



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΣΑΒΙΝΑ Ο.ΔΑΝΙΗΛΙΔΟΥ

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ
ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ
Σ1 ΚΑΙ Σ2 ΣΤΟΝ ΚΑΘΕΤΟ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ 'ΞΑΝΘΗ –
ΕΧΙΝΟΣ- ΕΛΛΗΝΟΒΟΥΛΓΑΡΙΚΑ ΣΥΝΟΡΑ'

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2018





ΣΑΒΙΝΑ Ο.ΔΑΝΙΗΛΙΔΟΥ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5329

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ
ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ
Σ1 ΚΑΙ Σ2 ΣΤΟΝ ΚΑΘΕΤΟ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ 'ΕΛΛΑΔΗ –
ΕΧΙΝΟΣ- ΕΛΛΗΝΟΒΟΥΛΓΑΡΙΚΑ ΣΥΝΟΡΑ'

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Γεωλογίας,
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

Επιβλέπων

Βασίλειος Μαρίνος



© Σαβίνα Ο.Δανιηλίδου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωλογίας, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ
ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ
Σ1 ΚΑΙ Σ2 ΣΤΟΝ ΚΑΘΕΤΟ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ 'ΞΑΝΘΗ –
ΕΧΙΝΟΣ- ΕΛΛΗΝΟΒΟΥΛΓΑΡΙΚΑ ΣΥΝΟΡΑ'

– Διπλωματική Εργασία

© Savina O.Daniilidou, School of Geology, Dept. of Geology, 2019

All rights reserved.

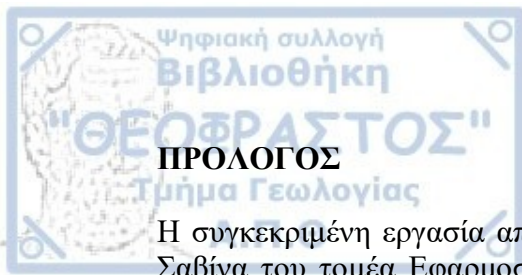
ENGINEERING GEOLOGICAL CONDITIONS ASSESMENT ON THE
ENGINEERING GEOLOGICAL BEHAVIOR ALONG TUNNELS S1 AND S2 IN
THE VERTICAL ACCESS OF EGNATIA HIGHWAY 'XANTHI-EXINOS –
GREEK – BOULGARISH BORDERS'

– Bachelor Thesis

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου: Λεπτομέρεια στη θέση του στομίου εισόδου, σε τόφρους και ηφαιστειακά λατυποπαγή στην σήραγγα Σ1.[Μ.Χ.Αλεξιάδου , Οριστική Γεωλογική Μελέτη Σήραγγες Σ1-Σ2 Τεχνική Έκθεση]



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η συγκεκριμένη εργασία αποτελεί διπλωματική εργασία της φοιτήτριας Δανιηλίδου Σαβίνα του τομέα Εφαρμοσμένης Γεωλογίας ,του τμήματος Γεωλογίας της σχολής Θετικών Επιστημών.

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την μελέτη των τεχνικογεωλογικών συνθηκών και την εκτίμηση της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς κατά μήκος των δύο πρόσφατα κατασκευασμένων σηράγγων Σ1 και Σ2 οι οποίες ανήκουν στον κάθετο άξονα 70 της Εγνατίας Οδού ‘Ξάνθη - Εχίνος – Ελληνοβουλγαρικά σύνορα’.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για το πρακτικό κομμάτι της εργασίας προέρχονται από την Οριστική Γεωλογική Μελέτη των σηράγγων Σ1 – Σ2 της Εγνατίας Οδού Α.Ε. με μελετητή την κα Μαρία – Χαρά Αλεξιάδου.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της παρούσας εργασίας Βασίλειο Μαρίνο για τις συμβουλές και την υποστήριξη για την εκπόνηση της εργασίας.

Ευχαριστίες ,τέλος οφείλω στην Εγνατία Οδό Α.Ε.,και ιδιαίτερα στο επιβλέποντά μου Γεώργιο Αγγίσταλη ,που με δέχτηκε ως προπτυχιακή φοιτήτρια για την εκπόνηση της πρακτικής μου εξάσκησης και μου παρείχε τα δεδομένα για την πτυχιακή μου εργασία.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η γεωλογική και τεχνικογεωλογική μελέτη στην περιοχή διάνοιξης των σηράγγων Σύνης – Μακρυκάμπου του κάθετου άξονα 70 ‘Ξάνθη –Εχίνος –ελληνοβουλγαρικά σύνορα’ , πλησίον του οικισμού Μελοίβια του Ν.Ξάνθης. Οι δύο σήραγγες αποτελούν οδικές σήραγγες μονού κλάδου και διπλής κατεύθυνσης.

Η συγκεκριμένη εργασία στοχεύει στην κατασκευή γεωλογική τομής, την τεχνικογεωλογική αξιολόγηση, την εκτίμηση της συμπεριφοράς των τεχνικογεωλογικών ενότητων που αναμένονται σε αυτό το περιβάλλον και τον προσδιορισμό των βασικών τεχνικογεωλογικών παραμέτρων, την εκτίμηση της ποιότητας της βραχώμαζας και ,τέλος, την πρόταση κατάλληλων μέτρων αντιστήριξης-υποστήριξης.

Το ζεύγος σηράγγων διέρχεται από τους μολασσικούς σχηματισμούς της ροδοπικής μάζας, η οποία συνίσταται από τόφρους, σχιστόλιθους –ψαμμίτες, ηφαιστιακά λατυποπαγή και υλικά παλαιών και νέων κατολισθήσεων .

Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες ,όπως προκύπτουν από την παρούσα εργασία αναμένεται να είναι δύο για την σήραγγα Σ1(Σύνης) και τρεις για την σήραγγα Σ2(Μακρυκάμπου) σύμφωνα με τα κοινά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά του γεωυλικού και κυρίως με βάση τους δείκτες RQD [Deere et al. 1988 and Deere 1989] και GSI [Hoek et al. 1998; Marinos and Hoek 2000, 2001] και το ύψος των υπερκειμένων. Ανάλογα με την τεχνικογεωλογική ενότητα η διάνοιξη , η κατασκευή και η επένδυση λαμβάνουν διαφορετική αντιμετώπιση .

Για κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα προσδιορίζεται ένας μέσος δείκτης GSI [Hoek et al. 1998; Marinos and Hoek 2000, 2001] (ή εύρος τιμών), πραγματοποιείται ανάλυση των δυνητικών ολισθήσεων και προσδιορίζεται ο τύπος συμπεριφοράς της.

Το μολασσικό υπόβαθρο, πάνω στο οποίο κατασκευάστηκαν οι δύο σήραγγες, χαρακτηρίζεται από ανομοιογένεια παρουσιάζει όμως καλά μηχανικά χαρακτηριστικά σε όλο το μήκος των διανοίξεων. Τα ρήγματα που υπάρχουν κατά μήκος των σηράγγων είναι συνιζηματογενή και δεν επηρεάζουν την ευστάθεια. Τέλος , ο υπόγειος υδροφορέας δεν διέρχεται μέσα από τις διανοίξεις και συνεπώς τις επηρεάζει ελάχιστα. Η διάνοιξη συνεπώς, είναι εύκολη , για αυτό και πραγματοποιείται με τις συμβατικές μεθόδους διάνοιξης.

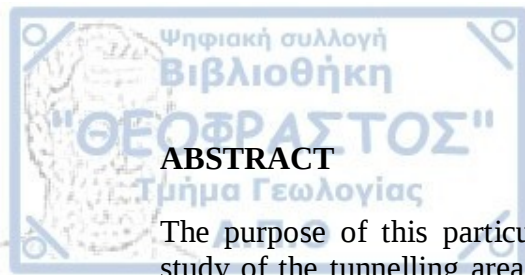
Η διεκπεραίωση του έργου αναμένεται σχετικά ομαλή και δίχως ιδιαίτερες τεχνικογεωλογικές προκλήσεις, ιδίως για την σήραγγα Σύνης. Η κύρια πρόκληση εντοπίζεται στο στόμιο εξόδου της σήραγγας Σ2 (Μακρυκάμπου), όπου υπάρχει σημαντική εμφάνιση ασταθών υλικών που προέρχονται από παλαιές και νέες κατολισθήσεις.

Η διάνοιξη αναμένεται να πραγματοποιηθεί, σε γενικές γραμμές, σύμφωνα με τις αρχές των συμβατικών μεθόδων διάνοιξης, ενώ τα μέτρα αντιστήριξης –υποστήριξης που προτείνονται είναι τα συμβατικά μέτρα με τις κατάλληλες διαφοροποιήσεις ανά τεχνικογεωλογική ενότητα.



Η κύρια διαφοροποίηση στην συνολική αντιμετώπιση του έργου, επέρχεται στην διάνοιξη, κατασκευή και επένδυση του νοτιοανατολικού τμήματος της Σ2 σήραγγας (στόμιο εξόδου), όπου προτείνεται διάνοιξη με την μέθοδο Cover an Cut και πιο ενισχυμένα μέτρα υποστήριξης.

Στην εργασία αυτή περιλαμβάνονται επίσης γεωλογικές τομές , διαγράμματα και δίκτυα Schmidt. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιήθηκαν αντίστοιχα τα προγράμματα AutoCad της AutoDesk, Excel του Microsoft Office και Dips της Rocscience.



ABSTRACT

The purpose of this particular thesis is the geological and geological engineering study of the tunnelling area of Siini- Makrikampos tunnels of the vertical access of Egnatia Highway 'Xanthi –Ehinos- Greek-boulgarish borders' near the Melivia plantation of Xanthi district. The two tunnels are road single line tunnels of double direction.

This assignment aims at the construction of the geological section , the geological engineering assessment , the appraisal of the behaviour of the rock mass units and the definition of the basic geological engineering parameters , the assessment of the rock mass quality and the suggestion of the appropriate shoring/support measures .

Both tunnels pass through the molassic formations of Rhodope mass , which consists of cinders ,schists- sandstones ,volcanic breccia and landslide material.

The geological engineering units, as shown in the present paper, are two for the tunnel Σ1 (Siini) and three for the tunnel Σ2 (Makrikampos) according to the common geological engineering characteristics of the geomaterial, especially the RQD [Deere et al. 1988 and Deere 1989] and GSI[Hoek et al. 1998; Marinos and Hoek 2000, 2001] indexes and the height of the overlaying rocks. Depending on the technical-geological unit, the tunnelling, the construction and the coating, are being addressed separately.

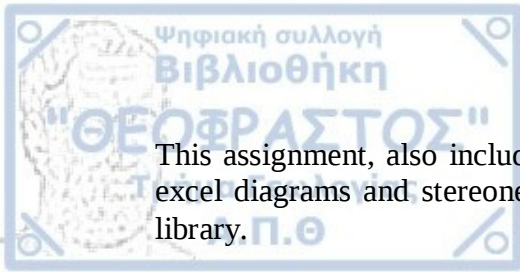
For each of the technical-geological units an average GSI [Hoek et al. 1998; Marinos and Hoek 2000, 2001] rate is defined (or a rate range), an analysis is being carried out, to measure the contingent landslides and the type of behaviour is being defined.

The molassic background, on which the two tunnels were constructed is characterized by disunion, but it displays good geological engineering characteristics along the tunnels. The faults that exist along the tunnels are not interfering with the stability. Moreover, the underground water table does not pass along the inside of the tunnels and therefore it affects them minimally.

The undertaking of the construction is expected to be straightforward and without any technical challenges, especially for the Siini tunnel. The main challenge will be faced at the exit mouth of the Σ2 tunnel (Makrikampos), where there is an appearance of unstable materials from older or newer landslides.

The tunnelling is expected to generally take place, according to the basic principles of the conventional methods of tunnelling, while the shoring measurements that are suggested are the conventional measurements with the appropriate discriminations on each technical-geological unit.

The main discrimination on the total handling of the construction supervenes on the tunnelling, the construction and coating of the south-east part of the Σ2 tunnel (exit mouth), where the suggested tunneling method is Cover and Cut, with heavier supporting measures.



This assignment, also includes geological sections made on AutoCad of AutoDesk , excel diagrams and stereonets made on Dips programme of Rocscience programme library.

Formatted:English (U.S)



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

➤ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
❖ 1.1. Αντικείμενο – Δομή εργασίας.....	1
❖ 1.2. Τοποθεσία και γενικά χαρακτηριστικά σηράγγων Σ1 και Σ2.....	2
❖ 1.3. Μεθοδολογία.....	3
❖ 1.4. Διάνοιξη –Κατασκευή των σηραγγών Σ1 και Σ2	
1.4.1. Σήραγγα Σλήνης (Σ1).....	4
1.4.2. Σήραγγα Μακρυκάμπου (Σ2).....	6
➤ 2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ- ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	
❖ 2.1. Συμβατική μέθοδος διάνοιξης	9
❖ 2.2. Μέθοδοι C&C.....	12
❖ 2.3. Ταξινόμηση βραχώμαζας GSI	16
❖ 2.4. Εκτίμηση συμπεριφοράς βραχώμαζας – Διάγραμμα TBC	22
➤ 3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	
❖ 3.1. Γεωμορφολογία-Γεωλογία.....	24
❖ 3.2. Νεοκτονική δραστηριότητα-Σεισμικότητα	28
❖ 3.3. Υδρογεωλογία	31
➤ 4. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	
❖ 4.1. Αξιολόγηση γεωτρητικού προγράμματος – Στατιστική επεξεργασία.....	36
❖ 4.2. Ταξινόμηση βραχώμαζας –GSI.....	39
❖ 4.3. Τεχνικογεωλογικές Ενότητες.....	42
❖ 4.4. Μικροτεκτονική αξιολόγηση –Δυνητικές ολισθήσεις.....	46
❖ 4.5. Τύποι συμπεριφοράς βραχώμαζας – Ταξινόμηση TBC.....	54
➤ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	58
➤ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	60
➤ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΜΗΚΟΤΟΜΕΣ.....	62

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Αντικείμενο – Δομή εργασίας

Η Συγκεκριμένη διπλωματική εργασία πραγματεύεται τις γεωλογικές και τεχνικογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στις περιοχές διάνοιξης του ζεύγους των σηράγγων Σύνης – Μακρυκάμπου , με σκοπό την κατανόηση της συμπεριφοράς της βραχόμαζας και τον προσδιορισμό των μηχανισμών αστοχίας.

Η τελική αξιολόγηση της συμπεριφοράς των γεωλογικών δομών στην άμεση περιοχή των έργων είναι αποτέλεσμα της μελέτης της γεωλογίας, της τεκτονικής της σεισμικής δραστηριότητας, της υδρογεωλογίας της περιοχής, αλλά και της γεωτεχνικής αξιολόγησης των χαρακτηριστικών του γεωυλικού.

Στην παρούσα εργασία αναλύονται όλα τα παραπάνω και παρατίθενται τα αντίστοιχα δεδομένα – παράμετροι με την μορφή πινάκων, δικτύων Schmidt και μηκοτομών.

Η εργασία είναι δομημένη με τέτοιον τρόπο ώστε να είναι όσο το δυνατόν καλύτερη η κατανόηση της μεθοδολογίας και των γενικών συμπερασμάτων όπως προκύπτουν από την μελέτη της γεωλογίας και των γεωτεχνικών παραμέτρων που καθορίζουν την διάνοιξη των σηράγγων.

Αρχικά παρατίθενται τα βασικά χαρακτηριστικά των σηράγγων και η μεθοδολογία σε βήματα. Στην συνέχεια αναλύονται οι βασικές έννοιες, πάνω στις οποίες βασίζεται η συγγραφή της εργασίας, δηλαδή οι αρχές των συμβατικών μεθόδων διάνοιξης, οι μέθοδοι Cut and Cover και Cover and Cut, ο δείκτης ποιότητας βραχόμαζας GSI [Hoek et al. 1998; Marinos and Hoek 2000, 2001], και τέλος η εκτίμηση συμπεριφοράς της βραχόμαζας – TBC[Marinos 2012]. Η παρουσίαση των εννοιών αυτών υπάγεται στο βιβλιογραφικό κομμάτι της εργασίας και είναι απαραίτητη για την γενικότερη κατανόηση του αντικειμένου.

Ακολουθεί η παράθεση των γεωλογικών συνθηκών της ευρύτερης και της άμεσης περιοχής του έργου. Εδώ αναλύονται η γεωμορφολογία –γεωλογία της περιοχής, η νεοτεκτονική δράση και η σεισμικότητα και η υδρογεωλογία.

Το κυρίως αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η τεχνικογεωλογική αξιολόγηση, η οποία περιλαμβάνει την στατιστική επεξεργασία (ανάλυση παραμέτρων, διαγράμματα excel, ιστογράμματα συχνοτήτων), ο προσδιορισμός τεχνικογεωλογικών ενοτήτων με βάση τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχόμαζας, η ταξινόμηση της βραχόμαζας κατά GSI [Hoek et al. 1998; Marinos and Hoek 2000, 2001] ανά τεχνικογεωλογική ενότητα, η αξιολόγηση της μικροτεκτονικής ανάλυσης για την εύρεση δυνητικών ολισθήσεων, και η εκτίμηση του τύπου συμπεριφοράς της βραχόμαζας ανά τεχνικογεωλογική ενότητα (ταξινόμηση TBC [Marinos 2012]).

Στην συνέχεια περιγράφεται η διάνοιξη – κατασκευή των σηράγγων ανά τεχνικογεωλογική ενότητα, όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση ταυτίζονται με τα τρία βασικά τμήματα της εκσκαφής (στόμιο εισόδου, υπόγεια διάνοιξη και στόμιο εξόδου. Παράλληλα προτείνονται και τα γενικά μέτρα αντιστήριξης ανά τεχνικογεωλογική ενότητα. Τέλος παρατίθενται τα συμπεράσματα – προτάσεις.

1.2. Τοποθεσία και γενικά χαρακτηριστικά σιηράγγων Σ1 και Σ2

Οι σιηράγγες Σύννης (Σ1) και Μακρύκαμπου (Σ2) αποτελούν τεχνικά έργα τα οποία ανάγονται στην υλοποίηση της Εγνατία Οδού και βρίσκονται πλησίον του οικισμού Μελίβοια ,ο οποίος εντάσσεται διοικητικά στον Νομό Ξάνθης.

Οι δύο σιηράγγες εντάσσονται στο τμήμα ‘ Μελίβοια –Σύννορα’ του κάθετου άξονα 70΄Ξάνθη –Εχίνος –Ελληνοβουλγαρικά Σύννορα ’ και αποτελούν σιηράγγες μονού κλάδου ,διπλής κατεύθυνσης.

Η Σιηράγγα Σύννης εκτείνεται μεταξύ των χιλιομετρικών θέσεων Χ.Θ 11+296.18 και Χ.Θ 11+418.93 , όπου τοποθετούνται και τα στόμια εισόδου και εξόδου , αντίστοιχα. Το συνολικό μήκος της ανέρχεται στα 122.75 m , με την υπόγεια διάνοιξη να καταλαμβάνει μήκος 81.05 m . Οριζοντιογραφικά η σιηράγγα είναι ευθύγραμμη , ενώ μηκοτομικά παρουσιάζει συνεχή ανοδική κλίση + 6.35%. Η διατομή της σιηράγγας είναι πεταλοειδής και το κατάστρωμα έχει πλάτος 8.50 m.

Ο άξονας Σιηράγγας Μακρύκαμπου αποτελείται από ένα καμπύλο τμήμα ακτίνας R= 400 m ,στο στόμιο εισόδου , και ένα ευθύγραμμο τμήμα μήκους 55 m.

Η σιηράγγα έχει ανοδική κλίση της τάξης του 2.90%. Ο άξονας της εκτείνεται μεταξύ των Χ.Θ 12+821.93 και Χ.Θ 12+ 972.13 ,με συνολικό μήκος 150.20 m. Το υπόγειο τμήμα της σιηράγγας εκτείνεται σε μήκος 75.05 m. Η διατομή είναι πεταλοειδής και το κατάστρωμα έχει πλάτος 8.50 m.



Εικόνα .Τοποθεσία σιηράγγων Σ1 και Σ2 -Χάρτης Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης

1.3. Μεθοδολογία

Προκειμένου να επιτευχθεί ο σκοπός της παρούσας εργασίας, δηλαδή ο καθορισμός συμπεριφοράς της βραχώμαζας στις περιοχές εκπόνησης των τεχνικών έργων, ακολουθήθηκε μια σειρά συγκεκριμένων βημάτων.

Σημείο εκκίνησης αποτέλεσε η συλλογή της σχετικής βιβλιογραφίας, με σκοπό την εύρεση δεδομένων που αφορούν γενικότερα την φιλοσοφία της διάνοιξης σηράγγων, καθώς και πληροφορίες σχετικές με το ευρύτερο γεωλογικό- γεωτεχνικό γεωλογικό υπόβαθρο της ευρύτερης και της κυρίως περιοχής των έργων. Στο κομμάτι αυτό περιλαμβάνεται και η μελέτη των αντίστοιχων γεωλογικών και γεωτεχνικών εκθέσεων της Εγνατίας Οδού Α.Ε.

Ακολούθησαν τα κύρια βήματα για την διεξαγωγή των βασικών συμπερασμάτων, δηλαδή την αξιολόγηση της βραχώμαζας και την πρόταση κατάλληλων μέτρων αντιστήριξης :

1. Μελέτη των γεωτρητικών προγραμμάτων, αξιολόγηση και στατιστική επεξεργασία των γεωτρήσεων, ομαδοποίηση σε μορφή πινάκων σε υπολογιστικά φύλλα Excel και δημιουργία γραφημάτων των βασικών παραμέτρων.
2. Προβολή της σημειακής πληροφορίας σε μηκοτομή (κατά μήκος των διανοίξεων).
3. Μελέτη της πρωταρχικής προκύπτουσας, από τα σημειακά δεδομένα, μηκοτομής και κατασκευή της ολοκληρωμένης γεωλογικής τομής. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε αρχικά χειρόγραφα και στην συνέχεια σε ψηφιακή μορφή με την χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος Autocad.
4. Ομαδοποίηση των τεχνικογεωλογικά όμοιων περιοχών κατά μήκος του έργου σε τεχνικογεωλογικές ενότητες με κοινά μηχανικά χαρακτηριστικά.
5. Προσδιορισμός της ποιότητας της βραχώμαζας, με βάση την εμπειρική αξιολόγηση της ποιότητας των ασυνεχειών και της δομής της βραχώμαζας (GSI), ανά τεχνικογεωλογική ενότητα.
6. Μικροτεκτονική ανάλυση, μελέτη των δικτύων Schmidt, αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και διεξαγωγή συμπερασμάτων.
7. Προσδιορισμός του τύπου συμπεριφοράς της βραχώμαζας ανά τεχνικογεωλογική ενότητα (TBC), σύμφωνα με την δομή της βραχώμαζας, την αστράγγιστη διατμητική αντοχή (σ_{ci}) και το ύψος των υπερκειμένων.
8. Πρόταση μέτρων αντιστήριξης – υποστήριξης, αποστραγγιστικών μέτρων και βοηθητικών μέτρων, για κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα ανάλογα τον τύπο συμπεριφοράς της βραχώμαζας.

1.4 Διάνοιξη-Κατασκευή Σ1 και Σ2

1.4.1.Σήραγγα Σύνινης (Σ1)

Η οδική σήραγγα Σ1 σχεδιάζεται ως μονού κλάδου και διπλής κατεύθυνσης έργο οδοποιίας . Πρόκειται για ευθύγραμμο άξονα με συνεχή ανοδική κλίση που διέρχεται από τους μολασσικούς σχηματισμούς της μάζας της Ροδόπης.

Η διάνοιξη της σήραγγας, καθώς και η κατασκευή και επένδυση του έργου απαιτεί διαφορετική αντιμετώπιση στα δύο διακριτά μέλη του, δηλαδή τα στόμια και το τμήμα της υπόγειας εκσκαφής, όπου η τεχνικογεωλογικές συνθήκες απαιτούν διαφορετική διαχείριση.

Η διεκπεραίωση του έργου αναμένεται σχετικά ομαλή, χωρίς ιδιαίτερες τεχνικογεωλογικές προκλήσεις κατά μήκος της χάραξης. Συνεπώς, η διάνοιξη αναμένεται να πραγματοποιηθεί σύμφωνα με την φιλοσοφία των συμβατικών μεθόδων σε όλο το μήκος της, καθώς και να εφαρμοστούν τα συμβατικά μέτρα υποστήριξης με τις κατάλληλες διαφοροποιήσεις στις δύο διακριτές τεχνικογεωλογικές ενότητες.

Στόμια εισόδου- εξόδου

Ως προς την λιθολογία, τα δύο στόμια της σήραγγας αναμένεται να κατασκευαστούν εξ ολοκλήρου εντός των μολασσικών σχηματισμών της Ροδοπικής μάζας. Στις συγκεκριμένες θέσεις, χαρακτηριστική είναι η επικράτηση των τοφικών σχηματισμών και ηφαιστιακών λατυποπαγών (mo.it και mo.ib, αντίστοιχα) με τοπικές εμφανίσεις της σειράς των τεφρών ιλυολίθων –ψαμμιτών (mo.sd) στο στόμιο εξόδου.

Ο βραχώδης χαρακτήρας των σχηματισμών που υπάγονται στο μολασσικό υπόβαθρο ευνοεί την διάνοιξη ,χωρίς να αναμένονται ιδιαίτερα προβλήματα.

Ωστόσο παρουσιάζεται και η χαρακτηριστικά έντονη ανομοιομορφία που χαρακτηρίζει γενικότερα την μολάσσα. Η ετερογένεια αυτή οφείλεται στις εναλλαγές των λεπτόκοκκων τόφων με τις πιο αδρομερείς λατυποπαγείς φάσεις και της επικράτησης της κύριας στρώσης.

Τα δύο στόμια συναντώνται κατά κύριο λόγο εντός των τόφων και των ηφαιστιακών λατυποπαγών, με εξαίρεση το ανώτερο μετωπικό πρυνές στην είσοδο της σήραγγας, όπου οριακά το έργο εφάπτεται στην σειρά ιλυολίθων –ψαμμιτών.

Σύμφωνα με τις προτάσεις της οριστικής γεωλογικής μελέτης του έργου (ΕΓΝΑΤΙΑ Α.Ε.) οι μέγιστες κλίσεις που μπορούν να εφαρμοστούν στα τεχνητά ορύγματα είναι της τάξης 4:1 (ύψος : πλάτος βάσης) . Η μορφολογία του φυσικού αναγλύφου απαιτεί τον περιορισμό της έκτασης που θα εκσκαφθεί, και συνεπώς προτείνονται να εφαρμοστούν παράλληλα, απάλυνση της στέψης και κατάλληλα μέτρα ενίσχυσης της ευστάθειας (αγκυρώσεις, εκτοξευμένο σκυρόδεμα, μεταλλικά πλέγματα).

