: Tunnels of the new high-speed railway double track line – Section Linokladi - Domokos » Στο : *Proceedings of the 12th*

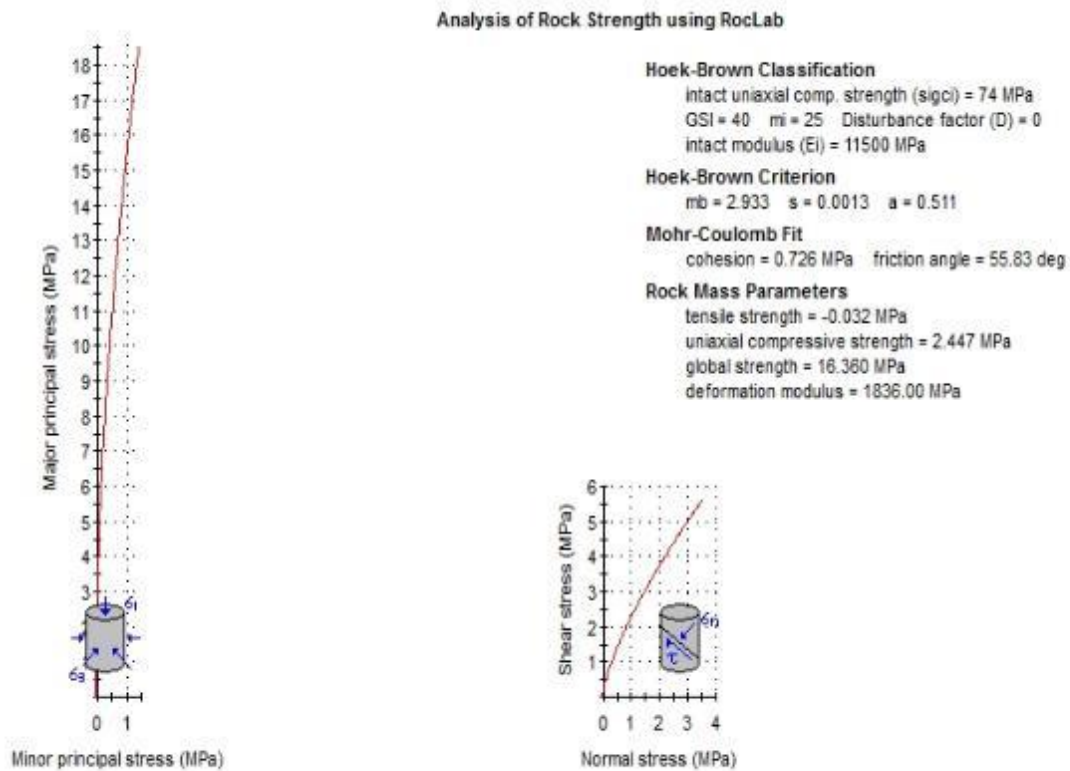
- International Congress, Bulletin of the Geological Society of Greece, VolXLIII, No3-1274. Patras May
- Sapigni, M., Meggiolaro, V., 2013. «Tunnel boring asbestos-bearing rocks is a problem of ophiolite but it is not limited to ophiolite» Στο : *Geoitalia - IX Forum Italiano di Scienze della Terra*. Pisa 16-18 Septembre
- Steinmann, G. 1927. «Die ophiolitschen zonen in den mediterranen Kettengebirgen», μετάφρασμένο και επανεκδομένο από τους Bernouli και Friedman , στο: *Dilek and Newcomb*, editors, *Ophiolite concept and the evolution of Geologic thought*, Geological Society of America Special Publication 373, σελ. 77-91
- Sterling, R., Carmody, J. 1993. *Underground Space Design: A guide to subsurface utilization and design for people in underground spaces*. Locke Science Publishing Company, Inc.
- Zhao, J., Krishnan, S., Krishnan R. 2000. *Tunnels and Underground Structures*. Rotterdam : Balkema. Ανασύρθηκε την 29/03/2015 από την ιστοσελίδα: https://books.google.co.ma/books?id=KuUtzTWzN-8C&pg=PA126&dq=soil+underground+tunnel&hl=el&sa=X&ei=YIMQVeSWM6it7Ab_jlHoBg&redir_esc=y#v=onepage&q=soil%20underground%20tunnel&f=false
- Zodiatis, G., Lardner, R. L., Hayes, D., Georgiou, G., Sofianos, S., Skliris, N., Lascaratos, A. 2008. «Operational coastal ocean forecasting in the Eastern Mediterranean: implementation and evaluation», *Ocean Science*, 4, σελ. 31-47
- Διαμάντης, Κ. 2010. *Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των υπερβασικών πετρωμάτων Οθρυος και Καλλίδρομου (Κεντρική Ελλάδα)* Διδακτορική Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Θετικές Επιστήμες στη Γεωπονία, Εργαστήριο Ορυκτολογίας και Γεωλογίας.
- Εξαδάκτυλος, Γ., Σταυροπούλου, Μ. 2006. *Κατασκευή και μηχανική των σηράγγων και των υπόγειων έργων*. Χανιά
- Θωμαΐδου, Έ. 2009. *Η Γεωλογική Δομή της Νήσου Λέσβου*. Θεσσαλονίκη : Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας.
- Καββαδάς, Μ. 2004. «Κεφάλαιο 5 : Διάνοιξη σηράγγων με τη μέθοδο NATM». Στο : Σημειώσεις σχεδιασμού υπόγειων έργων. Αθήνα. Ε. Μ. Πολυτεχνείο
- Καββαδάς, Μ. 2004. «Κεφάλαιο 6 :Ανάλυση της διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης». Στο : Σημειώσεις σχεδιασμού υπόγειων έργων. Αθήνα. Ε. Μ. Πολυτεχνείο
- Καλιαμπάκος, Δ. 2004. Σημειώσεις μαθήματος : *Εκμετάλλευση Μεταλλείων Ι - Μηχανές Ολομέτωσης κοπής – TBM*. Αθήνα. Έκδοση Ε.Μ. Πολυτεχνείο
- Λάζος, Η. 2014. *Τεχνικογεωλογική αξιολόγηση αντοχής και παραμορφωσιμότητας μολασσικών σχηματισμών της Μεσοελληνικής αύλακας. Εκτίμηση τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς και προσωρινής υποστήριξης στα υπόγεια έργα*. Θεσσαλονίκη : Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τομέας Γεωλογίας – Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας
- Μαρίνος, Β. 2010. «Η Τεχνικογεωλογική Συμπεριφορά των Βραχομαζών κατά τη Διάνοιξη Σηράγγων. Η Σημασία στον Σχεδιασμό των Μέτρων Υποστήριξης». Στο : *6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής*. Βόλος, 29/09 – 1/10 2010