Η φύση του ιλυολιθικού –ψαμμιτικού ορίζοντα, με μεγαλύτερη ευαισθησία στην αποσάθρωση, δημιουργεί την ανάγκη για διαμόρφωση ηπιότερης κλίσης πρανών στα σημεία ανάντη των στομιών. Έτσι, στα μετωπικά πρανή προτείνονται κλίσεις της τάξης του 1:1.

Ο βραχώδης χαρακτήρας του μολασσικού υποβάθρου υποδεικνύει την ανάγκη εκσκαφής με την χρήση εκρηκτικών, και πιο συγκεκριμένα με την μέθοδο της πρότμησης (presplitting). Προκειμένου να επιτευχθεί μακροχρόνια ευστάθεια, και συνεπώς η βιωσιμότητα του έργου στον χρόνο, απαιτείται η χρήση των εκρηκτικών μέσων να πραγματοποιείται εύλογα με ελεγχόμενες ανατινάξεις. Αναγκαίος είναι, επίσης, και ο προσεκτικός καθαρισμός των ασταθών σχηματισμών στα τεχνητά πρανή, ώστε να περιοριστεί ο κίνδυνος εκδήλωσης κατολισθητικών φαινομένων που τυχόν θα διεγείρει η εκσκαφή.

Ανάντη του μετωπικού πρανούς υπάρχει χωματόδρομος, ο οποίος μετά την διαμόρφωση του ορύγματος θα αποκτήσει χρηστικότητα βραχοπαγίδας, όντας ένας πλατύς αναβαθμός ο οποίος θα συγκρατεί τις τυχόν ασταθείς μάζες. Για την καλύτερη αξιοποίηση της χωμάτινης οδού θα πρέπει να πραγματοποιηθεί τοπικός καθαρισμός – απομάκρυνση των υλικών της εκσκαφής στα κατάντη του δρόμου.

Στο στόμιο εξόδου αναμένεται μια επιφανειακή και αρκετά περιορισμένη εκδήλωση αστάθειας με την μορφή βραχοκατάπτωσης. Τα πιθανά προβλήματα είναι περιορισμένα και αντιμετωπίζονται με καλό, τοπικό καθαρισμό των επίφοβων τεμαχίων στο αριστερό τμήμα του στομίου.

Ο υδροφόρος ορίζοντας δεν συναντάται στις περιοχές των στομιών κατά την διάνοιξη. Προσοχή απαιτείται, μόνον κατά την υγρή περίοδο, όπου με την αύξηση των κατακρημνισμάτων αναμένεται μια τοπική, ήπια κυκλοφορία του νερού λόγω της κατείσδυσης του εντός των σχηματισμών του υποβάθρου. Τα προβλήματα που πιθανόν να προκαλέσει η κυκλοφορία του νερού, είναι συνεπώς ελάχιστα και αφορούν κυρίως την ανάπτυξη πιέσεων των πόρων, καθώς ο στεγανός μολασσικός σχηματισμός εμποδίζει την ανακούφιση του νερού των πόρων. Για την αποτροπή της ανάπτυξης υποπιέσεων απαιτείται η τοπική αποστράγγιση με ανακουφιστικές οπές.

Υπόγεια διάνοιξη

Το κύριο σώμα της υπόγειας διάνοιξης εκτείνεται σε μήκος περίπου 81 m., ενώ το μέγιστο ύψος των υπερκειμένων φτάνει τοπικά τα 14 m. στο κέντρο περίπου της χάραξης, ενώ το ελάχιστο ύψος των υπερκειμένων εντοπίζεται καθώς πλησιάζουμε στην είσοδο και κυμαίνεται στα 2 έως 3 m.

Λιθολογικά αναμένεται να συναντηθούν αποκλειστικά τόφοι και ηφαιστιακά λατυποπαγή, ενώ ο ιλυολιθικός – ψαμμιτικός ορίζοντας βρίσκεται κατά κύριο λόγο πάνω από την υπόγεια διάνοιξη, συμμετέχοντας σε αυτήν μόνο με την μορφή σποραδικών, τοπικών φακοειδών ενστρώσεων οι οποίοι δεν επηρεάζουν την συνολική συμπεριφορά και ευστάθεια του έργου.

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών διατηρούν τον ίδιο χαρακτήρα με τους αντίστοιχους σχηματισμούς στα στόμια, δηλαδή την υψηλή αντοχή άρρηκτου βράχου και την έντονη ανομοιομορφία, παρουσιάζοντας όμως σημαντική βελτίωση ως προς τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχώμαζας στο σύνολο της.

Στο μήκος της υπόγειας χάραξης η διατομή προβλέπεται να είναι σε γενικές γραμμές σταθερή, ενώ ο κύριος μηχανισμός αστοχίας όπως προέκυψε από την μικροεκτονική ανάλυση είναι κατά βάση σφήνες αποκόλλησης τοπικού χαρακτήρα και μικρού μεγέθους. Η συγκράτηση των σημαντικών σφηνών θα πραγματοποιηθεί με τα συμβατικά μέτρα υποστήριξης (ηλώσεις, πλέγματα, εκτοξευμένο σκυρόδεμα), ενώ για τα μικρότερα τεμάχια προβλέπεται τοπικός καθαρισμός.

Ο υδροφόρος ορίζοντας συναντάται κοντά στο επίπεδο της ερυθράς, είναι μικρής γενικά δυναμικότητας, με εποχιακή διακύμανση της παροχής. Ασθενής, τοπική κυκλοφορία του νερού στον υπόγειο υδροφορέα, αναμένεται κατά τις περιόδους των βροχοπτώσεων λόγω κατείσδυσης. Το πρόβλημα των εισροών, συνεπώς, είναι και σε αυτήν την περίπτωση ιδιαίτερα περιορισμένο .

Τα καλά μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχώμαζας, όπως επιβεβαιώνει και η ταξινόμηση κατά GSI και οι επί τόπου παρατήρηση από τις ερευνητικές γεωτρήσεις, υποδεικνύουν ανάγκη για χρήση των συνηθισμένων μέτρων προσωρινής αντιστήριξης κατά την διάνοιξη .

Τα μέτρα αναμένονται ενισχυμένα μόνο για τα πρώτα μέτρα από την είσοδο και την έξοδο του έργου, λόγω της μεγαλύτερης ευαισθησίας εξαιτίας των χαμηλών υπερκειμένων . Ενδεικτικά προτείνεται η χρήση αγκυρίων προπορείας.

Περιορισμένη θα είναι και η εκπόνηση υπερεκσκαφών, καθώς το επιτρέπει ο συμπαγής χαρακτήρας της βραχώμαζας . Το βήμα προχώρησης προβλέπεται μέτριο.

1.4.2.Σήραγγα Μακρύκαμπου (Σ2)

Η σήραγγα Σ2 βρίσκεται στην περιοχή του Μακρυκάμπου και σχεδιάζεται ως οδικός άξονας μονού κλάδου και διπλής κατεύθυνσης, ομοίως με την σήραγγα της Σύννης (Σ1) . Ως προς τα γεωμετρικά της χαρακτηριστικά, διαμορφώνεται αρχικά ως καμπύλη στα πρώτα μέτρα της χάραξης που περιλαμβάνουν την είσοδο, και συνεχίζει ευθύγραμμα. Αντίστοιχα με την Σ1, παρουσιάζει και αυτή ήπια σταθερή ανοδική κλίσης σε όλο το μήκος της.

Οι σχηματισμοί που απαντώνται κατά την εκσκαφή είναι οι ίδιοι που εντοπίζονται και στην πρώτη σήραγγα, δηλαδή μολассικοί τόφοι και ηφαιστιακά λατυποπαγή, ενώ ιδιαίτερα σημαντική για τον σχεδιασμό του έργου είναι η εμφάνιση ασταθών υλικών κατολίσθησης (LSrc και LMrс) στην θέση του στομίου εξόδου.

Στόμιο εισόδου

Τα υλικά που συνιστούν την θέση του στομίου εισόδου είναι, και σε αυτήν την περίπτωση, οι σχηματισμοί της Ροδοπικής μολάσσας. Η είσοδος διαμορφώνεται εξ ολοκλήρου εντός των τόφφων και των ηφαιστιακών λατυποπαγών, που αποτελούν συμπαγείς και βραχώδεις σχηματισμοί καλής ποιότητας ως προς τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά.

Τα διαμορφωμένα προσωρινά πρανή σχεδιάζονται με μεγαλύτερα ύψη από αυτά της Σ1, φτάνοντας τα 20 m. και διαμορφώνονται σε δύο αναβαθμούς. Η προτεινόμενη κλίση για τα πρανή εκατέρωθεν του στομίου είναι της τάξης του 4:1 (ύψος : πλάτος βάσης) και θα πρέπει να συνοδεύεται από απάλυνση της στέψης και την απαραίτητη υποστήριξη.

Ανάντη του στομίου, η βραχώμαζα εμφανίζεται πιο αποσαθρωμένη , με αρνητική επίπτωση στην ευστάθεια. Συνεπώς, για το μετωπικό πρανές προτείνεται ηπιότερη κλίση έως 1:1 .

Η μέθοδος εκσκαφής με την βέλτιστη απόδοση στην περίπτωση των συγκεκριμένων γεωυλικών είναι οι ελεγχόμενες ανατινάξεις με την μέθοδο της πρότμησης . Οι ασταθείς όγκοι θα πρέπει , επίσης, να καθαριστούν επιμελώς.

Η μικροτεκτονική ανάλυση δεν έδωσε φαινόμενα αστάθειας στο μετωπικό πρανές . Επομένως, οι προβλεπόμενες βραχοκαταπτώσεις είναι περιορισμένες και αφορούν γενικά μικροτεμάχια τα οποία μπορούν να συγκρατηθούν με την εφαρμογή μεταλλικού πλαισίου.

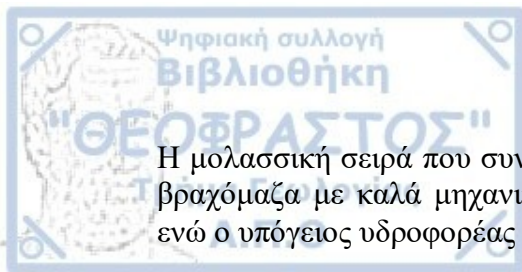
Ο υπόγειος υδροφορέας δεν έχει ιδιαίτερη επίδραση στο έργο στην περιοχή της εισόδου . Ωστόσο, μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα ανάπτυξης υποπιέσεων λόγω της αδυναμίας του νερού να αποστραγγιστεί, και ιδιαίτερα στην περίπτωση της επικάλυψης των εκσκαφών με εκτοξευμένο σκυρόδεμα. Οι πιέσεις των πόρων θα εκτονωθούν τοπικά με την διαμόρφωση αποστραγγιστικών οπών με κατάλληλη κλίση

Χαρακτηριστική δομή η οποία εντοπίζεται στην είσοδο, αποτελεί ένα συνιζηματογενές ρήγμα, με χαρακτήρα απλής διάκλασης και χωρίς την τυπική συμπεριφορά ρηξιγενούς δομής. Η επίδρασή του στην κατασκευή του έργου είναι ελάχιστη.

Υπόγεια διάνοιξη

Το μήκος του υπόγειου έργου ανέρχεται στα 75 m., και το μέγιστο ύψος των υπερκειμένων φτάνει τα 18 m. στα μέσα περίπου της σήραγγας . Προχωρώντας προς τα άκρα εισόδου και εξόδου τα υπερκείμενα μειώνονται στα 3 έως 5 m.

Το σώμα της σήραγγας διέρχεται από τους τόφφους και τα ηφαιστιακά λατυποπαγή, τα οποία παρουσιάζουν ήπια κλίση προς την έξοδο .



Η μολασσική σειρά που συναντάται κατά την διάνοιξη αποτελεί συμπαγή , βραχώδη βραχώμαζα με καλά μηχανικά χαρακτηριστικά και αξιόλογη ποιότητα βραχώμαζας, ενώ ο υπόγειος υδροφορέας δεν συναντάται κατά την διάνοιξη .

Η ποιότητα της βραχώμαζας αντιστοιχεί σε εύρος τιμών δείκτη GSI 65-75 και η διατομή της σήραγγας αναμένεται σταθερή. Ο κύριος μηχανισμός αστοχία που εκτιμάται είναι αυτός της σφήνας βαρύτητας – ολίσθησης, με αναμενόμενους όγκους μικρής κλίμακας.

Στο τμήμα της σήραγγας που γειτνιάζει με το στόμιο εξόδου εντοπίζεται δευτερογενές συνιζηματογενές ρήγμα, το οποίο, ωστόσο, δεν επηρεάζει ιδιαίτερα την ποιότητα του σχηματισμού, καθώς η ζώνη διάτμησης – μυλωνυνιτώσης και η κατοπτρική επιφάνεια είναι περιορισμένης έκτασης και δίχως κυκλοφορία νερού.

Τα μέτρα αντιστήριξης που προτείνονται, σε αντιστοιχία με την ποιότητα και τα μηχανικά χαρακτηριστικά, είναι τα συμβατικά μέτρα προσωρινής αντιστήριξης , δηλαδή πλαίσια, αγκύρια και επένδυση με εκτοξευμένο σκυρόδεμα. Στις περιοχές με χαμηλά υπερκείμενα, δηλαδή κοντά στα δύο στόμια, απαιτούνται κατά τόπους ελαφρώς αυξημένα μέτρα .

Στόμιο εξόδου

Όπως έχει προαναφερθεί, η κύρια τεχνικογεωλογική πρόκληση εντοπίζεται στο στόμιο εξόδου της σήραγγας Σ2, λόγω του σημαντικού κατά τόπους πάχους των υλικών παλαιών και πρόσφατων κατολισθήσεων (LMrc και LSrc αντίστοιχα) που υπέρκεινται του μολασσικού υποβάθρου. Χαρακτηριστικό των υλικών αυτών είναι η κοκκώδης υφή , η παρουσία βραχωδών όγκων και συνεπώς η έντονη ανομοιομορφία.

Ανάντη της χάραξης (250 μ.) παρουσιάζεται το μέτωπο εκδηλωμένης αστάθειας , το οποίο χαρακτηρίζει παλαιότερη κατολίσθηση στην έκταση της μολασσικής σειράς, με ορισμένες νεότερες επαναδραστηριοποιήσεις προς τα κατάντη. Οι συγκεκριμένες ολισθήσεις φαίνεται να είναι περιστροφικές και τοπικά επίπεδες (ελεγχόμενες ολισθήσεις κατά μήκος των προϋπαρχόντων ασυνεχειών). Τα υλικά αυτά έχουν την ικανότητα να απορροφούν έντονα νερό, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται εποχιακές πηγές σε περιόδους βροχοπτώσεων.

Η εκσκαφή προβλέπεται να πραγματοποιηθεί με την μεθοδολογία Cover and Cut, η οποία ενδείκνυται για τα συγκεκριμένα υλικά.

2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ- ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

2.1. Συμβατική μέθοδος διάνοιξης

Με τον όρο συμβατική διάνοιξη εννοείται ένα σύνολο τεχνικών διάνοιξης υπογείων έργων με εκτεθειμένο μέτωπο εκσκαφής (χωρίς την εφαρμογή μηχανικής πίεσης) και υποστήριξης των τοιχωμάτων των σιηράγγων με εκτοξευμένο σκυρόδεμα (οπλισμένο ή μη) και αγκυρώσεις.

Η διάνοιξη πραγματοποιείται είτε με μηχανική εκσκαφή (εκσκαφικά μηχανήματα) , είτε με εκτίναξη (presplitting, cushion blasting, smooth blasting κ.τ.λ.).

Κύρια αρχή της μεθόδου αποτελεί η θεώρηση του δακτυλίου της βραχώμαζας, δηλαδή, το τμήμα της βραχώμαζας που επηρεάζεται από την κατασκευή, ως στοιχείο φόρτισης και ταυτόχρονα ως φέρον στοιχείο, καθώς αποτελεί φορέας των μέτρων υποστήριξης. Ο βασικός σκοπός των συμβατικών μεθόδων είναι, ουσιαστικά, η ενεργοποίηση σε ορισμένο βαθμό της αντοχής της βραχώμαζας μέσω της ελεγχόμενης σύγκλισης των τοιχωμάτων της σήραγγας.

Η διαδικασία της εκσκαφής επηρεάζει σημαντικά την βραχώμαζα, προκαλώντας παραμορφώσεις, σημαντικό ποσοστό των οποίων εντοπίζεται στην περιοχή του μετώπου εκσκαφής . Πιο συγκεκριμένα, παραμορφώσεις με μορφή ακτινικών συγκλίσεων ξεκινάνε σε απόσταση 1- 1.5 διάμετρο (μετώπου) μπροστά από το μέτωπο και εκτείνονται σε απόσταση 1 -1.5 διάμετρο πίσω από το μέτωπο, όπου η ακτινική σύγκλιση λαμβάνει την τελική της τιμή. Στο μέτωπο, η παραμόρφωση βρίσκεται περίπου στο 30 % της τελικής της τιμής. Το γεγονός λοιπόν, ότι σημαντικό ποσοστό της σύγκλισης εκδηλώνεται μπροστά από το μέτωπο της εκσκαφής σε συνδυασμό με το ταχύ ρυθμό αύξησης της σύγκλισης των τοιχωμάτων της σήραγγας, οδηγεί στην ανάγκη εφαρμογής μέτρων άμεσης υποστήριξης όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο μέτωπο της εκσκαφής.

Γενικότερα, προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι πιθανές αστάθειες κατά την διάνοιξη, η εκσκαφή είναι δυνατόν να προσαρμοστεί ανάλογα, με αξιοποίηση ορισμένων τεχνικών όπως :

1. Η εκσκαφή της διατομής σε φάσεις ,όπου η κλασική διαδικασία αποτελείται από δύο φάσεις : την εκσκαφή της άνω ημιδιατομής (Top Heading) ,δηλαδή του άνω τμήματος της σήραγγας και στην συνέχεια την εκσκαφή βαθμίδας (Bench), δηλαδή του κάτω τμήματος. Την διατομή συμπληρώνει η κατασκευή προσωρινού δαπέδου για την διέλευση προσωπικού και μηχανημάτων. Η εκσκαφή μπορεί ,ωστόσο, να πραγματοποιηθεί και σε περισσότερες φάσεις ανάλογα τις ανάγκες του έργου.
2. Κατασκευή της άμεσης υποστήριξης σε μικρή απόσταση από το μέτωπο , με σκοπό των περιορισμό των συγκλίσεων των τοιχωμάτων στην ευρύτερη περιοχή γύρω από το μέτωπο, όπως προαναφέρθηκε.
3. Ολοκλήρωση του δακτυλίου εκτοξευμένου σκυροδέματος στο σύνολο της διατομής, με αποτέλεσμα την δημιουργία κλειστού δακτυλίου μικρής παραμορφωσιμότητας. Στην αποτελεσματικότητα της λειτουργίας του δακτυλίου συμβάλλει ιδιαίτερα η ταχεία σκυροδέτηση του δαπέδου, η οποία,

ωστόσο, δεν είναι απαραίτητη σε περιπτώσεις βραχώμαζας με πολύ καλά μηχανικά χαρακτηριστικά.

4. Ολομέτωπη εκσκαφή με άμεσο κλείσιμο της διατομής με μόνιμη υποστήριξη. Η άμεση υποστήριξη θα πρέπει να αναλάβει φορτία όσο το δυνατόν ταχύτερα, ώστε να περιοριστούν οι περαιτέρω συγκλίσεις και τελικά η αποδιοργάνωση της βραχώμαζας.

Ο σκοπός της εκσκαφής της διατομής σε περισσότερες από μία φάσεις είναι να μειώσει την επιφάνεια του μετώπου που εκσκάπτεται κάθε φορά και τελικά να ελαχιστοποιήσει την αποδιοργάνωση της βραχώμαζας και των συγκλίσεων των τοιχωμάτων της, να βελτιώσει της ευστάθεια του μετώπου και να περιορίσει την χρήση των βαρέων μέτρων προσωρινής υποστήριξης. Οι δύο συνηθέστεροι τρόποι που έχουν υιοθετηθεί και χρησιμοποιούνται κατά βάση, είναι :

1. Άνω ημιδιατομή – Βαθμίδα (Top heading –Bench): Εδώ η εκσκαφή πραγματοποιείται σε δύο φάσεις, από πάνω προς τα κάτω . Η πρώτη φάση είναι η εκσκαφή της άνω ημιδιατομής, κατά την οποία είναι δυνατόν να υπάρξει περαιτέρω διαχωρισμός σε υποφάσεις κατά μήκος του προφίλ της σήραγγας. Στην συνέχεια, εκσκάπτεται η κάτω ημιδιατομή και ακολουθεί η κατασκευή προσωρινού δαπέδου για την διέλευση του εξοπλισμού και του προσωπικού. Για να εξασφαλιστεί η ευστάθεια του μετώπου, συνήθως εκτοξεύεται σκυρόδεμα στην οροφή και στις επιφάνειες των μετώπων άνω και κάτω ημιδιατομής, καθώς και στην βάση της εκσκαφής.
2. Πλευρικές στοές (Side-wall drifts) : Η διατομή τμηματοποιείται πλευρικά, ξεκινώντας από την μία από τις δύο πλευρές. Σε δυσμενείς συνθήκες πέρα των δύο πλευρικών στοών περιλαμβάνεται και διάνοιξη εσωτερικού τμήματος. Στην περίπτωση αυτή ακολουθεί η διάνοιξη της δεύτερης πλευράς και στην συνέχεια η εκσκαφή του κεντρικού τμήματος, το οποίο συνήθως εκσκάπτεται σε δύο φάσεις σύμφωνα με την λογική της άνω και κάτω ημιδιατομής όπως περιγράφηκε παραπάνω .

Συνήθως η άμεση υποστήριξη του υπόγειου έργου προηγείται της τελικής επένδυσης, βασική λειτουργία της οποίας αποτελεί η ανάληψη των φορτίων του δακτυλίου της σήραγγας. Για να ξεκινήσει η κατασκευή της τελικής επένδυσης απαιτείται να επέλθει πρώτα κατάσταση ισορροπίας μεταξύ του έργου και των μέτρων άμεσης υποστήριξης. Τα φορτία τα οποία καλείται να αναλάβει η τελική επένδυση είναι τα εξής :

- 1) Το φορτίο που δέχονται οι αγκυρώσεις , στην περίπτωση που αυτές είναι προσωρινές ή/ και σε περιπτώσεις ερπυστικής συμπεριφοράς εκ μέρους της βραχώμαζας
- 2) Τμήμα του φορτίου που δέχεται το εκτοξευμένο σκυρόδεμα ,έτσι ώστε το παραμένον φορτίο να καλύπτει τις προδιαγραφές ασφαλείας μόνιμου έργου.
- 3) Συσσωρευμένα, με την διέλευση πολλών ετών, φορτία που προκύπτουν ως αποτέλεσμα ερπυστικών κινήσεων.
- 4) Φορτία που είναι πιθανόν να προκύψουν από μετακινήσεις της σήραγγας λόγω σεισμικών εκδηλώσεων
- 5) Εξωτερικά φορτία, λόγω υπερκείμενων μελλοντικών οικοδομικών κατασκευών.
- 6) Πιέσεις πόρων εξαιτίας μη αποτελεσματικών αποστραγγιστικών μέτρων ή απόφραξης του συστήματος αποστράγγισης.

Για την διεξαγωγή μιας συμβατικής διάνοιξης σήραγγας απαραίτητος και ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο ρόλος της γεωτεχνικής παρακολούθησης της συμπεριφοράς του υπόγειου έργου, καθώς η εκσκαφή και η κατασκευή επιδρούν συνεχώς στην ευστάθεια της βραχώμαζας, μεταβάλλοντας τις επί τόπου συνθήκες και παρέχοντας συνεχώς νέες πληροφορίες για την εξέλιξη της κατασκευής.

Η γεωτεχνική παρακολούθηση περιλαμβάνει συνεχή χαρτογράφηση του μετώπου καθώς και συνεχείς μετρήσεις διάφορων παραμέτρων που επιδρούν στην ευστάθεια, με την χρήση συστημάτων μετρήσεων. Τα μεγέθη των οποίων η μεταβολή απαιτείται να βρίσκεται υπό παρακολούθηση, είναι οι μετακινήσεις των τοιχωμάτων και της βραχώμαζας, οι πιέσεις (εδαφικές και πιέσεις πόρων), οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις στα μέτρα υποστήριξης και οι υδατικές παροχές.

Οι μετακινήσεις των τοιχωμάτων της σήραγγας μετρώνται με τους εξής τρεις τρόπους : α) με τρισδιάστατη τοπογραφική αποτύπωση (3D Convergency) β) με χωροσταθμική υψομετρική αποτύπωση (leveling) γ) με μεταλλική μετροταινία.

Όσον αφορά τις μετακινήσεις εντός της βραχώμαζας, αυτές παρακολουθούνται με την χρήση εκτασιομέτρων (ράβδου, μαγνητικά, ολισθαίνοντα) και αποκλισιομέτρων.

Τέλος, για τις μετακινήσεις του εδάφους αξιοποιούνται το leveling, οριζόντιας διάταξης αποκλισιόμετρα (electro-levels) και όργανα μέτρησης του ανοίγματος ρωγμών.

Η ανάπτυξη πιέσεων απαιτεί, επίσης, ιδιαίτερη προσοχή. Πιέσεις είναι δυνατόν να αναπτυχθούν στο έδαφος, στην επένδυση της σήραγγας και γύρω από αυτήν λόγω παρουσίας υπόγειου νερού το οποίο δεν δύναται να εκτονωθεί. Οι πρώτες μετρώνται με κύτταρα πιέσεων, ενώ για την μέτρηση των πιέσεων των πόρων χρησιμοποιούνται πιεζόμετρα (υδραυλικά, ηλεκτρικά ή πνευματικά), τα οποία τοποθετούνται στο εσωτερικό γεωτρήσεων.

Οι δυνάμεις οι οποίες αναπτύσσονται στα μέτρα υποστήριξης από τα φορτία που αυτά λαμβάνουν είναι επίσης σημαντικές, καθώς προκαλούν παραμορφώσεις που μπορούν να μειώσουν την αποδοτικότητα των μέτρων. Πρόκειται για φορτία τα οποία αναπτύσσονται λόγω εφελκυσμού ή θλίψης των αγκυρών, των μεταλλικών πλαισίων κ.τ.λ. Η παρακολούθηση της μεταβολής των φορτίων αυτών πραγματοποιείται με μηχανοσιόμετρα και μετρητών φορτίου.

Σημαντική είναι και η παρακολούθηση των παροχών των υπόγειων υδροφορέων, η οποία πραγματοποιείται με την χρήση παροχομέτρων ή συστημάτων ελεγχόμενης υπερχειλίσης.

Ο όρος “Συμβατική Μέθοδος Διάνοιξης” είναι εξαιρετικά γενικευμένος και περιλαμβάνει το σύνολο όλων των τεχνικών διάνοιξης που δεν υπάγονται στην μηχανοποιημένη μέθοδο, δηλαδή στην εκσκαφή με την χρήση TBM. Μερικές από τις σημαντικότερες σύγχρονες συμβατικές τεχνικές είναι : α) η “Νέα Αυστριακή Μέθοδος” ή “N.A.T.M” β) η μέθοδος “Drill and Blast” γ) η μέθοδος “Cut and Cover” και δ) η μέθοδος “Cover and Cut”.

Οι συμβατικές μέθοδοι καταλαμβάνουν σημαντικό ρόλο στην μηχανική των υπόγειων έργων, και χρησιμοποιούνται παγκοσμίως, καθώς προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα κατά την εκπόνηση τεχνικών έργων όπως είναι οι σήραγγες. Οι παράγοντες που συμβάλλουν στην επιλογή εφαρμογής συμβατικών μεθόδων έναντι της μηχανοποιημένης εκσκαφής (χρήση TBM) είναι οι εξής:

- i. Η ικανότητα να διάνοιξης σιηράγγων μη κυκλικής διατομής, καθώς και η ικανότητα να αντεπεξέρχονται στις μεταβολές της γεωμετρίας της εκάστοτε διατομής.
- ii. Η προσαρμοστική ικανότητα ως προς την μεταβολή των γεωτεχνικών συνθηκών, δηλαδή στην μεταβολή των μηχανικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών που συναντώνται κατά την διάνοιξη.
- iii. Ο οικονομικός εξοπλισμός και το χαμηλό κόστος συντήρησης του .
- iv. Η δυνατότητα εφαρμογής στεγνωτικών μέτρων χαμηλού κόστους (π.χ στεγνωτική μεμβράνη).

2.2.Μέθοδοι C&C

Μέθοδος Cut and Cover

Η μέθοδος υπάγεται στην ευρύτερη κατηγορία των συμβατικών μεθόδων διάνοιξης , και συνεπώς η υλοποίηση της πραγματοποιείται με την χρήση μηχανικών μέσων ή και εκρηκτικών . Εφαρμόζεται, όπως και η μέθοδος Cover and Cut, για κατασκευή σιηράγγων μικρού βάθους, όταν η εκσκαφή από την επιφάνεια το επιτρέπει τόσο από τεχνική , όσο και από οικονομική άποψη.

Η εφαρμογή της των συγκεκριμένων τεχνικών διάνοιξης ενδείκνυται σε συνθήκες όπου επικρατούν βραχώμαζες πτωχών χαρακτηριστικών και/ ή χαμηλά υπερκείμενα. Ομοίως, και σε καθεστώς πιθανών ασταθειών-κατολισθήσεων του εδάφους, είτε αυτές είναι πρόσφατες είτε είναι παλαιότερες, ο σχεδιασμός της διάνοιξης του υπόγειου έργου αναμένεται να περιλαμβάνει μία από τις δύο μεθόδους.

Κατά την κατασκευή μιας σήραγγας με τις τεχνικές Cover and Cut και Cut and Cover, απαιτείται ανοικτή εκσκαφή, μέσα στην οποία θα υλοποιηθεί η κατασκευή του τεχνικού έργου, και θα ακολουθήσει επανεπίχωση, δηλαδή επικάλυψη του σκάμματος και της κατασκευής, συνήθως, με το ίδιο το υλικό της εκσκαφής. Το σκάμμα εκσκάπτεται είτε με ανοικτή διάνοιξη (open cut), είτε με κατακόρυφα μέτωπα χρησιμοποιώντας ένα εκσκαπτικό σύστημα υποστήριξης.

Το υλικό το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την επικάλυψη είναι κατά κύριο λόγο το υλικό το οποίο εκσκάπτεται . Ωστόσο, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί κατά θέσεις αδρόκοκκο υλικό με προέλευση από εξωτερικούς δανειοθαλάμους. Η επανεπίχωση, σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να υλοποιείται λαμβάνοντας υπόψιν περιβαλλοντικούς, αισθητικούς και κυρίως τεχνικούς- μηχανικούς παράγοντες που συσχετίζονται με την ευστάθεια της σήραγγας.

Στην συγκεκριμένη μέθοδο η κατασκευή προηγείται της επανεπίχωσης και πραγματοποιείται σταδιακά από κάτω προς τα πάνω, όπως υποδεικνύει και η εναλλακτική ονομασία της μεθόδου 'bottom-up'.

Για την κατασκευή μιας cut and cover σήραγγας ακολουθούνται τα εξής βήματα :

1. α) Εγκατάσταση προσωρινών τοίχων υποστήριξης.
β) Αποστράγγιση εντός του σκάμματος αν απαιτείται .
γ) Εγκατάσταση πρόσθετων στοιχείων υποστήριξης των τοιχωμάτων
2. Κατασκευή του δαπέδου της σήραγγας.
3. Κατασκευή των τοίχων και της οροφής, με αδιαβροχοποίηση όπου απαιτείται..
4. Επανεπικάλυψη με υλικό της εκσκαφής εφόσον είναι κατάλληλο, και αποκατάσταση του φυσικού εδάφους.

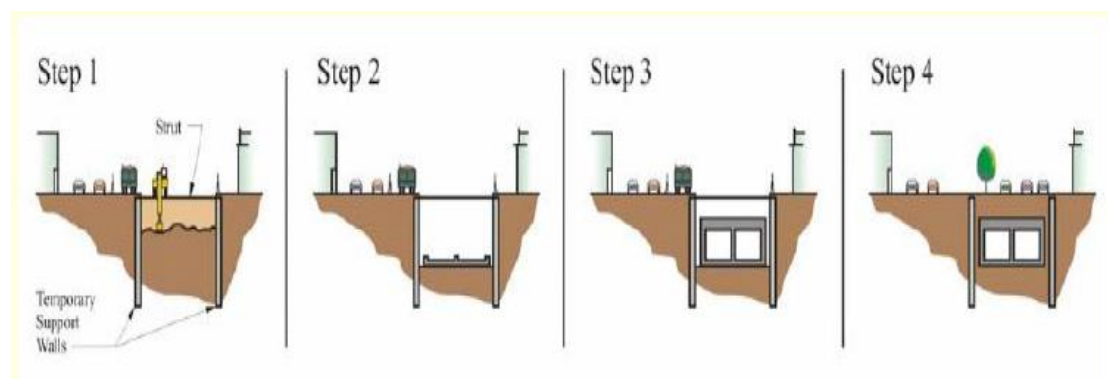
Ιδιαίτερα συχνά, η μέθοδος εφαρμόζεται στα στόμια σιδηρόδρομων , όπου τα συμβατικά μέτρα προσωρινής υποστήριξης είναι ανεπαρκή. Με την εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνικής διασφαλίζεται η ευστάθεια κατά την διάρκεια της διάνοιξης και κατασκευής, αλλά και η ασφαλής διέλευση του προσωπικού στο υπόγειο έργο .

Γενικότερα , η εφαρμογή ενός Cut and Cover προσδίδει πολλά οφέλη σε περιπτώσεις όπου η εκκίνηση εκσκαφής σε χαμηλής ποιότητας υλικά ,με χαμηλά υπερκείμενα, αναμένεται να δώσει το έναυσμα για εκδήλωση ασταθειών πάνω από τις διανοίξεις.

Εξίσου απαραίτητη θεωρείται η εφαρμογή της και σε περιπτώσεις όπου αναμένονται πτώσεις ή ολισθήσεις σφηνών, αλλά και σε περιπτώσεις πλευρικών ολισθήσεων λόγω δυσμενούς προσανατολισμού των ασυνεχειών , στις περιοχές εισόδου-εξόδου.

Όντας ιδιαίτερα απλή, η μέθοδος αυτή, γίνεται εύκολα κατανοητή από τους κατασκευαστές, διευκολύνοντας την διαδικασία της διάνοιξης. Παρουσιάζει, ωστόσο, και άλλα πλεονεκτήματα όπως είναι η δυνατότητα αδιαβροχοποίησης στην εξωτερική επιφάνεια της κατασκευής, η εύκολη προσβασιμότητα και η δυνατότητα εφαρμογής αποστραγγιστικών μέτρων έξω από την κατασκευή.

Αντιθέτως, υπάρχουν ορισμένοι παράγοντες που επιδρούν περιοριστικά για την μέθοδο. Σε αυτούς συγκαταλέγονται η μεγαλύτερη απαίτηση έκτασης από την αντίστοιχη Cover and Cut μέθοδο, η αδυναμία αποκατάστασης του εδάφους πριν την ολοκλήρωση της κατασκευής, η ανάγκη για προσωρινή υποστήριξη η οποία συνεπάγεται πρόσθετο κόστος για την κατασκευή.



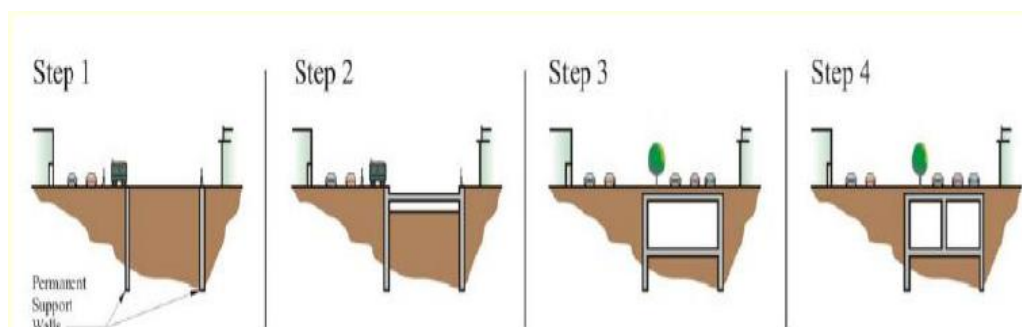
Εικόνα .Στάδια διάνοιξης σήραγγας με την μέθοδο Cut and Cover (από Satici ,2000)
Μέθοδος Cover and Cut

Η μέθοδος αυτή αποτελεί παραλλαγή της προαναφερθείσας μεθόδου Cut and Cover, με κύρια διαφορά το γεγονός ότι η επανεπίχωση προηγείται της εκσκαφής. Η κατασκευή της σήραγγας ξεκινάει από το ανώτερο τμήμα και καταλήγει στην βάση (η μέθοδος είναι γνωστή και ως 'top-down'). Τα βήματα που ακολουθούνται κατά την κατασκευή μιας σήραγγας με αυτήν την μεθοδολογία είναι τα εξής:

- 1.α) Εγκατάσταση τοίχων υποστήριξης.
β) Αδιαβροχοποίηση εντός του σκάμματος αν απαιτείται .
- 2.α) Εκσκαφή έως το κάτω επίπεδο της οροφής.
β) Κατασκευή και αδιαβροχοποίηση της οροφής, καθώς και σύνδεση με τους τοίχους υποστήριξης.
- 3.α) Επικάλυψη με υλικά εκσκαφής (backfilling material) και αποκατάσταση του φυσικού εδάφους.
β) Εκσκαφή του εσωτερικού της σήραγγας.
γ) Κατασκευή του δαπέδου της σήραγγας και σύνδεση με τα τοιχώματα.

Συγκριτικά με την μέθοδο της εκσκαφής και επανεπίχωσης, η μέθοδος αυτή προσφέρει ορισμένα πλεονεκτήματα. Συγκεκριμένα αυτά αφορούν α) την δυνατότητα άμεσης αποκατάστασης του εδάφους πάνω από την κατασκευή β) τον μόνιμο χαρακτήρα των τοίχων υποστήριξης και συνεπώς την μείωση του κόστους κατασκευής γ) την απαίτηση μικρότερης έκτασης γης για την υλοποίηση του έργου δ) την μείωση της διάρκειας κατασκευής.

Παρουσιάζονται, ωστόσο, και ορισμένα μειονεκτήματα, όπως έλλειψη δυνατότητας εφαρμογής μέτρων αδιαβροχοποίησης εξωτερικά της κατασκευής, ο κίνδυνος εισροών νερού από τις αρθρώσεις μεταξύ οροφής και τοιχωμάτων και η περιορισμένη προσβασιμότητα.



Εικόνα .Στάδια διάνοιξης σήραγγας με την μέθοδο Cover and Cut (από Satıcı ,2000)

Εφαρμογή

Οι δύο 'C&C' μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την κατασκευή σήραγγων σε αστικά και μη περιβάλλοντα, σε υλικά χαμηλής ποιότητα και καθεστώτα χαμηλών υπερκειμένων

Για την επιλογή του κατάλληλου τύπου εκσκαφής, συμπεριλαμβανομένων των δύο μεθόδων, αλλά και της παραδοσιακής ανοικτής εκσκαφής και της τεχνικής "drill and blast", λαμβάνονται υπόψη οι εξής παράγοντες: α) το μήκος της σήραγγας ή της διάνοιξης β) το βάθος της εκσκαφής γ) την ευαισθησία του περιβάλλοντος δ) την γεωλογία- λιθολογία.

Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος "Cut and Cover" εφαρμόζεται για την κατασκευή υπόγειων έργων σε αυτοκινητοδρόμους και σιδηροδρομικούς άξονες όταν:

- α) το βάθος εκσκαφής είναι περιορισμένο (<50 m), σε ευαίσθητα περιβάλλοντα
- β) τα τοπικά δίκτυα και εγκαταστάσεις μπορούν να μετακινηθούν προσωρινά και το βάθος είναι επίσης περιορισμένο
- γ) οι γεωτεχνικές συνθήκες είναι δυσμενείς (ρηξιγενείς ζώνες και ρήγματα, χαλαρά υλικά)

Ομοίως, η μέθοδος "Cover and Cut" ενδείκνυται σε περιπτώσεις:

- α) χαμηλών υπερκειμένων σε υψηλής ευαισθησίας περιβάλλοντα
- β) χαμηλών υπερκειμένων σε συνδυασμό με ύπαρξη δικτύων και εγκαταστάσεων που δεν είναι δυνατόν να μετακινηθούν
- γ) σημαντικού κινδύνου εκδήλωσης αστοχίας κατά την διάνοιξη, όπου απορρίπτεται και η μέθοδος "Cover and Cut".

Conditions	Open Cutting	Cut & Cover	Cover & Cut	Drill & Blast Tunnel
Cutting or Tunnel length	Unlimited	Limited, L<300m	Short, L<150m	Significant, L>150m
Depth of Grade Line	Limited, H<30m	Intermediate H<50m	Small, H<15m	Great H>30m
Environment	Indifferent Context	Fairly Sensitive Areas	Sensitive Areas	Highly Sensitive Areas
Geology	Soils, Gravels, Soft Rock	Soils, Gravels, Soft Rock	Loose Sands, Unstable Soils	Soft and Hard Rock

Εικόνα Τομείς εφαρμογής των μεθόδων "C&C" σε πρωταρχικό δίκτυο. (από Mouratidis, 2008)

2.3. Ταξινόμηση βραχόμαζας GSI

Η μελέτη συμπεριφοράς μιας βραχόμαζας, προκειμένου να καθοριστούν οι πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας της, απαιτεί την κατάταξη της μέσω ενός συστήματος ταξινόμησης, το οποίο θα έχει ποιοτική και ποσοτική έκφραση.

Τα πιο διαδεδομένα συστήματα ταξινόμησης που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι τα συστήματα RMR [Bieniawski 1973], Q [Barton et al. 1974] και GSI [Hoek et al. 1998; Marinou and Hoek 2000, 2001]. Τα παλαιότερα συστήματα καθιερώθηκαν παγκοσμίως, ωστόσο όταν δοκιμάστηκαν για την ταξινόμηση βραχομαζών χαμηλών μηχανικών χαρακτηριστικών, αποδείχθηκε ότι οι τιμές τους δεν ήταν αντιπροσωπευτικές. Συνεπώς, γεννήθηκε η ανάγκη για την δημιουργία ενός νέου συστήματος ταξινόμησης που θα μπορούσε να αντεπεξέλθει σε καθεστώς πολύ πτωχών χαρακτηριστικών βραχόμαζας.

Το σύστημα GSI διαμορφώθηκε αρχικά στο Τορόντο του Καναδά [Hoek et al. 1992] , ωστόσο, έως το 1998 είχε χαρακτήρα ανάλογο των ταξινομήσεων σκληρών πετρωμάτων. Η διαμόρφωση του συστήματος στην σημερινή του μορφή επήλθε αργότερα [Hoek et al. 1998; Marinou and Hoek 2000, 2001], αποκτώντας πλέον χρηστικότητα ως σύστημα ταξινόμησης πτωχών βραχομαζών.

Η κύρια χρήση του δείκτη GSI ανάγεται στην εισαγωγή του ως παράμετρος στο κριτήριο αστοχίας Hoek Brown για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών διατμητικής αντοχής της βραχόμαζας (συνοχή και γωνία τριβής). Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι δεν αντικαθιστά τα υπόλοιπα συστήματα, καθώς αποσκοπεί αποκλειστικά στην εκτίμηση των ιδιοτήτων της βραχόμαζας .

Το κριτήριο Hoek Brown είναι ένα εμπειρικό κριτήριο το οποίο χρησιμοποιεί τις μέγιστες και ελάχιστες κύριες τάσεις για τον καθορισμό της διατμητικής αντοχής του άρρηκτου βράχου. Προβλέπει τις περιβάλλουσες θραύσης που συμφωνούν με τις τιμές που προκύπτουν από τις τριαξονικές δοκιμές στον άρρηκτο βράχο, και από την παρατήρηση της δομής και της κατάστασης των ασυνεχειών στην ύπαιθρο.

Το γενικευμένο κριτήριο των Hoek και Brown εκφράζεται από την μη γραμμική σχέση:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

σ_1 και σ_3 : οι κύριες μέγιστες και ελάχιστες τάσεις
 σ_{ci} : η διατμητική αντοχή του άρρηκτου βράχου
 m_b : μειωμένη τιμή της σταθεράς m_i του γεωυλικού
 s και a : σταθερές

Ο δείκτης GSI χρησιμοποιείται ως παράγοντας για την εύρεση των τιμών των σταθερών m_b , s και a , οι οποίες συνήθως είναι ιδιαίτερα δύσκολο να υπολογιστούν

Σήμερα το σύστημα ταξινόμησης GSI έχει εξελιχθεί περαιτέρω , με την προσαρμογή του σε ακόμη πιο εξειδικευμένα καθεστώτα βραχώδους . Πιο συγκεκριμένα , έχει αναπτυχθεί το διάγραμμα GSI για περιορισμένα μολυσσικά πετρώματα και σχάσιμη μολάσσα [Hoek et al.2004] και αργότερα για ετερογενείς βραχώδεις όπως ο φλύσσης [Marinos, 2007].

Εικόνα .Γενικό διάγραμμα GSI (E.Hoek , P.Marininos , V.Marininos , 2004)

Η ιδιαιτερότητα των μολασσικών σχηματισμών είναι η σημαντική διαφοροποίηση που εμφανίζουν με το βάθος. Σημαντικές είναι οι διαφορές που παρουσιάζονται μεταξύ των μολασσικών πετρωμάτων της επιφάνειας και αυτών που βρίσκονται σε βάθος και αφορούν ιδιότητες όπως η αποσάθρωση, η δομή της βραχώμαζας και η διαπερατότητα.

Ανάλογα την σύσταση του, δηλαδή την σχετική περιεκτικότητα σε κροκάλες, άμμο, ιλύ και άργιλο, ένας μολασσικός σχηματισμός εμφανίζει καλύτερα ή πτωχότερα μηχανικά χαρακτηριστικά. Στις περιπτώσεις όπου στην λιθολογική σύσταση κυριαρχούν αδρόκοκκα ιζήματα (καλά συμπαγοποιημένα κροκαλοπαγή και ψαμμίτες) η αντοχή του πετρώματος βελτιώνεται σημαντικά, σε αντίθεση με τα πιο λεπτόκοκκα (ιλύες και άργιλοι). Ωστόσο, μάλασσες πλούσιες σε άργιλο ή ιλύ που περιορίζονται λόγω της πίεσης των υπερκειμένων κοντά στην επιφάνεια, τείνουν να εμφανίζονται ιδιαίτερα συμπαγοποιημένες σχηματίζοντας ένα συνεχές μέσο. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα ιλυολιθικά στρώματα είναι δυνατόν να παρουσιάζουν αντοχή που προσεγγίζει αυτήν ενός ψαμμίτη σε χαμηλά υπερκείμενα.

Αντίστοιχα, είναι δυνατόν το πέτρωμα να εμφανίσει τόσο πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά ώστε να μπορεί να θεωρηθεί ως έδαφος. Πρόκειται κυρίως για περιπτώσεις πολύ χαλαρών άμμων ή / και μεγάλης περιεκτικότητας σε λεπτόκοκκα.

Η τεκτονική καταπόνηση στα πετρώματα αυτού του τύπου είναι γενικά περιορισμένη, καθώς η μολάσσα αποτελεί μεταλπικό ιζήμα, πράγμα που σημαίνει ότι δεν έχει δεχτεί τις έντονες παραμορφώσεις που προκάλεσε η αλπική ορογένεση. Οι τεκτονικές προέλευσης ασυνέχειες, συνεπώς, είναι περιορισμένες και κυρίαρχο ρόλο παίζει η στρώση, η οποία όμως περιορίζεται λόγω σχάσης στο βάθος.

Σημαντικός είναι και ο ρόλος της αποσάθρωσης στην μεταβολή της αντοχής της βραχώμαζας. Οι μάργες και οι ιλυόλιθοι είναι γενικά πιο ευάλωτοι στην αποσάθρωση, με τις επιφάνειες της στρώσης να αποτελούν περιοχές με την μεγαλύτερη ευαισθησία. Η εικόνα αυτή του αποσθαρμένου πετρώματος στην επιφάνεια συνήθως δεν αντικατοπτρίζει την συμπεριφορά του σε βάθος, όπου επίδραση των επιφανειακών παραγόντων που προκαλούν την αποσάθρωση, κυρίως του νερού και του αέρα, είναι περιορισμένη.

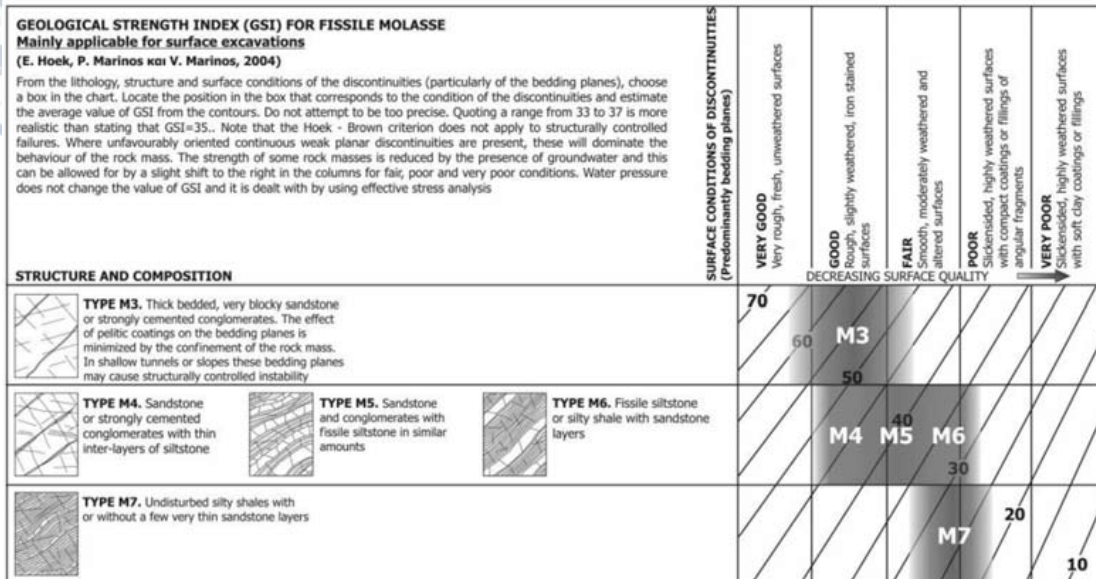
Το βάθος επιδρά σημαντικά και στην διαπερατότητα του σχηματισμού, η οποία τείνει να μειώνεται σημαντικά καθώς προχωράμε βαθύτερα. Φυσικά, όσο περισσότερο επικρατούν ψαμμιτικοί σχηματισμοί, τόσο αυξάνει η διαπερατότητα σε σχέση με την επικράτηση αργίλων και ιλύων. Στην περίπτωση που οι σχηματισμοί εναλλάσσονται η διαπερατότητα προσεγγίζει την τιμή των πιο λεπτομερών κλασμάτων που λειτουργούν περιοριστικά στην κυκλοφορία του νερού και αυξάνουν την συνολική στεγανότητα του σχηματισμού.

Συνεπώς, η μολάσσα αποτελεί σχηματισμό με έντονα διαφορετική συμπεριφορά σε επιφάνεια και βάθος, με αποτέλεσμα η αξιολόγηση της συμπεριφοράς της να απαιτεί διαφορετική διαχείριση. Επομένως, για την ταξινόμηση των μολασσικών

σχηματισμών χρησιμοποιούνται δύο τροποποιημένες εκδόσεις του συστήματος GSI, ένα για επιφανειακές συνθήκες και ένα για μολασσικά πετρώματα σε βάθος.