- Ρογκάλα, Α. 2013. *Μελέτη των πετρωγενετικών διεργασιών των οφιολιθικών πετρωμάτων της περιοχής Βέροιας-Νάουσας (Ζώνη Αξιού)*. Πάτρα : Μεταπτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Θετικών επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Ορυκτών πρώτων υλών, σελ. 10
- Σερέλης, Κ. 1995. *Έρευνα των οφιόλιθων της Ν. Λέσβου*. Αθήνα : Διδακτορική Διατριβή, Γεωργικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Εργαστήριο Ορυκτολογίας – Γεωλογίας. Ανασύρθηκε την 24/03/2015 από την ιστοσελίδα : <http://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/12456#page/1/mode/1up>
- Χρηστάρας, Β., Μαρίνος, Β. Τεχνική Γεωλογία. «Σήραγγες και Υπόγεια Έργα». *Τεχνική Γεωλογία*. Θεσσαλονίκη. ΑΠΘ, Τμήμα Γεωλογίας, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας.
- Χρηστάρας, Β., Μαρίνος, Β. Τεχνική Γεωλογία. «Τεχνική Γεωλογία Βράχου». *Τεχνική Γεωλογία*. Θεσσαλονίκη. ΑΠΘ, Τμήμα Γεωλογίας, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας.
- Χρηστάρας, Β., Μαρίνος, Β. Τεχνική Γεωλογία. «Τεχνική Γεωλογία Ιζηματογενών-Πυριγενών-Μεταμορφωμένων Πετρωμάτων». *Τεχνική Γεωλογία*. Θεσσαλονίκη. ΑΠΘ, Τμήμα Γεωλογίας, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας.
- Χρηστάρας, Β., Χατζηαγγέλου, Μ. 2011. *Απλά βήματα στην εδαφομηχανική*. University Studio Press