GSI No 1 FOR CONFINED MOLASSE (Mainly applicable for tunnels) (Hoek, E., Marinos, P. and Marinos V., 2004)		SURFACE CONDITIONS			
From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.		VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Slip-sloped, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →			
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80	N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	70	60		
	VERY BLOCKY - interlocked partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	50	40		
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	30	20		
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				10
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A		

Εικόνα . Διάγραμμα GSI για μολασσικές βραχώμαζες στο βάθος (E.Hoek , P.Marinos , V.Marinos , 2004)



Εικόνα . Διάγραμμα GSI για μολαστικές βραχώμαζες στην επιφάνεια (E.Hoek , P.Marinos , V.Marinos , 2004)

Ανάλογα την θέση τους στα παραπάνω διαγράμματα οι μολαστικές βραχώμαζες διακρίνονται σε 6 κατηγορίες (I - VI), κυρίως βάσει του λόγου ψαμμιτικών προς ιλυολιθικών μελών (Marinos 2013). Οι κατηγορίες αυτές είναι οι εξής:

Πίνακας . Τύποι μολαστικών πετρωμάτων / from V.Marinos 2013

type I Πυκνοί έως μέτρια πυκνοί ψαμμίτες με σποραδικές λεπτές μπάντες ιλυολίθου	- Πυκνά στρώματα ψαμμίτη (>5m) με αραιές λεπτές παρεμβολές ιλυολίθου(μερικά cm). - Οι ψαμμίτες έχουν γενικά υψηλή αντοχή, η οποία μπορεί να μειωθεί όταν είναι ιλυώδεις ή μαργαϊκοί. - Συμπαγείς σε βάθος, αλλά κοντά στην επιφάνεια οι ιλυώδεις ή μαργαϊκοί ψαμμίτες μπορεί να εμφανίσουν αποχωρισμό κατά μήκος της στρώσης.
Type II Ψαμμίτης με ιλυολιθικές ενστρώσεις	- Ψαμμιτικά στρώματα με πάχος από 50 cm έως μερικά μέτρα. Διαχωρίζονται από παρεμβολές ιλυολίθου , πάχους έως 30cm . - Σε βάθος, ενώ ετερογενή, εμφανίζονται ομοιόμορφα και συμπαγή . Κοντά στην επιφάνεια μπορεί να εμφανίσουν μερικό αποχωρισμό και χαλάρωση με εύθρυπτα μέλη.
Type III Βραχώμαζα με ίδιες περιεκτικότητες	Συστηματικές εναλλαγές ιλυολίθων και ψαμμιτών, με

ψαμμίτη- ιλυολίθου	πάγκους πάχους μερικών δεκάδων εκατοστών έως μερικών μέτρων, σε παρόμοιες αναλογίες. • Σε βάθος (> 6-10 m), η βραχώμαζα είναι μαζώδης και συνεχής. Κοντά στην επιφάνεια είναι σχιστοποιημένη. • Λιθολογική ετερογένεια και άλλες ασυνέχειες, μόνο στην επιφάνεια, λόγω σχάσης.
type IV Ιλυόλιθος με ενστρώσεις ψαμμίτη	• Χαμηλού βαθμού αποσάθρωση σε βάθος, αλλά υψηλού κοντά στην επιφάνεια. • Ιλυολιθικά στρώματα σχηματίζονται από λεπτές έως μέτρια λεπτές στρώσεις. Η στρώση των ψαμμιτών είναι συνήθως λεπτή (10-20 cm). • Η στρώση είναι η κύρια ασυνέχεια, με μεγάλη εμμονή (>10 m) αλλά είναι ισχυρά σφραγισμένη.
type V Ιλυόλιθος με σπάνιες ενστρώσεις ψαμμιτη	• Κύριο επίπεδο αδυναμίας είναι η στρώση . • Μεγάλη διακύμανση αντοχών. Από φρέσκοι έως εντελώς αποσαθρωμένοι. • Σε συνθήκες μη αποσάθρωσης (6-10 m), ο σχηματισμός είναι μαζώδης. • Στην επιφάνεια , η στρώση και οι ασυνέχειες διαχωρίζουν τον ιλυόλιθο, με αποτέλεσμα την πλήρη κατάρρευση του υλικού. Πιθανόν να περιέχονται διογκώσιμα αργιλικά ορυκτά.
Type VI Κροκαλοπαγές	• Βρίσκονται ως παρεμβολές και λιγότερο ως πυκνός, ανεξάρτητος ορίζοντας. • Η συγκόλληση μπορεί να είναι αδύναμη έως μέτρια, όταν αποτελείται από ιλυώδη-αργιλικά υλικά, και ισχυρή όταν το υλικό πλήρωσης είναι ασβεστιτικό.

2.4.Εκτίμηση συμπεριφοράς βραχώμαζας – Διάγραμμα TBC

Η γέννηση συστημάτων ταξινόμησης όπως το GSI έχει ως αυτοσκοπό την εκτίμηση των ιδιοτήτων της βραχώμαζας και την κατανόηση της συμπεριφοράς τους σε ορισμένο βαθμό. Ωστόσο, ένα τέτοιο σύστημα από μόνο του δεν είναι επαρκές για την πλήρη κατανόηση της συμπεριφοράς της βραχώμαζας και τελικά για τον καθορισμό των κατάλληλων μέτρων υποστήριξης, καθώς δύο βραχώμαζες με κοινές ιδιότητες που ανήκουν ακόμη και στον ίδιο σχηματισμό και μοιράζονται έναν κοινό χαρακτηρισμό βάσει ορισμένου συστήματος ταξινόμησης, μπορεί να εκδηλώνουν εντελώς διαφορετικούς τύπους αστοχιών. Συνεπώς, χρήση των ταξινομήσεων θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να συνοδεύεται από την μελέτη της συμπεριφοράς της βραχώμαζας με σκοπό την πρόβλεψη των πιθανών μηχανισμών αστοχίας.

Μια βραχώμαζα είναι δυνατόν ,υπό διαφορετικές συνθήκες,να συμπεριφερθεί με διαφορετικό τρόπο. Ο χαρακτήρας της εκδήλωσης πιθανής αστοχίας εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τρεις παραμέτρους : την δομή της βραχώμαζας , το μέγεθος των υπερκείμενων και την αντοχή του άρρηκτου βράχου. Η κατάσταση των ασυνεχειών, η οποία λαμβάνεται ιδιαίτερα υπόψιν στον γεωλογικό δείκτη αντοχής GSI, δεν επηρεάζει τόσο την φύση του μηχανισμού αστοχίας, όσο την ένταση της εκδήλωσης της.

Επομένως, ανάλογα το μέγεθος των υπερκείμενων, την αντοχή του άρρηκτου βράχου και κυρίως της δομής της βραχώμαζας, οι τύποι συμπεριφοράς διακρίνονται α) σε ευσταθή συμπεριφορά, β) σε δομικές (βαρυτικές) αστοχίες οι οποίες ελέγχονται από τοπικά ασθενή επίπεδα με δυσμενή προσανατολισμό ως προς την διάνοιξη της σήραγγας (σφηνοειδείς αποκολλήσεις, καταπτώσεις τύπου καμινάδας,καταρροές και ροές βραχώμαζας) και γ) σε τασικές αστοχίες οι οποίες προκαλούνται από ολόκληρο τον δακτύλιο της βραχώμαζας σε περιπτώσεις σχηματισμών με πολύ φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά και μεγάλα υπερκείμενα (διατμητικές αστοχίες, παραμορφώσεις λόγω υπερφόρτωσης , ανισότροπες παραμορφώσεις και διογκώσεις) .

Οι βαρυτικές αστοχίες διακρίνονται κυρίως από την δομή της βραχώμαζας, δηλαδή τα πρωτογενή χαρακτηριστικά όπως η σχιστότητα και η στρώση και η τεκτονική καταπόνηση. Οι τασικές αστοχίες, προσδιορίζονται με την χρήση του λόγου της αντοχής της βραχώμαζας ως προς τις επιτόπου τάσεις $\sigma_{cm}/\rho\sigma$ (Hoek and Marinos, 2000).

Η εκτίμηση της συμπεριφοράς της βραχώμαζας κατά την εκσκαφή συντελείται με την χρήση δύο μεθόδων ταξινόμησης και χαρακτηρισμού. Αυτές είναι α) το διάγραμμα συμπεριφοράς κατά την διάνοιξη σήραγγων (Tunnel Behaviour Chart ή TBC) και β) ο χαρακτηρισμός ενοτήτων (Ground Characterization ,Behaviour and Support for Tunnels), ο οποίος αποτελεί μία σταδιακή, λεπτομερή εκτίμηση της συμπεριφοράς της βραχώμαζας κατά την διάνοιξη.

Το TBC αποτελεί ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για τον σχεδιασμό και την εφαρμογή μέτρων υποστήριξης ενός υπόγειου έργου, καθώς αντιστοιχίζει τα χαρακτηριστικά της βραχώμαζας με ορισμένους τύπους αστοχίας. Το διάγραμμα λαμβάνει υπόψιν μόνο τις τρεις βασικές παραμέτρους που επηρεάζουν την μορφή της αστοχίας, δηλαδή την δομή της βραχώμαζας, το ύψος των υπερκείμενων και την αντοχή του άρρηκτου βράχου (σ_{ci}).

Η δομή της βραχόμαζας αποτελεί βασική παράμετρος για την εκτίμηση του τύπου αστοχίας και συνεπώς έχει κυρίαρχο ρόλο στην γενική φιλοσοφία του TBC . Από την δομή λαμβάνονται πληροφορίες σχετικά με τον βαθμό της τεκτονικής καταπόνησης και τον βαθμό τεμαχισμού της βραχόμαζας, την γεωμετρία των τεμαχών που σχηματίζονται (μέγεθος και σχήμα) καθώς και την περιστροφική ικανότητα των τεμαχών αυτών . Ο χαρακτηρισμός της δομής που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της συμπεριφοράς της βραχόμαζας πρέπει να είναι λεπτομερής και η διάκριση μεταξύ των διαφορετικών τύπων όσο το δυνατόν σαφέστερη (intact, blocky, very blocky, blocky/disturbed/seamy, disintegrated, sheared/foliated/laminated) .

Βασική παράμετρος του TBC δεν θα μπορούσε να μην αποτελεί και το μέγεθος των υπερκείμενων. Μεγαλύτερο ύψος υπερκείμενων συνεπάγεται μεγαλύτερο βάρος, το οποίο έχει σημαντική επίδραση στον βαθμό αλληλοκλειδώματος μεταξύ των τεμαχών της βραχόμαζας. Αναπόφευκτα επηρεάζεται και η μορφή της αστοχίας.

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_c) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa Low σ_c High σ_c		INTACT ROCK STRENGTH (σ_c) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa Low σ_c High σ_c		
 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			
 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			
 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 scale)	 21	 22			

Εικόνα .Διάγραμμα συμπεριφοράς βραχόμαζας σε διάνοιξη σηράγγων TBC (V.Marinos, 2012)

3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

3.1.Γεωμορφολογία-Γεωλογία

Η χάραξη των σηράγγων Σ1 και Σ2 σχεδιάζεται να διασχίζει το ορεινό, έντονα λοφώδες, πολυσχιδές ανάγλυφο της Δυτικής Ροδόπης.

Τα υψόμετρα του φυσικού αναγλύφου κυμαίνονται από 915 έως 940 μ. για την σήραγγα Σ1, ενώ εντός μεγαλύτερων υψομέτρων σχεδιάζεται να κατασκευαστεί η Σ2 με υψόμετρα φυσικού αναγλύφου από 1025 έως 1055 μ.

Το βραχώδες ηφαιστιοϊζηματογενές υπόβαθρο όντας συμπαγές και ανθεκτικό στην διάβρωση, σχηματίζει φυσικά πρηνή με μέτριες έως τοπικά απότομες κλίσεις οι οποίες κυμαίνονται από 35° έως 50°. Οι κλίσεις εξομαλύνονται στις εκατέρωθεν περιοχές της στέψης του αυχένα από όπου διέρχονται τα υπόγεια έργα.

Η παρουσία ρεμάτων δεν επηρεάζει την χάραξη, καθώς αυτά παρά το γεγονός ότι εμφανίζονται τόσο παράλληλα, όσο και κάθετα σε αυτήν, διαμορφώνονται σε απόλυτα υψόμετρα μικρότερα από αυτά της ερυθράς των υπόγειων τμημάτων.

Η ευρύτερη περιοχή παρουσιάζει εδαφικές αστάθειες, λόγω της παρουσίας υλικών παλαιών κατολισθήσεων. Ωστόσο, το έργο επηρεάζεται μόνο στην περιοχή εξόδου της σήραγγας Μακρύκαμπου (Σ2) όπου παρουσιάζεται εκτεταμένη ζώνη εκδηλωμένης αστάθειας μετά την Χ.Θ. 12+900 σε διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ. Ο χαρακτήρας των ασταθών υλικών υποδεικνύει πρόσφατη επανενεργοποίηση των κατολισθητικών κινήσεων και αποτελούν τα πλέον επικίνδυνα για την ασφάλεια του έργου.

Ως προς την γεωλογία, η ευρύτερη περιοχή του έργου υπάγεται στην ενότητα του Σιδηρόνερου η οποία με την σειρά της υπάγεται στην Μάζα της Ροδόπης, η οποία αποτελείται κατά βάση από κρυσταλλοσχιστώδη και εκρηξιγενή πετρώματα

Μάζα της Ροδόπης

Η Ροδοπική Μάζα βρίσκεται στην ανατολική Ελλάδα και καταλαμβάνει μεγάλο τμήμα της Βουλγαρίας και μικρότερο τμήμα της βορειοδυτικής Τουρκίας. Στην Ελλάδα εντοπίζεται ανάμεσα στην Βαλκανική ζώνη και την ζώνη των Διναρίδων-Ελληνίδων.

Αποτελεί μια πολύπλοκη γεωτεκτονική ενότητα που γειτνιάζει προς την δύση με την Σερβομακεδονική Μάζα. Όριο των δύο ενότητων αποτελεί το μεγάλο ρήγμα αποκόλλησης του Στρυμόνα. Στα ανατολικά, πάνω στην μάζα της Ροδόπης επωθείται η Περιροδοπική ζώνη.

Ο διαχωρισμός της Ροδοπικής μάζας σε ενότητες έχει εκφραστεί με πλήθος θεωριών. Σύμφωνα με τους Papanikolaou and Panagopoulos (1981) η Μάζα της Ροδόπης αποτελείται από δύο τεκτονικές ενότητες: (i). Την ενότητα Παγγαίου, και την εφφιπεύουσα ως προς αυτήν ενότητα Σιδηρόνερου. Η εφφιπέυση υποδεικνύει κίνηση από Β προς Ν.

Αργότερα, οι Burg et al. (1996) διέκριναν την ζώνη σε δύο νέες τεκτονοστρωματογραφικές ενότητες: (i). Την Lower, και (ii). την Upper Terrain πάνω στην οποία επωθείται η ενότητα Κύμης, που αποτελείται από μεταβασίτες, ορθογνεύσιους και μιγματίτες.

Ο Dinter (1998) εισάγει την έννοια της δομής του Συμπλέγματος Μεταμορφικών Πυρήνων (Metamorphic Core Complex) και θεωρεί το Παγγαίο ως ανάλογη μεγαδομή.

Οι Krohe and Mposkos (2002) και Mposkos et al., (2010) διαχώρισαν περαιτέρω την ενότητα του Σιδηρονέρου και την διακρίνουν από την ανώτερη ενότητα της Κύμης.

Ακόμη, οι Turpaud and Reischmann (2005) προτείνουν τον διαχωρισμό της RM στις ακόλουθες ενότητες: (i). Στην Νότια Thracian Terrain, που συντελείται από γνεύσιους του Περιοτριάδικου και μάρμαρα του Τριαδικού, και (ii). Στην Βόρεια Rhodope Terrain που αποτελείται από ορθογνεύσιους του Ανώτερου Ιουρασικού.

Οι νεότερες θεωρίες προτείνουν ότι η Ροδοπική Μάζα συντελεί μια αλπική ακολουθία καλυμμάτων που διαμορφώθηκαν κατά την σύγκρουση της Αφρικανικής με την Ευρασιατική πλάκα (Μέσο Ιουρασικό –Νεογενές).

Η πολυπλοκότητα της δομής της Μάζας της Ροδόπης έχει οδηγήσει στην διατύπωση πληθώρας θεωριών, ωστόσο, η ευρύτερα αποδεκτή και πλέον διαδεδομένη είναι αυτή των Paranikolaou and Panagopoulos ,κατά την οποία η Μάζα της Ροδόπης αποτελείται από την ενότητα Παγγαίου, την οποία εφφιπεύει η ενότητα Σιδηρονέρου -Κύμης. Η θεωρία αυτή είναι η πλέον απλουστευμένη και ευρέως κατανοητή.

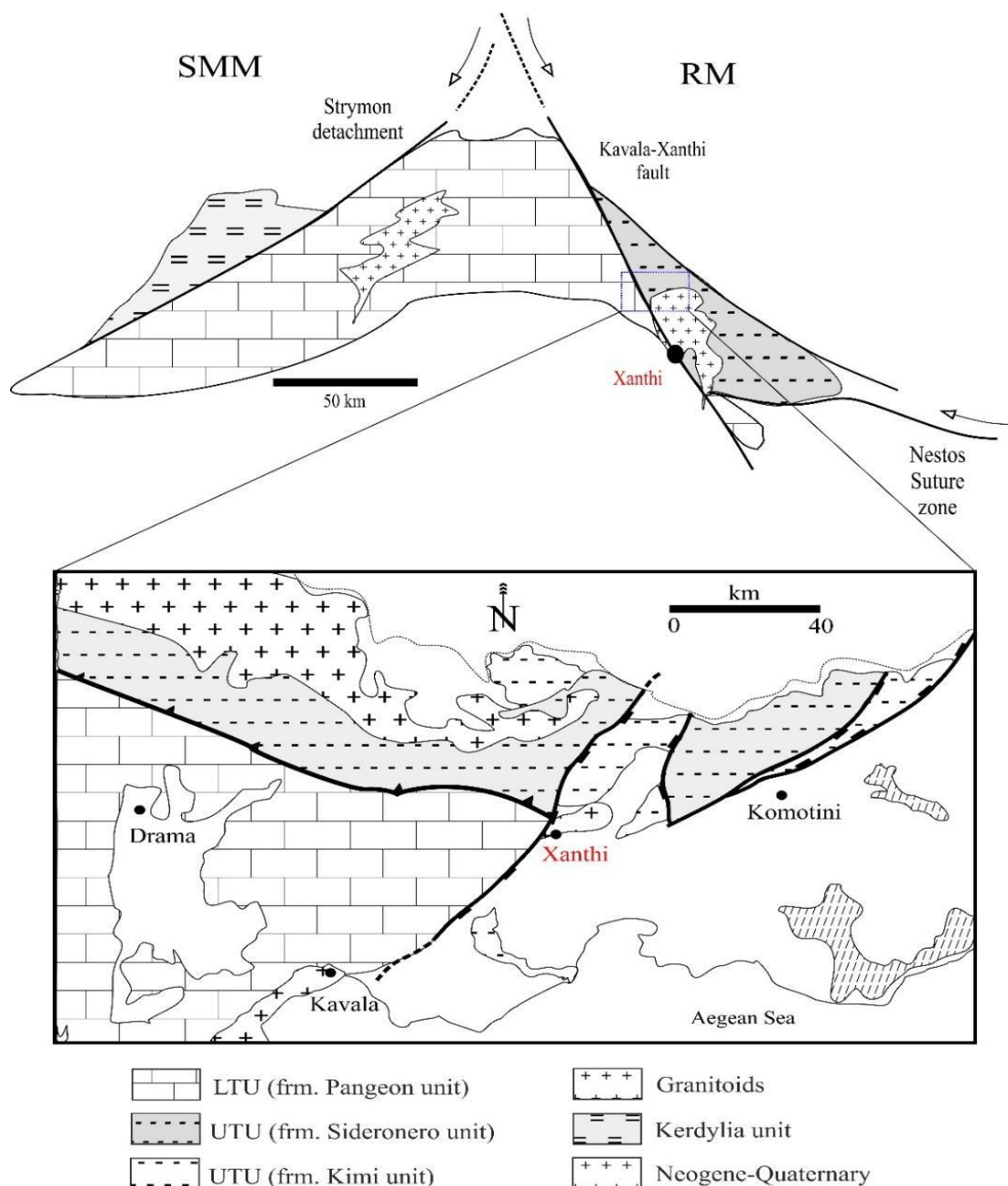
Η Ροδοπική Μάζα παρουσιάζει ιδιαίτερα πολύπλοκη γεωλογική δομή, με αποτέλεσμα η γεωτεκτονική της εξέλιξη να αποτελεί ακόμη και σήμερα αμφιλεγόμενο αντικείμενο.

Συγκεκριμένα έχουν διατυπωθεί οι εξής δυο θεωρίες:

α) Σύμφωνα με την γενικά αποδεκτή θεωρία των γεωτεκτονικών ζωνών του ελληνικού χώρου η Μάζα της Ροδόπης αποτελεί την ελληνική ενδοχώρα, και θεωρείται ότι συνιστά τμήμα της Ευρασιατικής πλάκας (Κατσικάτσος, 1992) και β) Η Ροδοπική μάζα απέκτησε την σύγχρονη τεκτονική της δομή λόγω της σύγκρουσης της πλάκας της Αφρικής με την Ευρασιατική πλάκα. Οι ενότητες της μάζας της Ροδόπης αποτελούνται λιθολογικά από πετρώματα ηπειρωτικής και ωκεάνιου φλοιού και έχουν υποστεί συμπιεστική τεκτονική ,με την μορφή επωθήσεων διεύθυνσης Β-Ν και την επακόλουθη επώθηση τους προς τα ΝΔ (ρήγμα του Νέστου) ,κατά την διάρκεια της Αλπικής ορογένεσης (Mposkos 2001; Krohe and Mposkos 2002; Liati et al., 2002; Krenn et al., 2010).

Η ενότητα του Παγγαίου αποτελείται κατά κύριο λόγο από μεταμορφωμένα πετρώματα , κυρίως μάρμαρα . Από τα βορειοανατολικά και νοτιοδυτικά επωθούνται πάνω στην μάζα της οι βαθύτεροι μεταμορφικοί ορίζοντες του Σιδηρονέρου και της Σερβομακεδονικής μάζας αντίστοιχα. Κατά το Μειόκαινο , με την ανάπτυξη πεδίου εφελκυστικών τάσεων στην περιοχή, ακολούθησε η κατάρρευση των τεκτονικών καλυμμάτων με αποτέλεσμα την εκταφή της ενότητας του Παγγαίου με την μορφή τεκτονικού παραθύρου.

Το Παγγαίο ,ουσιαστικά, συγκροτεί έναν τυπικό μεταμορφικό πυρήνα (metamorphic core complex). Παράλληλα με την αποκάλυψη του Παγγαίου έλαβαν χώρα και οι μειοκαινικές διεισδύσεις όξινων μαγμάτων που δημιούργησαν τους σημαντικούς γρανιτικούς όγκους της περιοχής (Βροντού, Σύμβολο Καβάλας, Παγγαίο κ.τ.λ.)



Εικόνα . Απλοποιημένη τομή και γεωλογικός χάρτης της RM (από Papanikolaou and Panagopoulos, 1981; Krohe and Mposkos, 2002; Turpaud and Reischmann, 2010; Mposkos et al., 2010; Nagel et al., 2011)

Ενότητα Σιδηρονέρου –Κύμης

Η συγκριμένη ενότητα συντελείται ,από λιθολογικής άποψης ,από παχυστρωματώδη μάρμαρα με ενστρώσεις μαρμαρυγιακών σχιστολίθων, ορθογενεσίων, αμφιβολιών και μεταγρανιτικών πετρωμάτων. Η τεκτοστρωματογραφία της αποτελείται από δύο ακολουθίες οι οποίες ,από τα κατώτερα προς τα ανώτερα, είναι η εξής: (i) Σειρά γενεσίων του Παγγαίου , με εναλλαγές μαρμαρυγιακών ή διμαρμαρυγιακών σχιστόλιθων και παραγενεσίων ,ορθογενεσίων, αμφιβολιτών και μαρμάρων και (ii) Συμπαγή, ανακρυσταλλωμένα , αδροκρυσταλλικά μάρμαρα. Τοπικά εμφανίζονται παραγενέσιοι, διμαρμαρυγιακοί και ακτινολιθικοί σχιστόλιθοι. Οι ορθογενέσιοι έχουν πρωτολίθους ηλικίας Λιθανθρακοφόρου και Περμίου.

Τα πετρώματα της ενότητας Σιδηρονέρου έχουν υποστεί HT-LP μεταμόρφωση (υψηλής πίεσης –χαμηλής θερμοκρασίας) κατά το Ηώκαινο και Ολιγόκαινο (Kronberg and Raith, 1977; Krohe and Mroskos, 2002).

Το υπόβαθρο χρονολογείται στο Παλαιοζωικό ($305-357 \pm 10$ Ma) και καλύπτεται από μια ακολουθία μετά-οφιολίθων και μετα-ιζηματογενών πετρωμάτων .

Αναλυτικότερα ,η τεκτοστρωματογραφία της ενότητας , από τα κατώτερα προς τα ανώτερα τεκτονικά στρώματα είναι η εξής : (i)Βιοιτιτικοί οφθαλμό-, όρθο- και παρά-γενέσιοι με ενστρώσεις αμφιβολιτών και μαρμάρων (κάλυμμα Σχίνου). (ii)Αμφιβολιτικοί και διμαρμαρυγιακοί γενέσιοι και μάρμαρα (κάλυμμα Σιρόκο), (iii) Ταινιωτοί γενέσιοι με παρεμβολές, κατά τόπους , μιγματιτών (κάλυμμα Κωνσταντίνι), και (iv).Χαλαζιακοί-K-αστριούχοι γενέσιοι με φακούς μαρμαρων.

Τα καλύμματα επωθούνται το ένα πάνω στο άλλο με ΒΔ διεύθυνση και κλίση προς τα ΝΑ. Σημαντική είναι η ομοιότητα με την ενότητα Κερδυλίων της Σερβομακεδονικής Μάζας , με την οποία και θεωρείται από ορισμένους να ταυτίζεται.

Περιοχή Μελέτης

Στην στενή περιοχή του έργου απαντάται αποκλειστικά η μολασσική σειρά της ενότητας .Πιο συγκεκριμένα, υπόβαθρο των τεχνικών έργων αποτελεί μια ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά η οποία περιλαμβάνει όξινα πυροκλαστικά (ιγνιμβρίτες) σε εναλλαγές με ψαμμίτες και ιλύολιθους. Η σειρά αυτή χρονολογείται στο Τριτογενές και σχηματίστηκε μετά το πέρας της ορογενετικής διαδικασίας ,ταυτόχρονα με την ηφαιστιακή εκδήλωση του Ολιγοκαίνου στην περιοχή.

Από την περιοχή δεν λείπουν οι τεταρτογενείς αποθέσεις , οι οποίες επικάθονται ασύμφωνα πάνω στα τριτογενή ιζήματα , και συνίστανται κυρίως από υλικά παλαιών και πρόσφατων κατολισθήσεων και πλευρικά κορήματα.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί,όπως καταγράφηκαν και χαρτογραφήθηκαν λεπτομερώς είναι συγκεκριμένα οι εξής:

Α) Η μολάσσα της Ροδόπης(Τριτογενές)

- i. Τόφοι (mo.it) : Προέρχονται από συγκολλημένα πυροκλαστικά (κυρίως τέφρα και λιθάρια) , μέσης διαμέτρου 3 cm , ανοιχτότερου χρώματος και παχυστρωματώδη (στρώση 20 -100 cm).
- ii. Ηφαιστιακά λατυποπαγή (mo.ib) : Προέρχονται από συγκολλημένες βολίδες , διαμέτρου 3- 30 cm) και τεμάχια όξινων πυροκλαστικών υλικών και γρανιτών. Το χρώμα τους είναι ανοικτότερο έως τεφρό και εμφανίζονται κατά βάση άστρωτα .
- iii. Ιλυόλιθοι –ψαμμίτες (mo.sd) : Εμφανίζονται ως εναλλαγές παχυστρωματωδών ,συμπαγών καστανόγκριζων ψαμμιτών και λεπτών, τεφρών ιλυολίθων-μαργών , με ασθενή σχιστότητα .Το συνολικό πάχος του σχηματισμού κυμαίνεται από 1 έως 10 μ.

B) Τεταρτογενείς αποθέσεις

- i. Υλικά πρόσφατων κατολισθήσεων (LS) : Χαλαρά , ανομοιόμορφα υλικά τα οποία συνίστανται κυρίως από χάλικες , λίθους και τεμάχια ηφαιστιακών πετρωμάτων , τοπικά μεγάλης πυκνότητας, εντός αργιλοαμμώδους μάζας.
- ii. Υλικά παλαιών κατολισθήσεων (LM) : Χαλαρά , ανομοιόμορφα υλικά όμοιας σύστασης με αυτά των πρόσφατων κατολισθήσεων ,με μεγαλύτερη συνοχή και εμφανίσεις μεγαλύτερου πάχους.
- iii. Κορήματα (SF) : Χαλαρές άμμοι και χάλικες καστανότεφρου χρώματος.
- iv. Ελλούβια ιζήματα (EL): Άμμοι και άργιλοι τεφρού έως καστανότεφρου χρώματος με προέλευση από την αποσάθρωση των μολασσικών ιζημάτων.

3.2.Ενεργός τεκτονική - σεισμικότητα

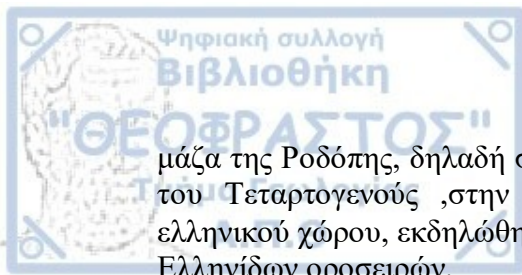
Ενεργός τεκτονική Θράκης

Η νεοτεκτονική δραστηριότητα στον ελληνικό χώρο είναι ιδιαίτερα έντονη και εκδηλώνεται με σημαντικά σεισμικά φαινόμενα μεγάλης συχνότητας .Η συμπεριφορά αυτή του ελλαδικού χώρου εξηγείται ,αν σκεφτεί κανείς την γεωτεκτονική της θέση. Συγκεκριμένα , η χώρα μας βρίσκεται στην Μεσογειακή –Μελανησιακή ζώνη του ηπειρωτικού συστήματος διάρρηξης .

Σύμφωνα με την θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών , η τεκτονική δραστηριότητα στον ελληνικό χώρο οφείλεται στην σύγκρουση των λιθοσφαιρικών πλακών της Ευρασίας και της Αφρικής και την υποβύθιση της δεύτερης κάτω από την πρώτη κατά μήκος της ελληνικής τάφρου.

Η ευρύτερη περιοχή του γεωγραφικού διαμερίσματος της Θράκης , ωστόσο , αποτελεί μαζί με την Αττικοκυκλαδική περιοχή και την λεκάνη της Πτολεμαΐδας , μία από τις λίγες θέσεις του ελληνικού χώρου με μικρή σεισμική δραστηριότητα (μεγέθους έως 4.5 βαθμών της κλίμακας Richter) .

Η μειωμένη νεοτεκτονική δράση και συνεπώς η μικρή σεισμική δραστηριότητα της περιοχής , οφείλονται στο γεγονός ότι η Θράκη κατατάσσεται γεωτεκτονικά στην



μάζα της Ροδόπης, δηλαδή στην ελληνική ενδοχώρα , όπου η εφελκυστική τεκτονική του Τεταρτογενούς ,στην οποία οφείλεται η νεοτεκτονική δραστηριότητα του ελληνικού χώρου, εκδηλώθηκε πολύ νωρίτερα από ότι στις εξωτερικότερες ζώνες των Ελληνίδων οροσειρών.

Ενεργός τεκτονική –σεισμικότητα της περιοχής μελέτης

Η κύρια ρηξιγενής ζώνη που επηρεάζει την ευρύτερη περιοχή του έργου είναι το μεγάλο ρήγμα Ξάνθης – Αμφίπολης , το οποίο εντοπίζεται στην περιοχή Καβάλας – Κομοτηνής ,στην ανατολική Ροδόπη. Το ρήγμα διακρίνεται σε δύο τμήματα , το πρώτο εκ των οποίων εκτείνεται με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ από την Καβάλα έως την Ξάνθη και παρουσιάζει πλαγιοκανονική συμπεριφορά με κλίση προς ΝΑ. Το δεύτερο τμήμα εκτείνεται έως την Κομοτηνή με διεύθυνση ΔΝΔ-ΑΒΑ και κλίση προς Δ , παρουσιάζοντας χαρακτήρα οριζόντιας μετατόπισης. Η χάραξη των σιράγγων Σ1 και Σ2 της προέκτασης προς τα ελληνοβουλγαρικά σύνορα , βρίσκεται σε απόσταση 25 km από το ρήγμα και θεωρείται ότι δεν επηρεάζεται άμεσα από αυτό.

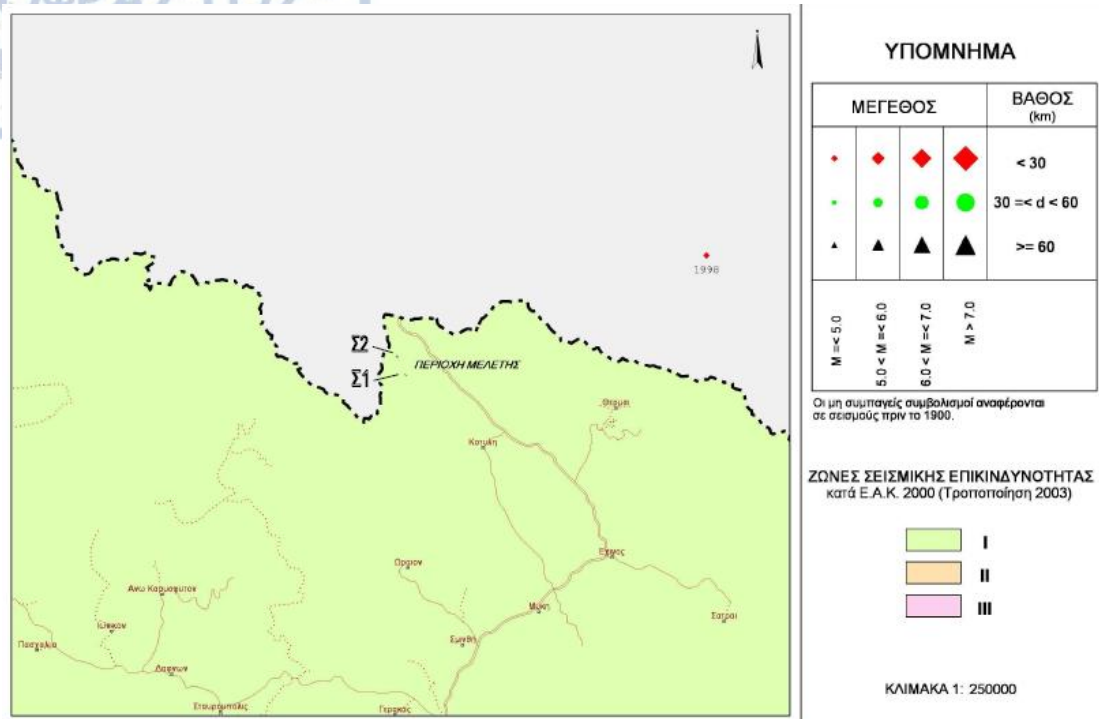
Στο άμεσο περιβάλλον του έργου δεν συναντώνται ιδιαίτερες τεκτονικές δομές , παρά μόνο δευτερογενή συνιζηματογενή ρήγματα τοπικού χαρακτήρα με μικρή επιρροή στο έργο. Οι δομές αυτές ανήκουν στον μολαστικό κύκλο , έχουν μικρή εμμονή και θεωρούνται ανενεργές.

Η σεισμικότητα της ευρύτερη περιοχής είναι σχετικά περιορισμένη. Συγκεκριμένα δεν υπάρχουν αξιοσημείωτα σεισμικά επίκεντρα σε εμβέλεια έως 25 km, ενώ σομφών με τον χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας (ΕΑΚ ,2000) ,η περιοχή της Ξάνθης κατατάσσεται στην Ζώνη Ι . Η εδαφική επιτάχυνση έχει εκτιμηθεί ίση με 0.16.

Η κατανομή των σεισμικών επικέντρων της ευρύτερης περιοχής παρατίθεται στον παρακάτω χάρτη:



Εικόνα .Γεωλογικός χάρτης της Μάζας της Ροδόπης με εμφανή τα ίχνη των μεγάλων ρηγμάτων της ζώνης (ΠΓΜΕ, Γεωλογικός Χάρτης Ελλάδος 1:500000, Lalechos & Savoyat 1977, Martin 1987)



Εικόνα . Κατανομή σεισμικών epicέντρων μεγέθους > 4 βαθμών της κλίμακας Richter. (Κατάλογος Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, από 1901)

3.3. Υδρογεωλογία

Υδρογεωλογία της Ξάνθης

Το λοφώδες ανάγλυφο της ευρύτερης περιοχής της Ξάνθης παρουσιάζει αρκετά ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο . Η σημαντικότερη επιφανειακή υδάτινη μάζα της περιοχής είναι ο ποταμός Νέστος ,ο οποίος εκτείνεται από την Δράμα και διασχίζει κατά μήκος το όριο μεταξύ των νομών Καβάλας – Ξάνθης , πηγάζει στα όρη Ρίλα της Βουλγαρίας και εκβάλλει στο θρακικό πέλαγος.

Στην νοτιοανατολική Ξάνθη , επίσης, βρίσκεται η υφάλμυρη λίμνη Βιστονίδα , έκτασης 45 km² και μέσου βάθους 4 m , στην οποία εκβάλλουν τρεις μικρής έκτασης ποταμοί που διασχίζουν την Ξάνθη και την Κομοτηνή. Η σύνδεση της λίμνης με τον Βιστωνικό Κόλπο μέσω στενών περασμάτων καθιστά δυνατή την διέλευση του θαλασσινού νερού με αποτέλεσμα να παρατηρούνται μεταβολές στην αλατότητα της. Το επιφανειακό υδρολογικό δίκτυο της περιοχής συμπληρώνεται από μικρούς εποχικούς χειμάρους.

Εντός των αλλουβιακών αποθέσεων της ευρύτερης περιοχής εντοπίζονται δύο συστήματα υπόγειας υδροφορίας [Pliakas, et al., 2001, Sakkas, et al., 1998]: α) ένα σχετικά μικρού βάθους σύστημα ,το οποίο αποτελείται από ελεύθερους και κατά βάση ημιαρτεσιανούς υδροφορείς που φτάνουν σε βάθος έως και 30 m. Το σύστημα τροφοδοτείται κυρίως από την κατέισδυση του νερού της βροχής , και β) ένα βαθύτερο σύστημα , το οποίο εκτείνεται σε βάθη μεγαλύτερα των 190 m. και

αποτελείται από αρτεσιανούς υδροφόρους ορίζοντες. Η τροφοδοσία των συγκεκριμένων υδροφορέων πηγάζει από τον ποταμό Νέστο και την λίμνη Βιστονίδα.

Από τα υδροφόρα ,αυτά, στρώματα αναβλύζουν περισσότερα από 50 πηγάδια αρτεσιανισμού.

Υδρογεωλογία της περιοχής μελέτης

Η στενή περιοχή του έργου αποτελείται ,κυρίως, από ημιδιαπερατούς σχηματισμούς , χαμηλής έως πολύ χαμηλής περατότητας . Συγκεκριμένα , όπως προέκυψε από δοκιμές περατότητας πίπτοντος φορτίου Maag οι τιμές υδροπερατότητας k κυμαίνονται από 10^{-9} έως 10^{-5} .

Στις τεταρτογενείς αποθέσεις , δηλαδή στα πλευρικά κορήματα και στα υλικά παλαιών και νεότερων κατολισθήσεων , η κυκλοφορία του νερού πραγματοποιείται μέσω του πρωτογενούς πορώδους τους. Λόγω της περιορισμένης τους έκτασης και πάχους ,οι συγκεκριμένοι σχηματισμοί , μπορεί να παρουσιάζουν τοπικά και σχετικά υψηλότερη περατότητα. Στα ασταθή υλικά που προέρχονται από κατολισθητικές κινήσεις , η έντονη ανομοιομορφία τους προκαλεί και υδραυλική ετερογένεια με διακυμάνσεις στην περατότητα.

Οι σχηματισμοί της μολασσικής σειράς , δηλαδή τα ηφαιστιακά λατυποπαγή και οι τόφφοι , παρουσιάζουν διακύμανση ως προς την περατότητα η οποία εξαρτάται από την πυκνότητα των ασυνεχειών τους. Πιο στεγανές εμφανίζονται οι συμπαγείς ,άρρηκτες μάζες , ενώ οι στρωσιγενείς και διακλασμένοι σχηματισμοί παρουσιάζουν πιο περάτη συμπεριφορά.

Η στάθμη του υπόγειου υδροφορέα μετρήθηκε εντός των γεωτρήσεων κατά μήκος των δύο χαράξεων , ωστόσο τα αποτελέσματα δεν αντικατοπτρίζουν με απόλυτη ακρίβεια την πραγματική στάθμη του υπόγειου νερού, καθώς οι μετρήσεις είχαν ληφθεί ακριβώς μετά το πέρας των γεωτρήσεων προτού επέλθει η κατάσταση ισορροπίας.

Στην σήραγγα Σ1 , σύμφωνα με τα δεδομένα των γεωτρήσεων , προκύπτει η παρουσία υδροφόρου ορίζοντα , μικρής δυναμικότητας , ο οποίος αναμένεται να αποστραγγίζεται κατά την προσχεδιασμένη διάνοιξη.

Για την σήραγγα Σ2 , εκτιμήθηκε ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντα μικρής δυναμικότητας σε βάθος της τάξης των 8 μ. Κάτω από το επίπεδο της ερυθράς , ο οποίος θεωρήθηκε ότι δεν θα επηρεάσει το έργο.

Πιθανές είναι τοπικές κατεισδύσεις στα πιο υδροπερατά πετρώματα κατά την διάρκεια βροχοπτώσεων την υγρή περίοδο , οι οποίες όμως δεν αναμένεται να εξελιχθούν σε εισροές και να επηρεάσουν αρνητικά το έργο.

Ο μοναδικός προβληματισμός περιορίζεται στην περιοχή των εκτεταμένων υλικών κατολισθήσεων στην έξοδο της σήραγγας Σ2 , όπου αναμένεται εκλεκτική κυκλοφορία νερού και διαποτισμός , στον οποίο τα συγκεκριμένα υλικά εμφανίζονται επιρρεπή. Το φαινόμενο του διαποτισμού , είναι υπεύθυνο και για τον σχηματισμό ασθενών εποχιακών πηγών στην περιοχή.

Γενικά, δεν αναμένονται ιδιαίτερα προβλήματα κατά την διάνοιξη ή την λειτουργία των υπόγειων έργων, όμως είναι πιθανή η ανάπτυξη υποπιέσεων, η οποία μπορεί να προληφθεί με την εφαρμογή αποστραγγιστικών οπών στα στόμια εισόδου- εξόδου των σηράγγων.

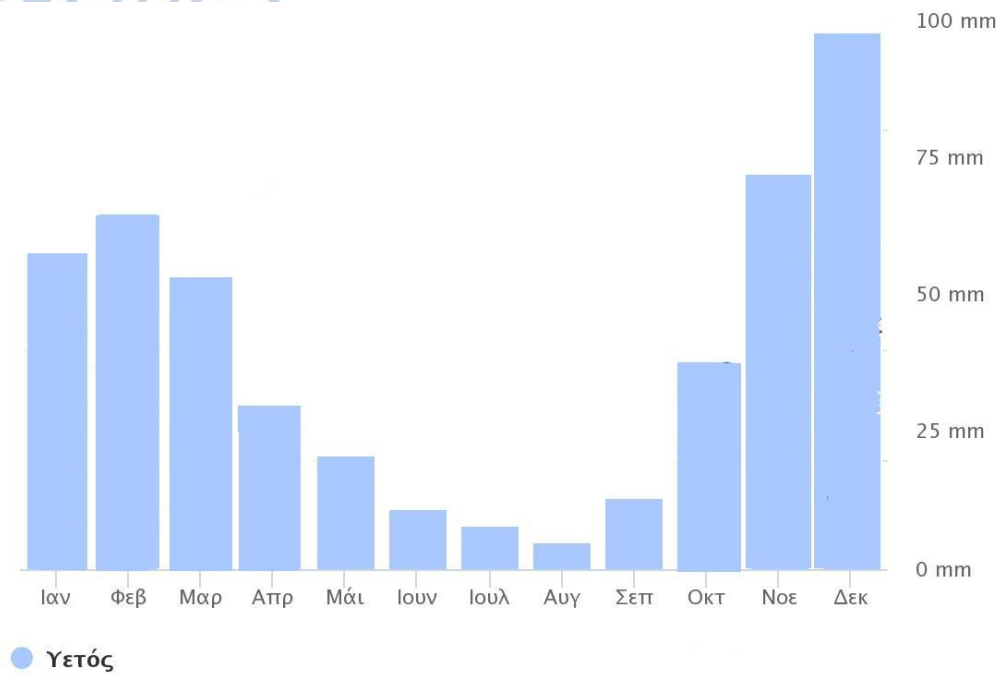
Α/Α	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ	ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΥΔΡΟ- ΦΟΡΕΑΣ	ΣΤΑΘΜΗ ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ (m)							ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
		(m)	20/9/13		21/9/13	22/9/13	23/9/13	25/9/13	30/9/13	25/6/14		
1	ΔΣ-01	20,00	927,25	mo,ib/mo.it		-10,00		-12,50	-14,50	-18,00		Πιθανά να μην αποτελεί πραγματική στάθμη Υ.Ο.
2	ΔΣ-02	20,00	932,21	mo,ib/mo.it	-7,00			-9,80	-11,30	-13,50	-12,23	
3	ΔΣ-03	20,00	1027,88	mo,ib/mo.it			-8,00		-12,30	-17,00		Πιθανά να μην αποτελεί πραγματική στάθμη Υ.Ο.
4	ΔΣ-04	20,00	1036,17	mo,ib						-14,00	-19,00	Πιθανά να μην αποτελεί ποσωνιακή στάθμη Υ.Ο.

Α/Α	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ	ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΥΔΡΟ- ΦΟΡΕΑΣ	ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΣΤΑΘΜΗΣ (m)							ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
		(m)	20/9/13		21/9/13	22/9/13	23/9/13	25/9/13	30/9/13	25/6/14		
1	ΔΣ-01	20,00	927,25	mo,ib/mo.it		917,25		914,75	912,75	911,25		Πιθανά να μην αποτελεί πραγματική στάθμη Υ.Ο.
2	ΔΣ-02	20,00	932,21	mo,ib/mo.it	925,21			922,41	920,91	918,71	919,98	
3	ΔΣ-03	20,00	1027,88	mo,ib/mo.it			1019,88		1015,58	1010,88		Πιθανά να μην αποτελεί πραγματική στάθμη Υ.Ο.
4	ΔΣ-04	20,00	1036,17	mo,ib						1022,17	1017,17	Πιθανά να μην αποτελεί πραγματική στάθμη Υ.Ο.

Α/Α	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ	ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΥΔΡΟ- ΦΟΡΕΑΣ	ΣΤΑΘΜΗ ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ (m)										ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
		(m)	18/11/13		20/11/13	22/11/13	25/11/13	28/11/13	30/11/13	2/12/13	4/12/13	6/12/13	25/6/14		
5	ΔΝ-04	24,00	1034,82	mo,ib	-5,20	-7,30	-9,10	-11,80	-13,50	-15,20	-17,50	-18,10	-19,20	-16,17	

Α/Α	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ	ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΥΔΡΟ- ΦΟΡΕΑΣ	ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΣΤΑΘΜΗΣ (m)										ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
		(m)	18/11/13		20/11/13	22/11/13	25/11/13	28/11/13	30/11/13	2/12/13	4/12/13	6/12/13	25/6/14		
5	ΔΝ-04	24,00	1034,82	mo,ib	1029,62	1027,52	1025,72	1023,02	1021,32	1019,62	1017,32	1016,72	1015,62	1018,65	

Εικόνα . Μετρήσεις στάθμης υπόγειου νερού στην περιοχή μελέτης (Αλεξιάδου - Εγνατία Οδός Α.Ε.)



meteoblue

Εικόνα . Μέση κατανομή ύψους βροχής για τα τελευταία 30 έτη (E.M.Y. , 2018)

4. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

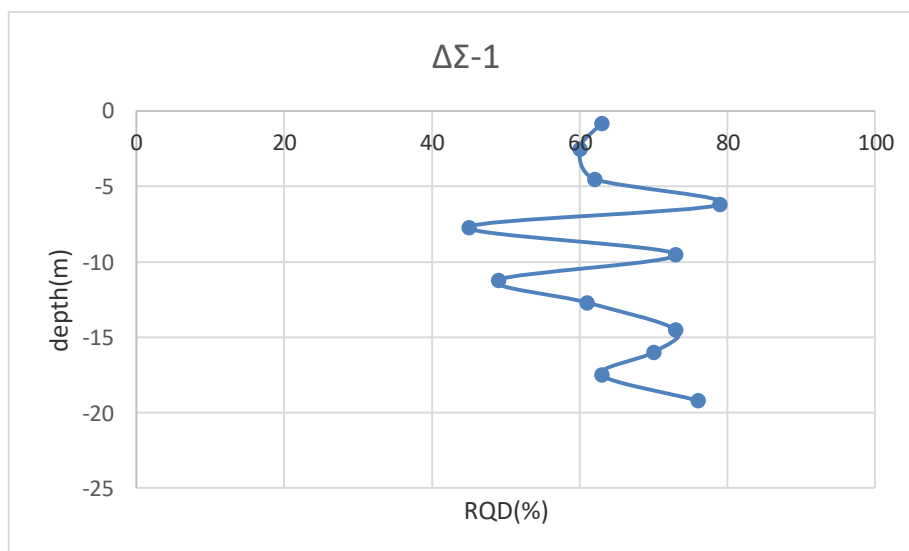
4.1. Στατιστική επεξεργασία βασικών παραμέτρων

Οι μελέτες των συγκεκριμένων σπηράγγων βασίζονται σε γεωτρητικό πρόγραμμα που περιλαμβάνει συνολικά δέκα γεωτρήσεις, οι έξι εκ των οποίων είναι αυτές που περιλαμβάνουν την σημειακή πληροφορία κατά μήκος του έργου.

Κατά μήκος των γεωτρήσεων αυτών πραγματοποιήθηκαν αξιολογήσεις του δείκτη RQD [Deere et al. 1988 and Deere 1989], της βραχύμαζας, επί τόπου δοκιμές SPT , μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου υδροφορέα ,εργαστηριακές δοκιμές για τον προσδιορισμό παραμέτρων αντοχής βράχου –εδάφους και τον καθορισμό των φυσικών χαρακτηριστικών κυρίως των ασταθών σχηματισμών (υλικά παλαιών και νέων κατολισθήσεων).

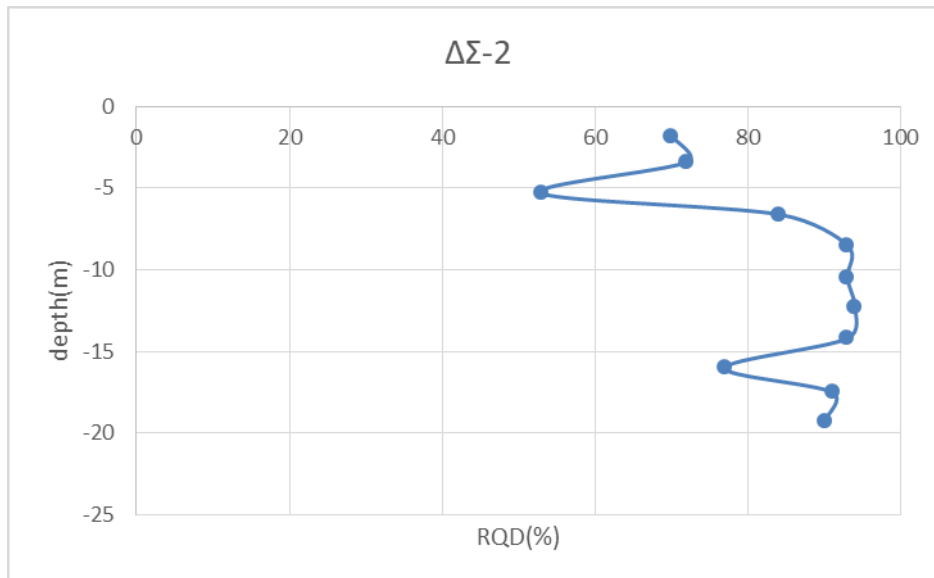
Όσον αφορά το μολασσικό υπόβαθρο , ως κυριότερη παράμετρος αποδείχθηκε ο δείκτης RQD .Πετρογραφικά επικρατούν ο ρυόλιθος και ο ιγκνιμβρίτης , οι οποίοι ωστόσο φαίνεται να μην παρουσιάζουν κάποια σημαντική διαφορά ως προς τους δείκτες ποιότητας , καλύπτοντας ένα μεγάλο εύρος από 0 έως 100 .