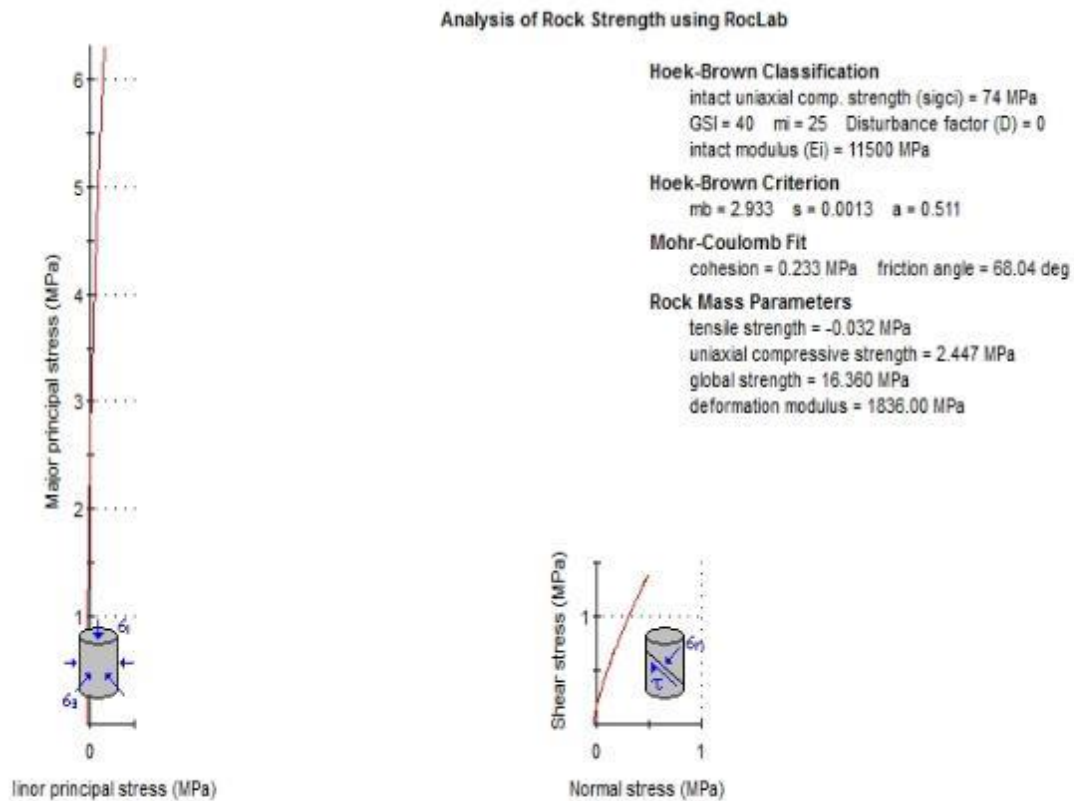
9 - ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



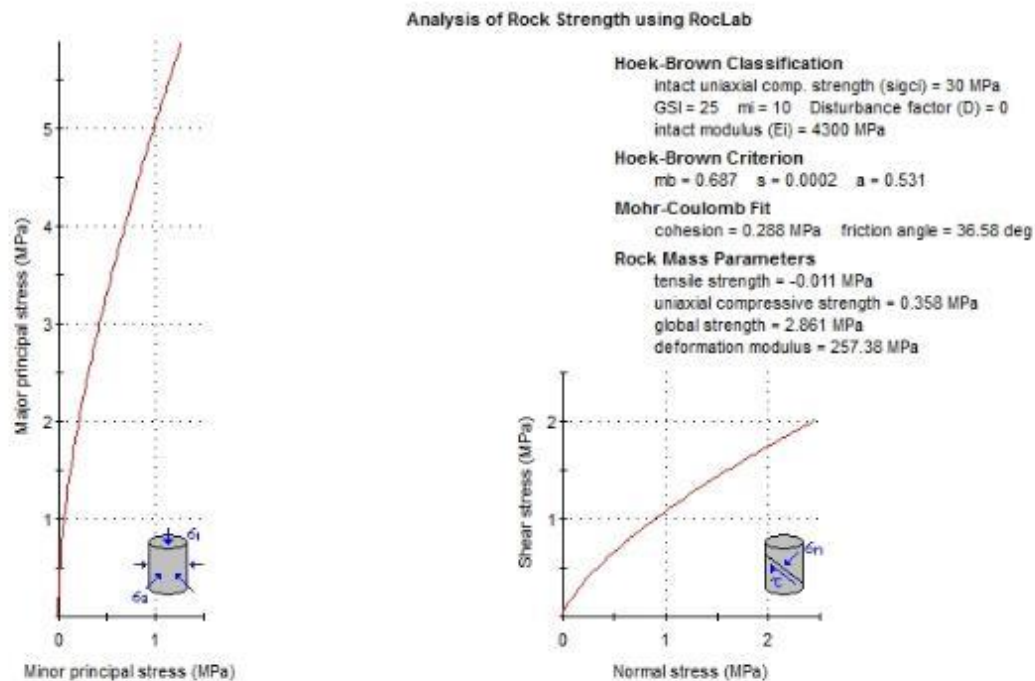
Εικόνα 44: Υπολογισμός συνοχής c , γωνίας τριβής ϕ και μέτρου Παραμορφωσιμότητας E_m για τον τύπο I βραχώμαζας.



Εικόνα 45: Υπολογισμός συνοχής c , γωνίας τριβής φ και μέτρου Παραμορφωσιμότητας E_m για τον τύπο II βραχώμαζας σε βάθος των 100 μέτρων.



Εικόνα 46: Υπολογισμός συνοχής c , γωνίας τριβής ϕ και μέτρου Παραμορφωσιμότητας E_m για τον τύπο II βραχώμαζας σε βάθος των 10 μέτρων.



Εικόνα 47: Υπολογισμός συνοχής c , γωνίας τριβής ϕ και μέτρου Παραμορφωσιμότητας E_m για τον τύπο III βραχώμαζας.