Για το νοτιοανατολικό τμήμα της σήραγγας της Σύννης , γεώτρηση ΔΣ-01, το RQD μεταβάλλεται γενικά ανομοιόμορφα με το βάθος ,έχοντας ωστόσο αυξητική τάση . Οι βασικές πτώσεις εντοπίζονται στα 7.7μ.και 11,2μ. . Ελάχιστη τιμή του δείκτη είναι το 45 και μέγιστη το 79.



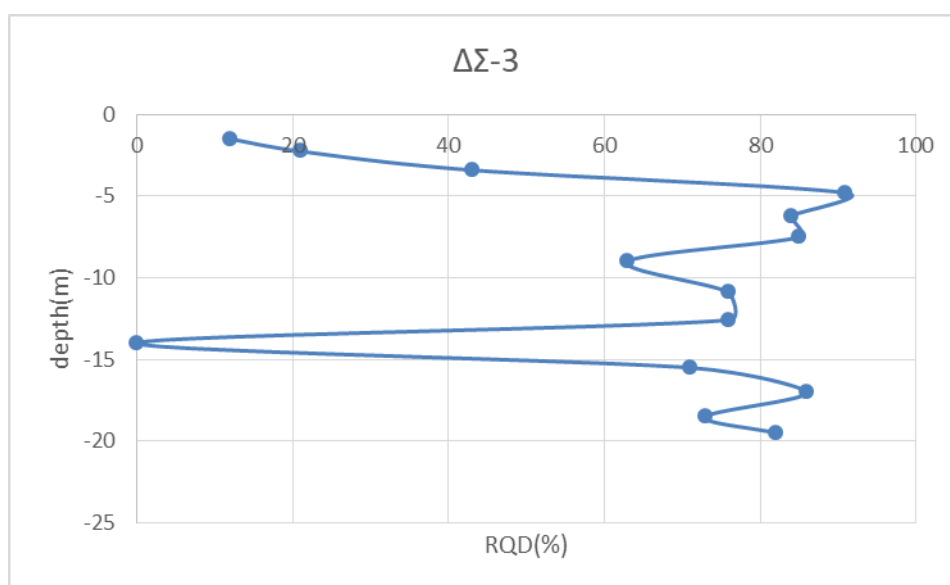
Εικόνα .Μεταβολή του RQD σε συνάρτηση με το βάθος στην γεώτρηση ΔΣ-01

Το βορειοδυτικό τμήμα της σήραγγας (ΔΣ-02) παρουσιάζει γενικά καλύτερης ποιότητας βραχώμαζα , με μέσο όρο των τιμών RQD να ισούται με 82 . Ο δείκτης ποιότητας αυξάνει με το βάθος με πιο ομαλή μεταβολή , ενώ υπάρχουν μειώσεις στα 5.3μ. και 16 μ. , με τον δείκτη να πέφτει στα 53 και 77 αντίστοιχα.



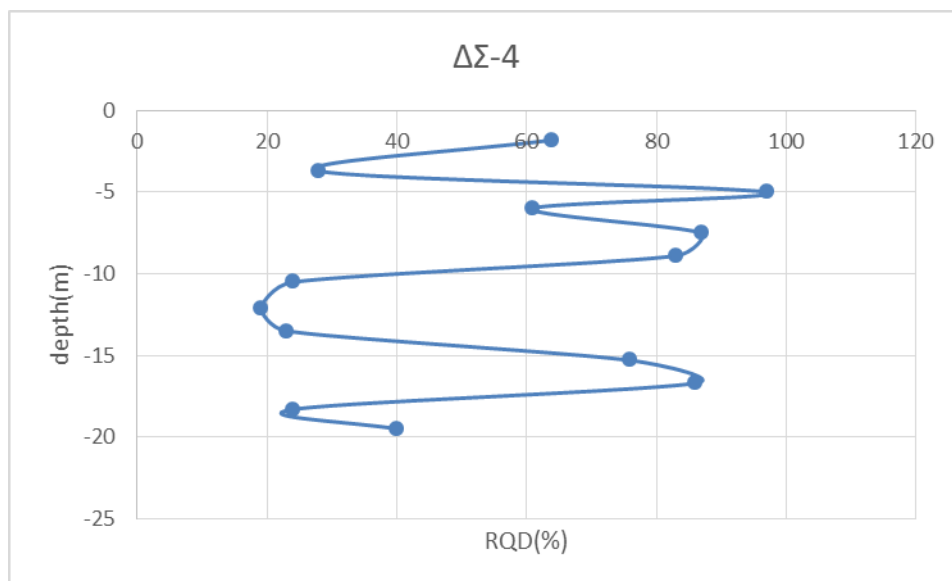
Εικόνα Μεταβολή RQD σε συνάρτηση με το βάθος στην γεώτρηση ΔΣ-02

Στο νοτιοανατολικό τμήμα της σήραγγας Μακρυκάμπου (γεώτρηση ΔΣ-03) Ο δείκτης ποιότητας της βραχώμαζας παρουσιάζει επίσης ανοδική μεταβολή με το βάθος , με τοπικές μειώσεις. Ο RQD παρουσιάζει μεγάλο εύρος τιμών , καθώς κυμαίνεται από 91 έως 0. Ο μηδενισμός αυτός πιθανόν να οφείλεται σε τέμαχος που αποσπάστηκε από το γειτονικό ιζηματογενές ρήγμα νοτιοανατολικά της γεώτρησης. Παρουσιάζονται ακόμη , τρεις μειώσεις της τάξης του 70 % στα 9μ , 18,5 μ και 19μ.

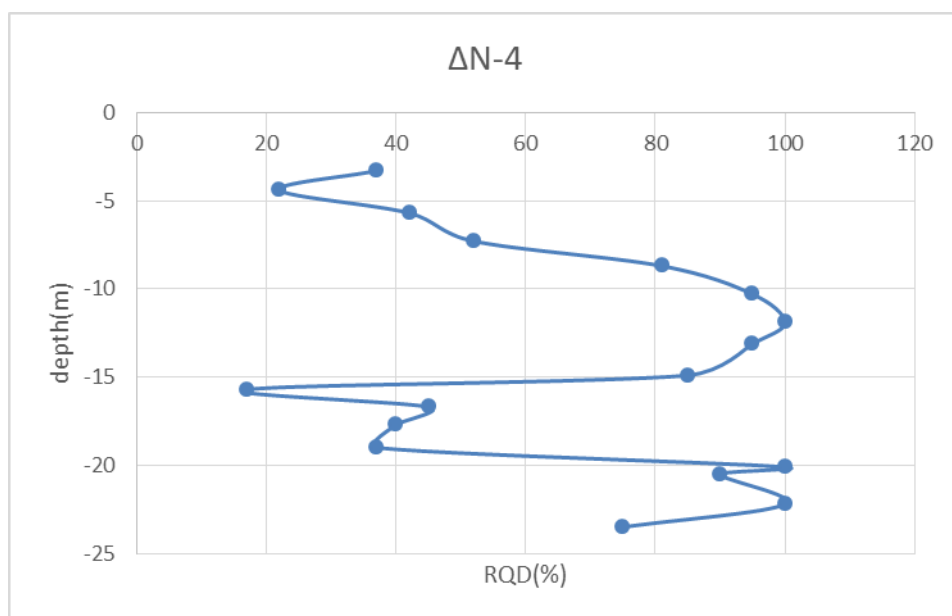


Εικόνα .Μεταβολή του RQD σε συνάρτηση με το βάθος στην γεώτρηση ΔΣ-03

Στις γεωτρήσεις ΔΣ-04 και ΔΝ-04 η γενική μεταβολή είναι ανώμαλα αυξητική .
Στην ΔΣ-04 ιδιαίτερα υπάρχει μια ζώνη μείωσης της ποιότητας στα 10μ.-15μ. η οποία οφείλεται στο συνιζηματογενές ρήγμα το οποίο τέμνει την γεώτρηση.



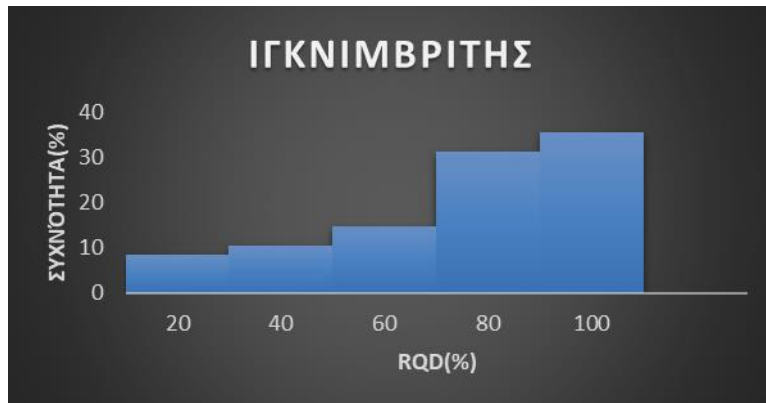
Εικόνα . Μεταβολή του RQD σε συνάρτηση με το βάθος στην γεώτρηση ΔΣ-04



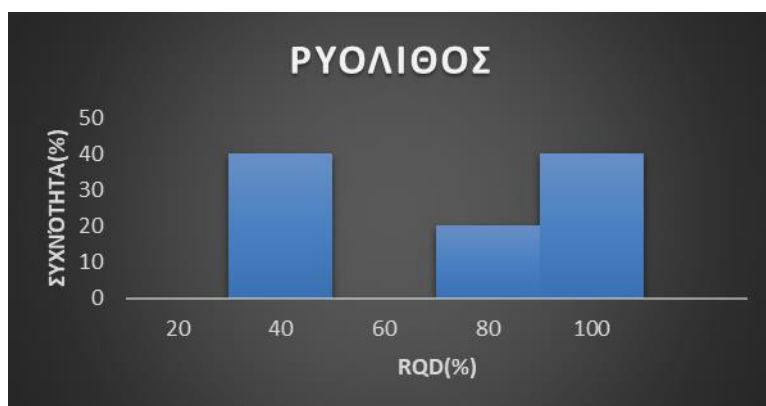
Εικόνα . Μεταβολή του RQD σε συνάρτηση με το βάθος στην γεώτρηση ΔΝ-04

Οι δύο κύριοι lithολογικοί τύποι είναι ο Ρυόλιθος και ο Ιγκνιμβρίτης, που αποτελούν την σύσταση της μολασσικής ακολουθίας. Οι ρυολιθικές ενστρώσεις φαίνεται να

παρουσιάζουν υψηλότερη ποιότητα ως προς τον RQD σε σχέση με τον Ιγκνιμβρίτη , χωρίς όμως να εμφανίζονται σε μεγάλη έκταση στον χώρο. Παρακάτω παρουσιάζονται οι σχετικές συχνότητες του RQD για τα δύο πετρώματα.



Εικόνα .Ιστόγραμμα συχνοτήτων RQD -Ιγκνιμβρίτης



Εικόνα . Ιστόγραμμα συχνοτήτων RQD -Ρυόλιθος

4.2.Ταξινόμηση βραχώμαζας –GSI

Για τον σχεδιασμό μίας υπόγειας διάνοιξης , βασικό βήμα αποτελεί η ταξινόμηση των βραχομαζών και εδαφών άμεσου ενδιαφέροντος με ένα από τα προαναφερθέντα συστήματα ταξινόμησης .

Η χάραξη του παρόντος υπόγειου έργου διέρχεται εντός του μολασσικού υποβάθρου της Μάζας της Ροδόπης , και συνεπώς κρίθηκε ως καταλληλότερη η χρήση του δείκτη αντοχής GSI για μολασσικά πετρώματα[Hoek et al.2004] .

Η μολάσσα , ωστόσο, διακρίνεται χαρακτηριστικά από την ιδιότητά της να παρουσιάζει ιδιαίτερα βελτιωμένη δομή σε βάθος. Η έντονη ετερογένεια που παρουσιάζει στην επιφάνεια και η ιδιαίτερα χαλαρή δομή της , βελτιώνονται σε σημαντικό βαθμό υπό την επίδραση μεγαλύτερων υπερκειμένων . Συνεπώς ,σε μεγαλύτερα βάθη ένας μολασσικός σχηματισμός εμφανίζεται περισσότερο συμπαγής και ομοιογενής , ενώ περιορίζεται και το άνοιγμα και η εμμονή τυχόν ασυνεχειών της επιφάνειας.

Για τους παραπάνω λόγους , η αξιολόγηση και ταξινόμηση των μολασσικών σχηματισμών του παρόντος έργου πραγματοποιήθηκε με την χρήση των δύο εκδόσεων του συστήματος ταξινόμησης GSI για περιορισμένα μολασσικά πετρώματα και σχάσιμη μολάσσα [Hoek et al.2004].

Με την χρήση του συστήματος GSI έγιναν δύο βασικές ταξινομήσεις της βραχώμαζας, που αντικατοπτρίζουν την αναμενόμενη φυσικομηχανική συμπεριφορά των τόφφων (mo.it) και των ηφαιστιακών λατυποπαγών (mo.ib) εντός του μολασσικού σχηματισμού της περιοχής του έργου, σε επιφανειακές συνθήκες και σε βάθος.

Για τις παρούσες ταξινομήσεις χρησιμοποιήθηκαν εύρη τιμών που αντιπροσωπεύουν το σύνολο της δομής του εκάστοτε σχηματισμού, και βασίζονται στην επί τόπου παρατήρηση στις περιοχές των στομίων και στα δεδομένα των ερευνητικών γεωτρητικών προγραμμάτων. Οι τιμές GSI , καθώς και οι τιμές των m_i και σ_{ci} (MPa) για κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα για τις δύο σήραγγες δίνονται στους παρακάτω πίνακες.

Η τιμή του $m_i=18$ που χρησιμοποιήθηκε εδώ συντηρητικά είναι ο μέσος όρος των βιβλιογραφικών ευρών των τιμών για τοφφικά και ηφαιστιακά λατυποπαγή πετρώματα. Αντίστοιχα, η τιμή της αντοχής του άρρηκτου βράχου (σ_{ci}) εκτιμήθηκε ίση με 58 MPa , από εργαστηριακές δοκιμές.

Τα παραπάνω εύρη τιμών όπως έχουν προβληθεί και στα διαγράμματα GSI για τις τεχνικογεωλογικές ενότητες των δύο σιηράγγων παρατίθενται παρακάτω:

- Σήραγγα Συήνης (Σ1)

Πίνακας . Αποτελέσματα ταξινόμησης βραχόμαζας κατά GSI για την σήραγγα Συήνης (Σ1)

α/α	Λιθολογία	GSI	σ _{ci} (MPa)	mi
TG-1	Μολάσσα Ροδόπης – Τόφφοι και ηφαιστιακά λατυποπαγή (mo.it / mo.ib) (Στόμια και χαμηλά υπερκεείμενα)	45-60	58	18
TG-2	Μολάσσα Ροδόπης – Τόφφοι και ηφαιστιακά λατυποπαγή (mo.it / mo.ib) (Υπόγεια διάνοιξη)	65-75	58	18

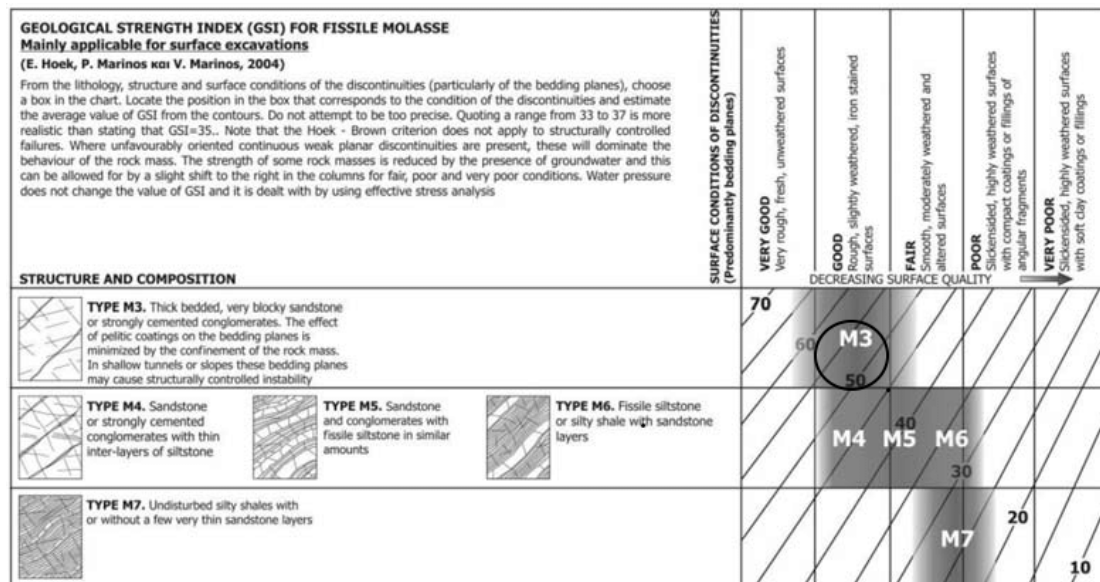
- Σήραγγα Μακρυκάμπου (Σ2)

α/α	Λιθολογία	GSI	σ _{ci} (MPa)	mi
TG-1	Μολάσσα Ροδόπης – Τόφφοι και ηφαιστιακά λατυποπαγή (mo.it / mo.ib) (Στόμια και χαμηλά υπερκεείμενα)	45-60	58	18
TG-2	Μολάσσα Ροδόπης – Τόφφοι και ηφαιστιακά λατυποπαγή (mo.it / mo.ib) (Υπόγεια διάνοιξη)	65-75	58	18
TG-3	Μολάσσα Ροδόπης – Τόφφοι και ηφαιστιακά λατυποπαγή (mo.it / mo.ib) (Στόμια και χαμηλά υπερκεείμενα)	45-60	58	18

Στις περιοχές των στομών οι επιφάνειες των ασυνεχειών εμφανίζονται τραχείες , ελαφρά αποαθρωμένες και οξειδωμένες με JRC 12-16 .Στην δομή του σχηματισμού εμμονή παρουσιάζει η στρώση , η οποία συνυπάρχει με τις ασυνέχειες τεσσάρων οικογενειών (J1-J4). Συνεπώς, για τις τεχνικογεωλογικές ενότητες TG-1 και TG-3 ο τύπος του μολασσικού σχηματισμού αντιστοιχεί στον τύπο M3.

Καθώς αυξάνει το βάθος το μολασσικό υπόβαθρο παρουσιάζει υψηλότερο GSI , λόγω σχάσης. Η ποιότητα των ασυνεχειών συνεχίζει να είναι καλή , η δομή ωστόσο, προσεγγίζει την δομή του άρρηκτου βράχου. Η τεχνικογεωλογική ενότητα TG-2 (υπόγεια διάνοιξη) ταυτίζεται ,επομένως, με τον μολασσικό τύπο M1.

Τα εύρη τιμών για τον δείκτη GSI καθώς και οι τύποι των μολασσικών σχηματισμών όπως διατυπώθηκαν παραπάνω ,δίνονται ως προβολές στα παρακάτω διαγράμματα GSI:



Εικόνα .Εύρη τιμών GSI για τις TG1 και TG2

GSI No 1 FOR CONFINED MOLASSE (Mainly applicable for tunnels) (Hoek, E., Marinos, P. and Marinos, V., 2004)		SURFACE CONDITIONS			
From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.		VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Slackened, highly weathered surfaces with compact coatings of fillings or angular fragments
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY			
 INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities  BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets  VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets  BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity  DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces  LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES	90	80	N/A	N/A
		70	60		
		50	40		
		30	20		
		10			
		N/A	N/A		

Εικόνα . Εύρη τιμών GSI για την TG2

4.3. Τεχνικογεωλογικές ενότητες

Οι δύο χαράξεις στο σύνολο τους διέρχονται μέσα από το μολασσικό υπόβαθρο της ροδοπικής μάζας, η οποία αποτελείται από ηφαιστιακά λατυποπαγή, ηφαιστιακούς τόφφους, μια σειρά ιλυολίθων –ψαμμιτών, και υλικά παλαιών και νέων κατολισθήσεων (Τεταρτογενές). Η λιθολογία ανάγεται σε ρυολιθική και ιγκνιμβριτική.

Η χάραξη της σήραγγας Συνης (Σ1) διέρχεται αποκλειστικά μέσω του μολασσικού υποβάθρου συναντώντας κυρίως τα ηφαιστιακά λατυποπαγή και του ηφαιστιακούς τόφφους, ενώ στα δύο στόμια κατά τόπους εμφανίζεται και η ψαμμιτική –ιλυολιθική σειρά, χωρίς να επιδρά στην συνολική ευστάθεια, ιδιαίτερα για το υπόγειο τμήμα της σήραγγας όπου όπως προκύπτει από την γεωλογική χαρτογράφηση ο ψαμμιτικός – ιλυολιθικός ορίζοντας βρίσκεται εξ ολοκλήρου πάνω από την χάραξη.

Ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται ως βραχώδης και συμπαγής, με καλά μηχανικά χαρακτηριστικά –καλή ποιότητα βραχώμαζας και υψηλή αντοχή του άρρηκτου βράχου (50-70 MPa) και εμφανίζεται με τα ίδια χαρακτηριστικά κατά μήκος όλης της χάραξης. Συνεπώς, οι τεχνικογεωλογικές ενότητες για την σήραγγα Σ1 ταυτίζονται ουσιαστικά με α) τα στόμια εισόδου –εξόδου και β) την υπόγεια διάνοιξη.

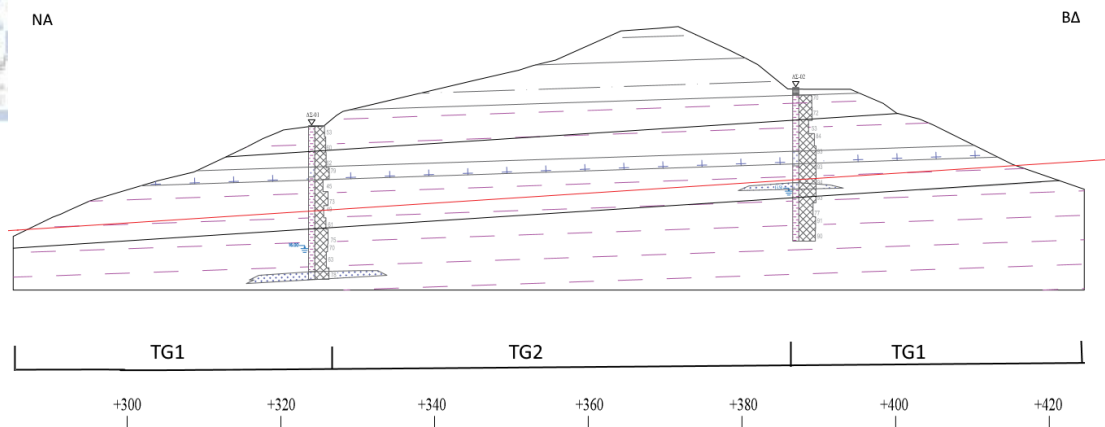
Για την σήραγγα Μακρυκάμπου (Σ2) οι τεχνικογεωλογικές συνθήκες είναι παρόμοιες με αυτές την σήραγγας Σ1. Ωστόσο, η κλίση της στρώσης είναι ελαφρώς μεγαλύτερη και σταθερή στην έκταση της χάραξης, ενώ στο στόμιο εξόδου παρατηρούνται σημαντικού πάχους αποθέσεις υλικών παλαιών και νέων κατολισθήσεων. Στην χάραξη εντοπίζονται ακόμη δύο συνιζηματογενή δευτερογενή ρήγματα, τα οποία όμως δεν επηρεάζουν τον κερματισμό του πετρώματος ιδιαίτερα, καθώς δεν παρουσιάζουν τους συμβατικούς χαρακτήρες των ρηξιγενών ζωνών όπως η ζώνη μυλωνιτίωσης και η μεγάλη κατοπτρική επιφάνεια με γράμμωση ολίσθησης.

Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες για την σήραγγα Σ2 είναι, συνεπώς, τρεις και ταυτίζονται με α) το στόμιο εξόδου, β) την υπόγεια διάνοιξη και γ) το στόμιο εξόδου.

Παρακάτω δίνονται οι τεχνικογεωλογικές ενότητες ανά σήραγγα σε μορφή πίνακα και σχηματικά.

Πίνακας . Τεχνικογεωλογικές ενότητες σήραγγας Σ1

T.E	Θέση (Χ.Θ)	GSI	σ_{ci} (MPa)	mi	Μολασσικός τύπος	Περιγραφή
TG1	11+287 - 11+326 (ΣΤ. ΕΙΣΟΔΟΥ) 11+386 – 11+419 (ΣΤ.ΕΞΟΔΟΥ)	45 - 55	58	18	M3	Γκρίζου έως τεφρού χρώματος εναλλαγές ηφαιστιακών λατυποπαγών (ρυολιθικής σύστασης) και πυροκλαστικών ροών τέφρας (ιγκνιμπρίτης). Μέτρια έως ελαφρά αποσαθρωμένος σχηματισμός .Μέτριας έως καλής ποιότητας κατά RQD βραχώμαζα , υψηλής αντοχής .
TG2	11+326 – 11+386	65- 75	58	18	M1	Γκρίζου έως τεφρού χρώματος εναλλαγές ηφαιστιακών λατυποπαγών (ρυολιθικής σύστασης) και πυροκλαστικών ροών τέφρας (ιγκνιμπρίτης). Υγιής έως ελαφρά αποσαθρωμένος σχηματισμός . Καλής έως πολύ καλής ποιότητας βραχώμαζα , υψηλής αντοχής.



Εικόνα .Τεχνικογεωλογικές ενότητες Σ1-σχηματική απεικόνιση

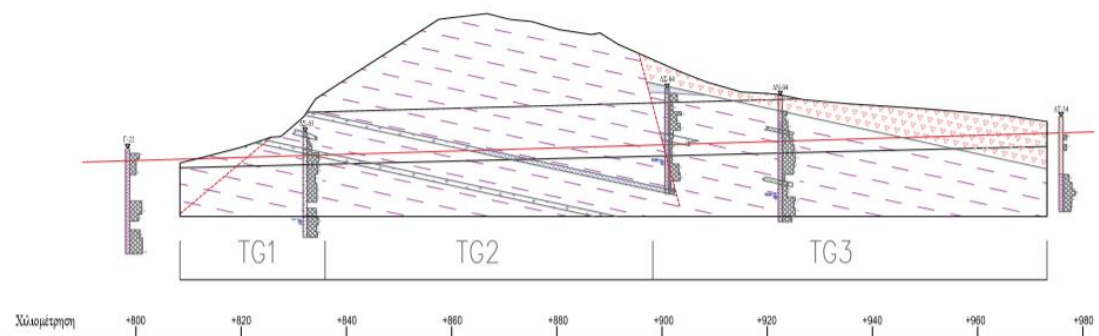
Πίνακας .Τεχνικογεωλογικές ενότητες σήραγγας Σ2

T.E	Θέση (X.Θ)	GSI	σci (MPa)	mi	Μολασσικός τύπος	Περιγραφή
TG1	12+813 - 12+838 (ΣΤΟΜΙΟ ΕΙΣΟΔΟΥ)	45 -55	58	18	M3	Γκρίζου έως τεφρού χρώματος εναλλαγές ηφαιστιακών λατυποπαγών (ρυολιθικής σύστασης) και πυροκλαστικών ροών τέφρας (ιγκνιμπρίτης). Μέτρια έως ελαφρά αποσαθρωμένος σηματισμός .Μέτριας έως καλής ποιότητας κατά RQD βραχώμαζα , υψηλής αντοχής .
TG2	12+838 - 12+ 898	65-75	58	18	M1	Γκρίζου έως τεφρού χρώματος εναλλαγές ηφαιστιακών λατυποπαγών (ρυολιθικής σύστασης) και πυροκλαστικών ροών τέφρας (ιγκνιμπρίτης). Υγής έως ελαφρά αποσαθρωμένος σηματισμός . Καλής έως πολύ καλής ποιότητας βραχώμαζα , υψηλής αντοχής.
TG3	12+898 - 12 +973 (ΤΜΗΜΑ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	45 -55	58	18	M3	Γκρίζου έως τεφρού χρώματος εναλλαγές ηφαιστιακών λατυποπαγών (ρυολιθικής σύστασης) και πυροκλαστικών ροών

	ΚΑΙ ΣΤΟΜΙΟ ΕΞΟΔΟΥ)					τέφρας (ιγκνιμπρίτης). Μέτρια έως ελαφρά αποσαθρωμένος σχηματισμός .Μέτριας έως καλής ποιότητας κατά RQD βραχώμαζα , υψηλής αντοχής . Η μολασσική σειρά υπόκειται των τεταρτογενών υλικών πρόσφατων και παλαιότερων κατολισθήσεων στα οποία είναι πιθανή η εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων .
--	--------------------------	--	--	--	--	--

NA

ΒΔ



Εικόνα .Τεχνικογεωλογικές ενότητες Σ2 -σχηματική απεικόνιση

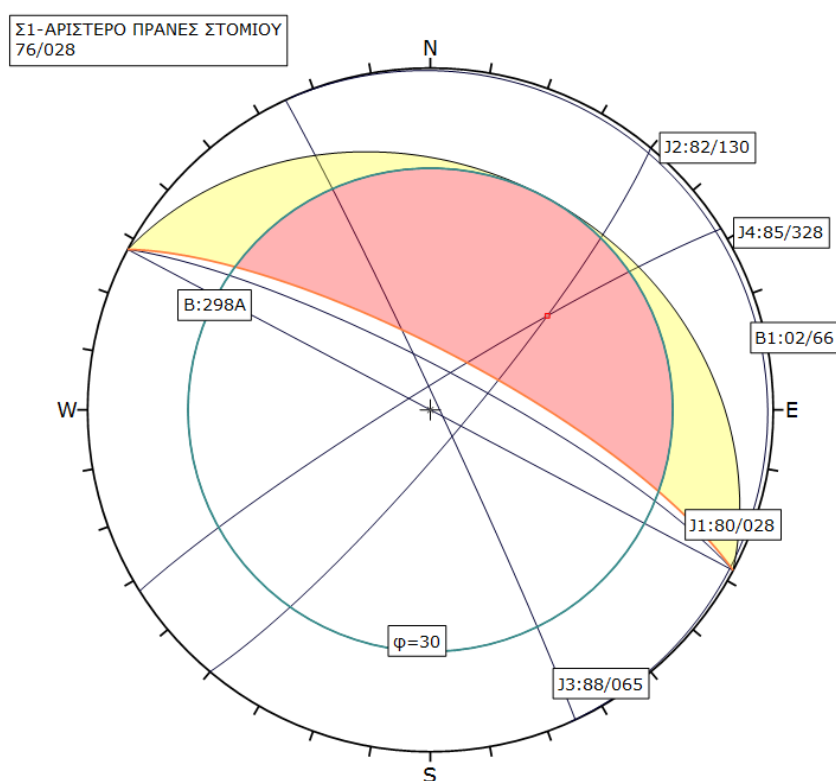
4.4. Μικροτεκτονική αξιολόγηση –Δυνητικές ολισθήσεις

Ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο ρόλος των τεκτονικών και μη ασυνεχειών του εκάστοτε σχηματισμού, ως προς την γενική συμπεριφορά της βραχύμαζας και την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων. Προκειμένου να εκτιμηθεί η συμπεριφορά τόσο των ασυνεχειών όσο και της βραχύμαζας, απαιτείται η διεξοδική μελέτη των χαρακτηριστικών των ασυνεχειών (γεωμετρία, εμμόνη, απόσταση, προσανατολισμός, τραχύτητα, υλικό πλήρωσης), καθώς και η ακριβής τεχνική περιγραφή τους. Συνεπώς, για τα μελετητικά στάδια της κατασκευής σήραγγα κρίνεται απαραίτητη η διεξαγωγή μικροτεκτονικής ανάλυσης και η σύνταξη τεκτονικών διαγραμμάτων με την μορφή στερεοδιαγραμμάτων τύπου Schmidt.

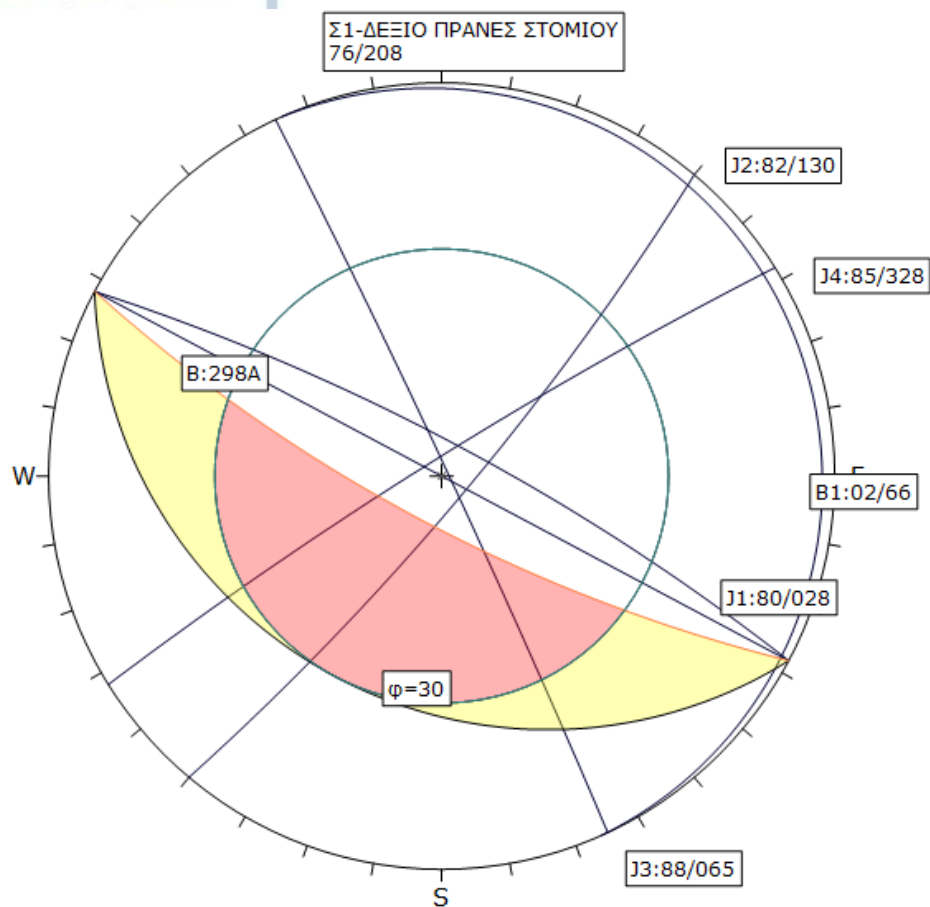
Συγκεκριμένα, το γεωερευνητικό πρόγραμμα της διάνοιξης των εξεταζόμενων σηράγγων προέβλεπε 100 μετρήσεις ασυνεχειών (κλίση, διεύθυνση κλίσης) και την αντίστοιχη περιγραφή των φυσικών χαρακτηριστικών τους. Τα αποτελέσματα της μικροτεκτονικής ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν για την σύνταξη δύο τεκτονικών διαγραμμάτων για κάθε μία σήραγγα εντός των μολασσικών τόφων (mo.it), για γωνία τριβής $\phi = 30^\circ$ και γωνία πρανών ελέγχου ίση με 76° .

Σήραγγα Συήνης (Σ1):

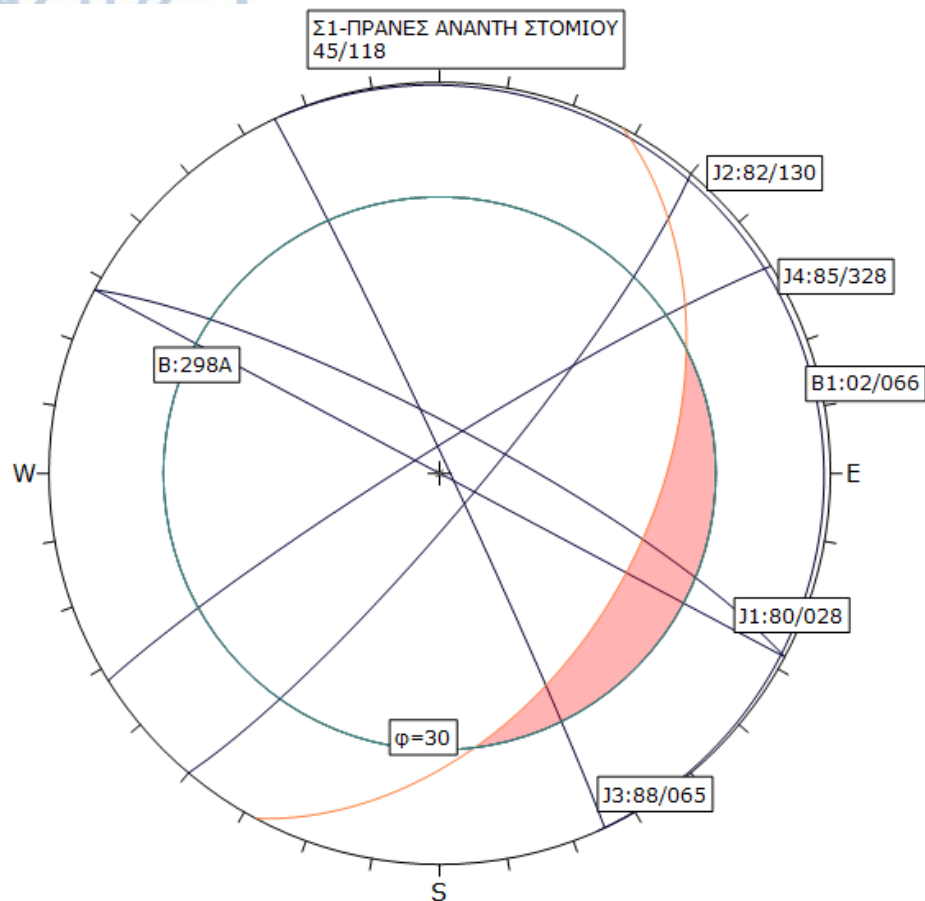
- Πρανή στομίων



Εικόνα 25. Τεκτονικό διάγραμμα ελέγχου δυνητικών ολισθήσεων για τα αριστερά πρανή ελέγχου στα στόμια της σήραγγας Σ1



Εικόνα 26. . Τεκτονικό διάγραμμα ελέγχου δυνητικών ολισθήσεων για τα δεξιά πρανή ελέγχου στα στόμια της σήραγγας Σ1

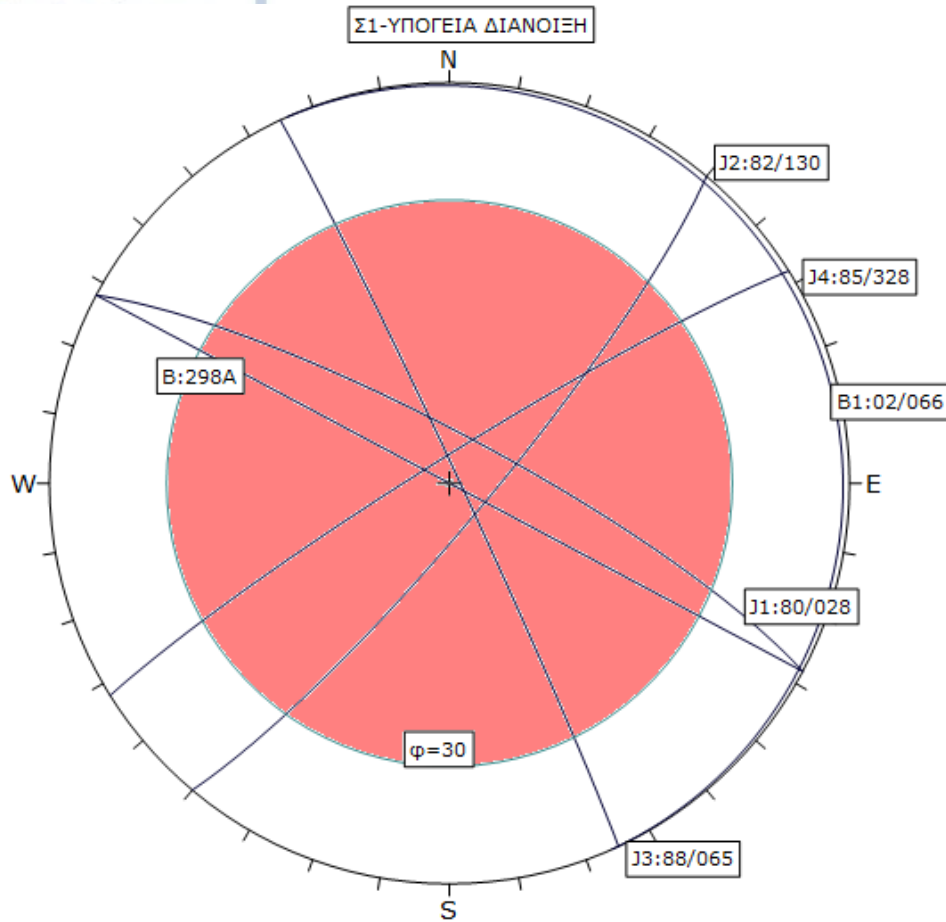


Εικόνα 27. . Τεκτονικό διάγραμμα ελέγχου δυνητικών ολισθήσεων για τα πρανή ελέγχου ανάντη των στομίων της σήραγγας Σ1

Σ1	Δυνητικές ολισθήσεις
Πρανές ανάντη	Ανατροπή κατά μήκος της J4(85/328)
Αριστερό πρανές	Σφηνοειδής αποκόλληση στην τομή των J4(85/328) και J2(82/130) Επίπεδη ολίσθηση (οριακά) κατά μήκος της J3(88/065)
Δεξιό πρανές	Ανατροπή κατά μήκος της J1(80/028)

Σε τμήματα ελέγχων ,στο στόμιο της σήραγγας βρέθηκε ότι πληρούνται τα γεωμετρικά κριτήρια δυνητικής εκδήλωσης σφηνοειδών ολισθήσεων , ανατροπών και οριακά ορισμένων επίπεδων ολισθήσεων. Οι ανησυχητικές δυνητικές αστοχίες περιορίζονται κυρίως στο αριστερό πρανές, ενώ οι συνθήκες είναι σε γενικές γραμμές ευνοϊκές για το δεξιό και μετωπικό πρανές.

- Υπόγεια εκσκαφή



Εικόνα 28. Τεκτονικό διάγραμμα ελέγχου δυνητικών ολισθήσεων στο τμήμα της υπόγειας εκσκαφής της σήραγγας Σ1

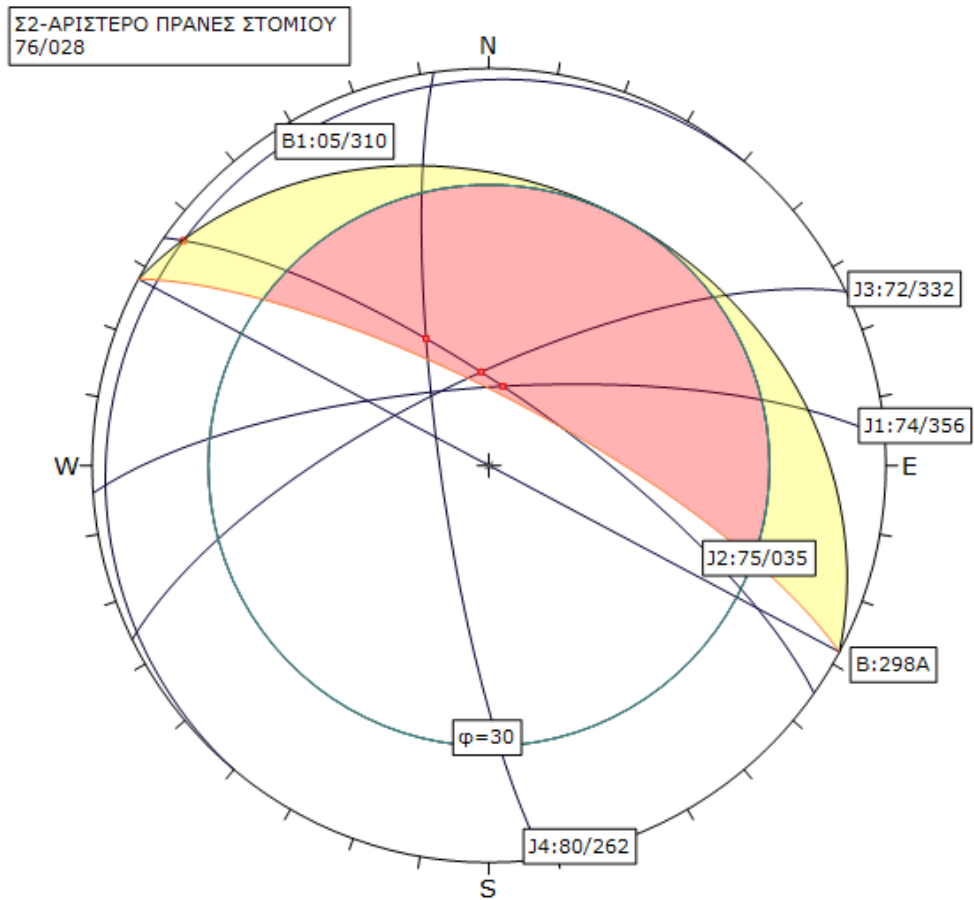
Δυνητικές ολισθήσεις Υπόγειας Εκσκαφής Σ1
Σφηνοειδείς αποκόλλησεις στις τομές των ζευγών : J1(80/028) και J2(82/130) , J3(88/065) και J2(82/130) , J1(80/028) και J3(88/065), J1(80/028) και J4(85/322) , J4(85/322) και J3(88/065)

Η δομή του σχηματισμού (πολύ τεμαχώδης), σε συνδυασμό με τον δυσμενή προσανατολισμό των συνεχειών ,ευνοεί τον σχηματισμό πλήθους σφηνών ολίσθησης ή και βαρύτητας .

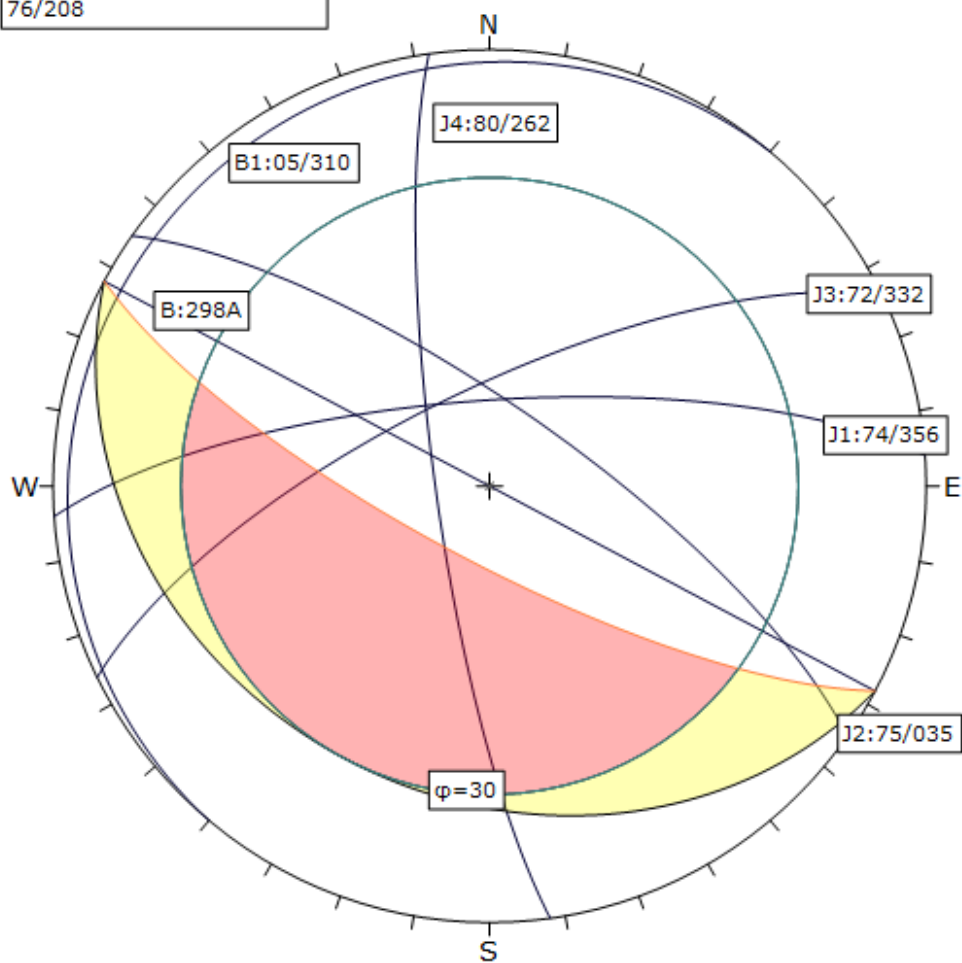
Ο όγκος ,ωστόσο , των σφηνών αναμένεται να είναι σχετικά μικρός ,όπως υπολογίστηκε βάση των διαστάσεων των ανησυχητικών ασυνεχειών . Γενικά , καθώς οι συνθήκες βελτιώνονται σε βάθος , οι ασυνέχειες αναμένονται λιγότερο πυκνές και ανοικτές . Συνεπώς , το ίδιο ισχύει και για την συχνότητα εκδήλωσης των σφηνοειδών αποκολλήσεων ,καθώς και του μεγέθους τους.

Σήραγγα Μακρύκαμπου (Σ2):

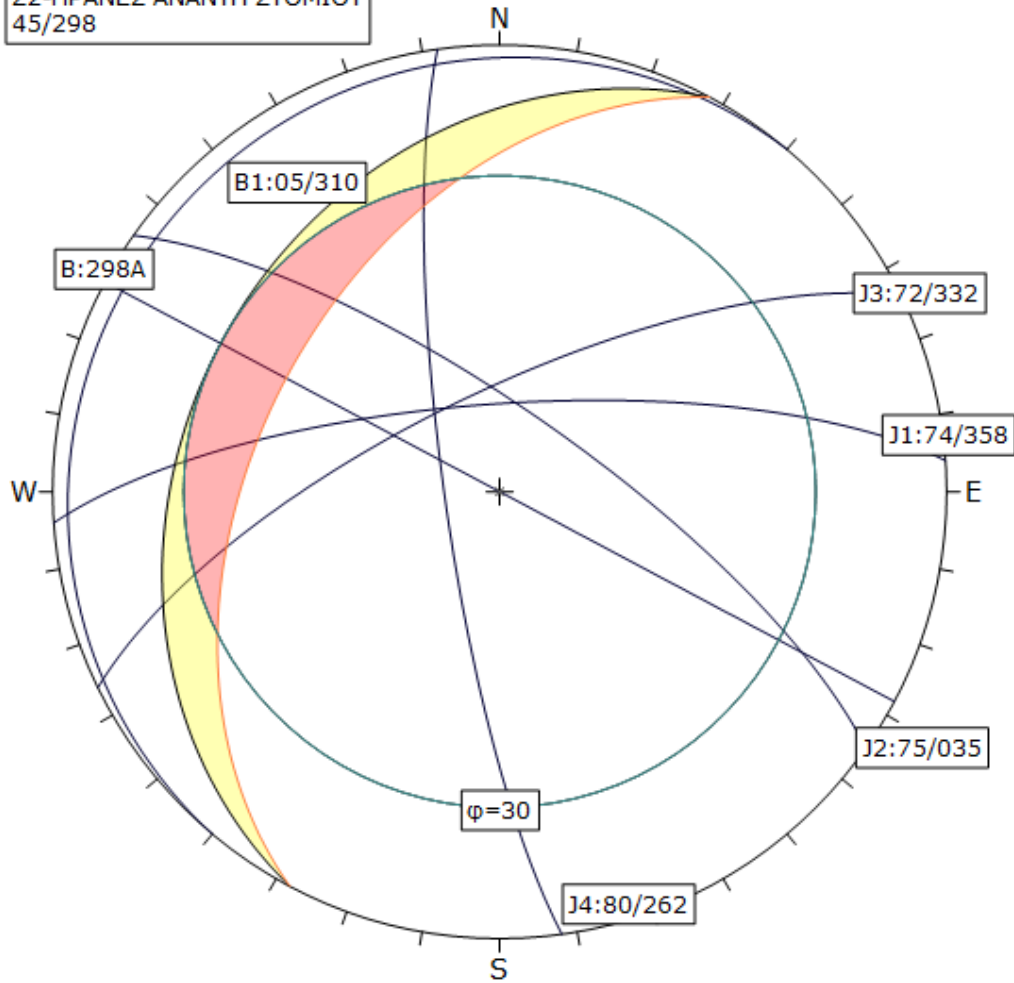
• Α. Πρανή στομίων



Εικόνα 29. Τεκτονικό διάγραμμα ελέγχου δυνητικών ολισθήσεων για τα αριστερά πρανή ελέγχου στα στόμια της σήραγγας Σ2



Εικόνα 30. . Τεκτονικό διάγραμμα ελέγχου δυνητικών ολισθήσεων για τα δεξιά πρανή ελέγχου στα στόμια της σήραγγας Σ2

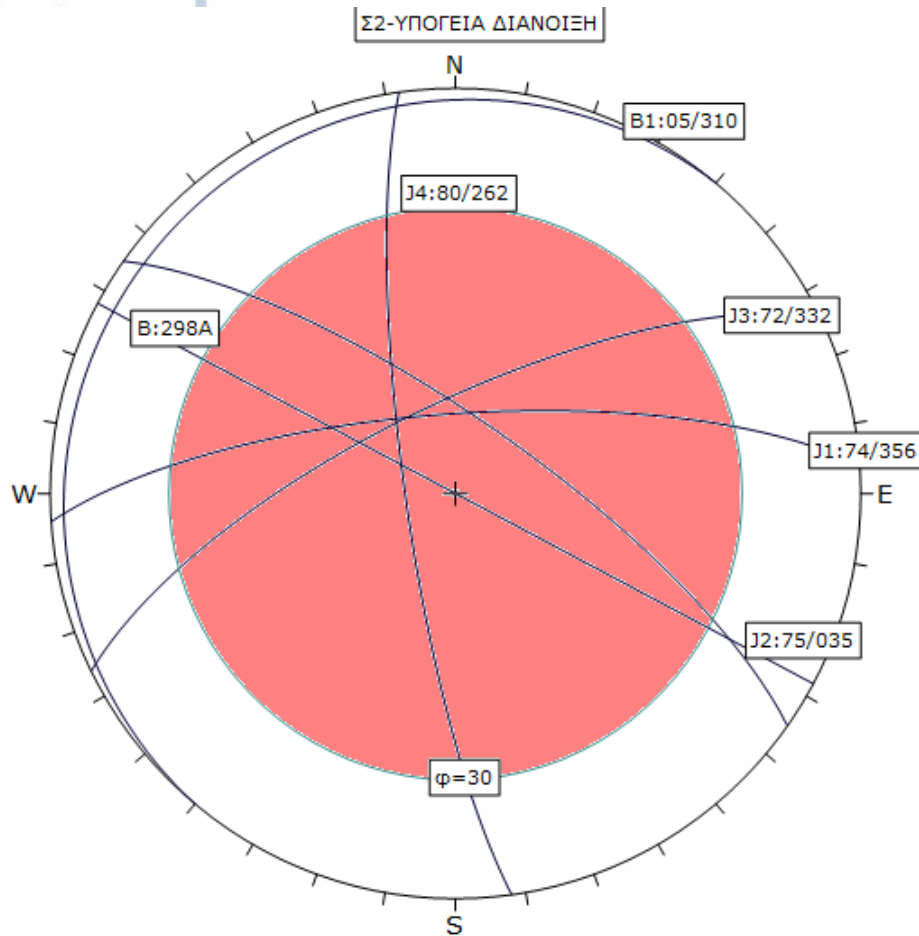


Εικόνα 31. . Τεκτονικό διάγραμμα ελέγχου δυνητικών ολισθήσεων για τα πρανή ελέγχου ανάντη των στομίων της σήραγγας Σ2

Σ2	Δυνητικές ολισθήσεις
Πρανές ανάντη	Επίπεδη ολίσθηση κατά μήκος των J4(80/262) και J3(72/332) (οριακά)
Αριστερό πρανές	Ανατροπή κατά μήκος της J4(80/262) (οριακά)
Δεξιό πρανές	Επίπεδη ολίσθηση κατά μήκος της J4(80/262) (οριακά)

Τα τρία πρανή ελέγχου , της σήραγγας Σ2, εμφανίζονται ικανοποιητικά ευσταθή. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών δίνουν μόνο οριακά πιθανή εκδήλωση.

- Υπόγεια εκσκαφή



Εικόνα 32. Τεκτονικό διάγραμμα ελέγχου δυνητικών ολισθήσεων στο τμήμα της υπόγειας εκσκαφής της σήραγγας Σ2

Δυνητικές ολισθήσεις Υπόγειας Εκσκαφής Σ2
Σφηνοειδείς αποκόλλησεις στις τομές των ζευγών : J1(80/028) και J2(82/130) , J1(80/028) και J3(88/065) , J4(85/322) και J3(88/065), J4(85/322) και J1(80/028) , J3(88/065) και J2(82/130) , J4(85/322) και J2(82/130)

Οι συνθήκες είναι παρόμοιες με αυτές του αντίστοιχου τμήματος στην σήραγγα Σ1. Αναμένονται σχετικά συχνές σφήνες αποκόλλησης μικρού μεγέθους , οι οποίες εμφανίζονται με μικρότερη συχνότητα σε βάθος.

Κύριος μηχανισμός εκκίνησης (triggering factor) των κατολισθητικών φαινομένων για την περιοχή , καθώς ο σεισμικός παράγοντας είναι περιορισμένος , θεωρείται η βροχόπτωση. Όπως προκύπτει από τα βροχομετρικά δεδομένα της Ε.Μ.Υ. , η υγρή περίοδος ξεκινάει τον Σεπτέμβριο και συνεχίζεται έως και τον Μάρτιο . Οι

συχνότερες – εντονότερες βροχοπτώσεις εντοπίζονται τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο, με μέσα ύψη βροχής 70 mm και 95 mm, αντίστοιχα.

4.5 Τύποι συμπεριφοράς βραχώμαζας – Ταξινόμηση TBC

Η εκτίμηση της συμπεριφοράς της βραχώμαζας γίνεται με σκοπό τον προσδιορισμό των αναμενόμενων μηχανισμών αστοχίας. Η εκτίμηση αυτή πραγματοποιήθηκε με το διάγραμμα TBC (B.Μαρίνος, 2012), και είναι βασισμένη στην δομή του σχηματισμού όπως προκύπτει από το GSI.

Οι κύριοι παράμετροι για να προβλεφθεί η τεχνικογεωλογική συμπεριφορά σύμφωνα με την συγκεκριμένη ταξινόμηση είναι α) η δομή της βραχώμαζας (με βάση το GSI), β) το πάχος των υπερκειμένων σχηματισμών και γ) η αντοχή του άρρηκτου βράχου (σ_{ci}).

Το πάχος των υπερκειμένων σχηματισμών παραμένει σταθερά μικρό και για τις τρεις τεχνικογεωλογικές ενότητες, ενώ η αντοχή του άρρηκτου βράχου (58 MPa) είναι μεγαλύτερη από το ενδεικτικό όριο των 15 MPa.

Για τις τεχνικογεωλογικές ενότητες TG1-TG3, δηλαδή τα στόμια των δύο σιηράγγων, η δομή χαρακτηρίζεται ως τεμαχώδης – αδιατάρακτη και στρωματώδης. Τα τεμάχια που αποτελούν την βραχώμαζα είναι σχεδόν κυβικά, διαμορφώνονται από τις τομές τριών εκ των τεσσάρων οικογενειών των ασυνεχειών και παρουσιάζουν πολύ καλό αλληλοκλείδωμα μεταξύ τους. Η ποιότητα των ασυνεχειών θεωρείται καλή χωρίς την παρουσία υλικού πλήρωσης. Σύμφωνα με την δομή σε συνδυασμό με το υψηλό σ_{ci} και το μικρό πάχος των υπερκειμένων η βραχώμαζα κατατάσσεται στην κατηγορία 2 τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς. Ο αναμενόμενος μηχανισμός αστοχίας είναι αυτός της σφήνας ολίσθησης / βαρύτητας (Wg).

Στα υπόγεια τμήματα των δύο διανοίξεων η δομή κυμαίνεται μεταξύ της τεμαχώδους – αδιατάρακτης, στρωματώδους και της άρρηκτης. Η εμμονή των ασυνεχειών περιορίζεται με το βάθος και η βραχώμαζα προσεγγίζει τον άρρηκτο βράχο, διατηρώντας όμως την στρώση της. Η ποιότητα των ασυνεχειών χαρακτηρίζεται και σε αυτήν την περίπτωση καλή. Συνεπώς ο τύπος συμπεριφοράς αντιστοιχεί στην κατηγορία 6 και κατά τόπους στην κατηγορία 2, δηλαδή αναμένεται κυρίως η πτώση ή ολίσθηση σφηνών (Wg) και σε ορισμένες περιπτώσεις έως και ευσταθής διατομή (St).

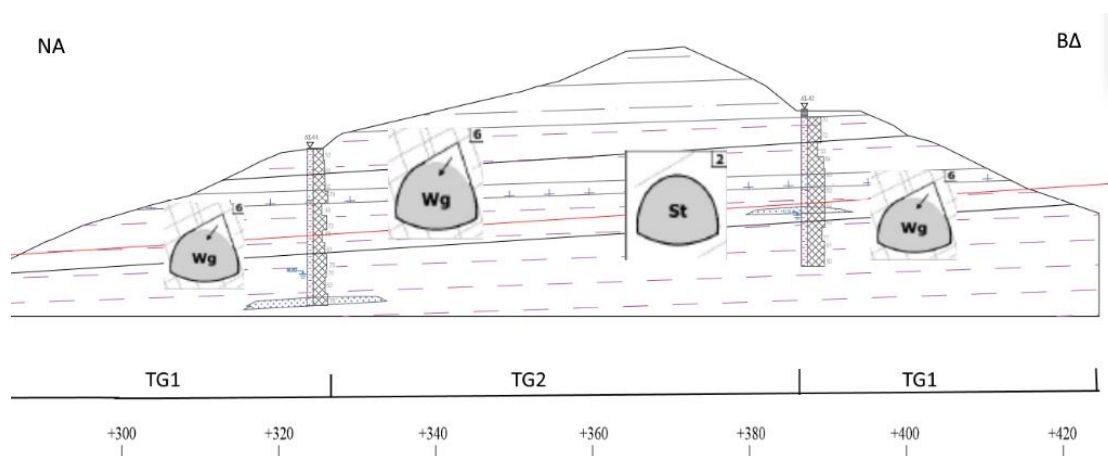
Οι κατηγορίες τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς όπως αναφέρθηκαν παραπάνω προβάλλονται στο διάγραμμα TBC (B.Μαρίνος, 2012) παρακάτω:

TUNNELL 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_c) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa Low σ_c High σ_c		INTACT ROCK STRENGTH (σ_c) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa Low σ_c High σ_c		
 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			
 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			
 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			

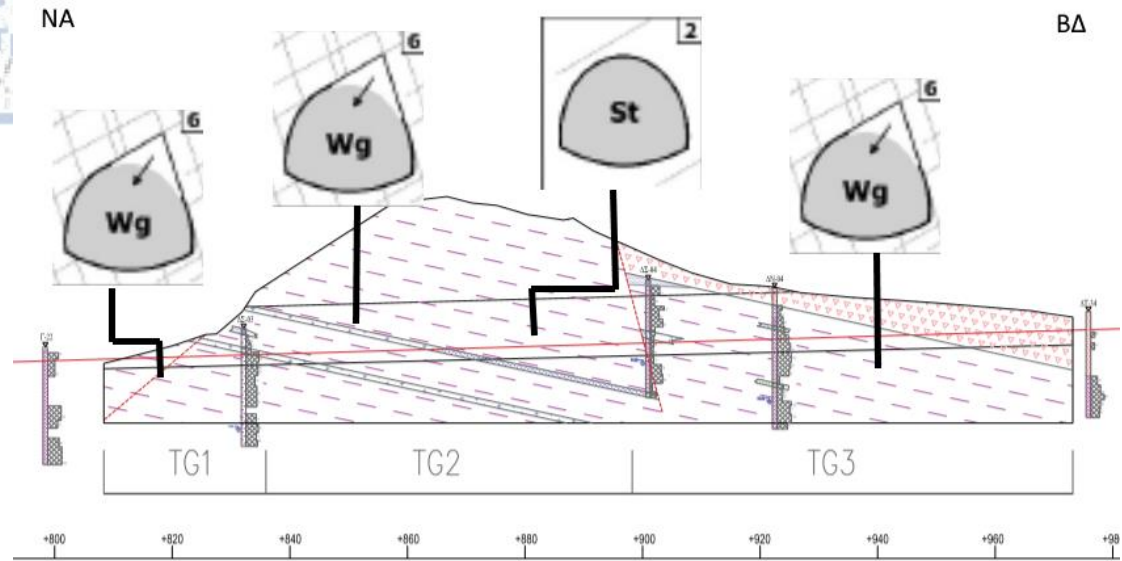
Εικόνα 33. Τεχνικογεωλογική συμπεριφορά για το μολασσικό υπόβαθρο στα στόμια εισόδου – εξόδου (TG1 -TG3), διάγραμμα TBC(B.Μαρίνος ,2012)

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***)				OVERBURDEN (H) LIMIT: ~150 m
	Small overburden		Large overburden		
	INTACT ROCK STRENGTH (σ_c) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa		INTACT ROCK STRENGTH (σ_c) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa		
	Low σ_c	High σ_c	Low σ_c	High σ_c	
 INTACT OR MASSIVE Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	 1 St	 2 St	 3 Sh	 4 St	
 BLOCKY Well interlocked undisturbed rock mass consisting of blocks formed by three orthogonal intersecting discontinuity sets	 5 Wg	 6 Wg	 7 Sh-Wg	 8 St-Wg	
 VERY BLOCKY Interlocked, partially disturbed rock mass with multi-faceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets	 9 Wg-Ch Sh	 10 Wg-Ch	 11 Sh	 12 Wg	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 Ch-Wg Sh	 14 Ch-Wg	 15 S(Sh-Sq) Ch	 16 Ch-Sh	
 DISINTEGRATED Poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	 17 Sh-Rv	 18 Rv	 19 Sq-Ch	 20 Ch-Sh	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 scale)	 21 Sh-Ch	 22 Sh-Ch	 23 Sq	 24 Sq	

Εικόνα 34. Τεχνικογεωλογική συμπεριφορά για το μολασσικό υπόβαθρο στις περιοχές υπόγειας διάνοιξης (TG2), διάγραμμα TBC(B.Μαρίνος,2012)



Εικόνα 35. Τύποι συμπεριφοράς βραχώμαζας ανά τεχνικογεωλογική ενότητα για την Σ1



Εικόνα 36.Τ.υποι συμπεριφοράς βραχώμαζας ανά τεχνικογεωλογική ενότητα για την Σ2

5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Οι οδικές σήραγγες Σ1 και Σ2 κατασκευάστηκαν σε λοφώδες έως ορεινό ανάγλυφο εντός της μολασσικής σειράς της μάζας της Ροδόπης. Το μολασσικό υπόβαθρο αποτελείται κυρίως από ηφαιστιακά λατυποπαγή και τόφφοι ,και τεφροί ιλυόλιθοι-ψαμμίτες ,με πετρογραφική σύσταση ρυολιθική και ιγκνιμβριτική.

Η κύρια τεχνικογεωλογική πρόκληση ,ωστόσο, εντοπίζεται στην παρουσία υλικών επαναδραστηριοποίησης παλαιών και νέων κατολισθήσεων ,καθώς τα υλικά αυτά παρουσιάζουν κοκκώδη χαρακτήρα και φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά και εντοπίζονται αποκλειστικά στο στόμιο εξόδου της σήραγγας Μακρυκάμπου (Σ2).

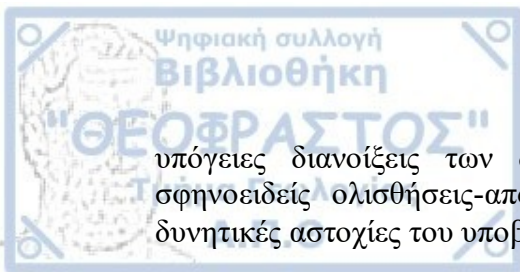
Η διάνοιξη συνεπώς πραγματοποιήθηκε με τις συμβατικές μεθόδους διάνοιξης και την εφαρμογή Cut and Cover στις θέσεις των στομιών ,με εξαίρεση το στόμιο εξόδου της σήραγγας Σ2 όπου η παρουσία των υλικών παλαιών και πρόσφατων κατολισθήσεων δημιουργεί δυσχερείς συνθήκες και συνεπώς η διάνοιξη πραγματοποιήθηκε με την μεθοδολογία Cover and Cut.

Σημαντική παράμετρος για την αξιολόγηση των μηχανικών χαρακτηριστικών των δύο σηράγγων αποτέλεσε ο δείκτης RQD [Deere et al. 1988 and Deere 1989]. Γενικά και στις δύο σήραγγες ο δείκτης παίρνει τιμές μεταξύ του 0 και 100 ,παρουσιάζοντας όμως καλές μέσες τιμές (>70). Μεταξύ των δύο πετρογραφικών τύπων που κυριαρχούν στο μολασσικό υπόβαθρο (Ρυόλιθος και Ιγκνιμβρίτης) φαίνεται ότι οι ρυολιθικές ενστρώσεις οι οποίες εμφανίζονται σε μικρότερη έκταση , παρουσιάζουν υψηλότερους δείκτες ποιότητας από τον Ιγκνιμβρίτη.

Η ταξινόμηση των σχηματισμών κατά μήκος των σηράγγων Σ1 και Σ2 πραγματοποιήθηκε με την χρήση του δείκτη GSI για σχάσιμη και περιορισμένη μολαάσσα [Hoek et al.2004] . Για τις δύο σήραγγες (για $\sigma_{ci} = 58 \text{ MPa}$ και $m_i=18$) ο δείκτης GSI κυμαίνεται από 45 έως 75 . Οι κύρια διαφοροποίηση ως προς τον GSI ανάγεται στις περιοχές των στομιών όπου ο δείκτης κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 45-60 ,και στις περιοχές των υπόγειων διανοίξεων όπου ο δείκτης βρίσκεται στο εύρος τιμών 65-75 με εμφανώς καλύτερα μηχανικά χαρακτηριστικά. Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται στο φαινόμενο της σχάσης της μολάσσας. Καθώς η ποιότητα των ασυνεχειών συνεχίζει να είναι καλή και σε μεγαλύτερα βάθη , ο GSI αυξάνει καθώς η δομή προσομοιάζει ολοένα και περισσότερο την δομή του άρρηκτου βράχου.

Βάσει των κοινών μηχανικών χαρακτηριστικών και κυρίως του δείκτη GSI , πραγματοποιείται η ταξινόμηση των σχηματισμών σε τεχνικογεωλογικές ενότητες. Οι ενότητες αυτές είναι δύο για την σήραγγα Σ1 και ταυτίζονται με α) τα στόμια εισόδου –εξόδου και β) την υπόγεια διάνοιξη. Για την σήραγγα Σ2 ,αντίστοιχα, οι τεχνικογεωλογικές ενότητες αντιστοιχούν α) στο στόμιο εξόδου ,β) στην υπόγεια διάνοιξη και γ) στο στόμιο εξόδου. Ο καθορισμός τρίτης τεχνικογεωλογικής ενότητας για την σήραγγα Σ2 πραγματοποιείται λόγω της ιδιαιτερότητας που προσδίδουν οι μεγάλες εμφανίσεις των υλικών παλαιών και πρόσφατων κατολισθήσεων και οι οποίες επιβάλλουν διαφορετική μεταχείριση της ενότητας.

Οι δυνητικές αστοχίες που προκύπτουν κατά μήκος των διανοίξεων, όπως προκύπτουν από την μικροτεκτονική αξιολόγηση (τεκτονικά διαγράμματα) , οφείλονται στην συμβολή τεσσάρων οικογενειών ασυνεχειών (J1-J2) . Για τις



υπόγειες διανοίξεις των δύο σηράγγων οι δυνητικές αστοχίες είναι κυρίως σφήνοειδείς ολίσθησεις-αποκολλήσεις , ενώ για τις περιοχές των στομιών οι δυνητικές αστοχίες του υποβάθρου είναι σφήνες και ανατροπές.

Σύμφωνα με την δομή της βραχώμαζας (με βάση το GSI) , το πάχος των υπερκειμένων σχηματισμών και την αντοχή του άρρηκτου βράχου (σ_{ci}) εκτιμάται η συμπεριφορά της βραχώμαζας –TBC (B.Μαρίνος , 2012) ανά τεχνικογεωλογική ενότητα.. Για μικρό πάχος υπερκειμένων και $\sigma_{ci}=58$ MPa , η τεχνικογεωλογική συμπεριφορά του υποβάθρου διαφέρει ανά τεχνικογεωλογική ενότητα λόγω του διαφορετικού GSI . Για τις τεχνικογεωλογικές ενότητες TG1-TG3 ο αναμενόμενος μηχανισμός αστοχίας είναι αυτός της σφήνας ολίσθησης / βαρύτητας (Wg). Για την ενότητα TG2 (υπόγεια διάνοιξη) ο μηχανισμός αστοχίας κυμαίνεται από σφήνοειδείς ολίσθησεις-αποκολλήσεις (Wg) έως ευσταθής διατομή (St).

Τα μέτρα αντιστήριξης που απαιτούνται για τις περιοχές των υπόγειων διανοίξεων είναι τα συμβατικά (πλαίσια ,αγκύρια ,εκτοξευμένο σκυρόδεμα), καθώς η διατομή είναι κατά τόπου σταθερή με κύριο μηχανισμό αστοχίας αυτόν της σφήνας ολίσθησης/βαρύτητας.

Για τις περιοχές των στομιών και τα πρώτα μέτρα της υπόγειας διάνοιξης ,λόγω χαμηλών υπερκειμένων , απαιτούνται σχετικά αυξημένα μέτρα (π.χ. αγκύρια προπορείας) .

HOEK E. & BROWN E.T (2002), Underground Excavation in Rock ,London ,Inst Min.Metall. Spon Press Great Britain.

BELL F.G., CRIPPS J.C., CULSHAW M.G.,2007. A review of the engineering behavior of soils and rocks with respect to groundwater

HUDSON J. A., HARISSON J.P. (2000), Engineering Rock Mechanics (An Introduction to the Principles) Pergamon UK.

ΠΑΠΑΖΑΧΟΣ Β. ΚΑΙ ΠΑΠΑΖΑΧΟΥ Κ.(1989). Οι σεισμοί της Ελλάδας , Εκδόσεις Ζήτη.

ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Δ.Ι.,(1998) Γεωλογία της Ελλάδος , Εκδόσεις Επτάλοφος

ΙΓΜΕ(1989).Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο ΠΟΛΥΓΥΡΟΣ, κλιμ.: 1:50.000

ΙΓΜΕ(1989).Σεισμοτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας , κλιμ.: 1.50.000

PAPANIKOLAOU D.J.,PANAGOPOULOS A., (1981). On the structural style of Southern Rhodope.

MARINOS V., "Tunnel Behaviour and Support Associated with the Weak Rock Masses of Flysch." *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, vol. 6, no. 3, June 2014, pp. 227–239

GKIOUKIS I.,PLIAKAS F.K.,(2017)'Hydrogeological assessment of groundwater degradation at the eastern Nestos river delta' ,N.E. Greece.

MARINOS V., "NEW PROPOSED GSI CLASSIFICATION CHARTS FOR WEAK OR COMPLEX ROCK MASSES." *Bulletin of the Geological Society of Greece*, vol. 43, no. 3, 24 Jan. 2017, p. 1248.

NIEDBALSKI ,ZBIGNIEW , ET AL.,"Application of the NATM Method in the Road Tunneling Works in Difficult Geological Conditions – The Carpathian Flysch." *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 74, Apr. 2018

MARINOS V., et al., "Determining the Principles of Tunnel Support Based on the Engineering Geological Behaviour Types: Example of a Tunnel in Tectonically Disturbed Heterogeneous Rock in Serbia." *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 78, no. 4, 18 Apr. 2018, pp. 2887–2902

MOURATIDIS A., "The 'CutandCover' and 'CoverandCut' Techniques in Highway Engineering." *123doc.Org*, 2017

MARINOS, V. P. "Assessing Rock Mass Behaviour for Tunnelling." *Environmental & Engineering Geoscience*, vol. 18, no. 4, 23 Oct. 2012, pp. 327–341

MARINOS V., et al. "The Geological Strength Index: Applications and Limitations." *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 64, no. 1, 2 Feb. 2005, pp. 55–65

PAUL G., et al. "The Geological Strength Index (GSI): A Characterization Tool For Assessing Engineering Properties For Rock Masses; Proceedings Of The International Workshop On Rock Mass Classification In Underground Mining." *Cdc.Gov*, 2009

MARINOS P. et al. "Geological Strength Index (GSI). A Characterization Tool for Assessing Engineering Properties for Rock Masses." *Core.Ac.Uk*, 2019

YOU ,KWANGHO et al. "Risk Analysis for Determination of a Tunnel Support Pattern." *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 20, no. 5, Sept. 2005, pp. 479–486

KHATIK ,VITTHAL M.AND NANDI K., "A Generic Method for Rock Mass Classification." *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, vol. 10, no. 1, Feb. 2018, pp. 102–116

BERTUZZI ,ROBERT , et al. "Improving the GSI Hoek-Brown Criterion Relationships." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol. 89, Nov. 2016, pp. 185–199

LANE ,KENETH S."Tunnels and Underground Excavations | History, Methods, Uses, & Facts." *Encyclopædia Britannica*, 1 Aug. 2018

ΟΙΚΟΝΟΜΟΠΟΥΛΟΣ I., 'ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ', *Docplayer.Gr*, 2011

ΒΑΡΣΑΒΗΣ I.,(2012) 'Γεωλογία και τεχνικά έργα' ,Αθήνα

STRAIN, "Επιρροή Της Χαλάρωσης Της Βραχώμαζας Στη Διάνοιξη Σηράγγων. Effect of Strain Softening Behaviour of Rockmass on Tunnel Excavation - PDF." *Docplayer.Gr*, 2013

"Cut and Cover Tunnelling." *WSPglobal*, 2019, www.wsp.com/en-CA/services/cut-and-cover-tunnelling. Accessed 2 June 2019

ΑΛΕΞΙΑΔΟΥ Χ.,ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε. , (2014) , 'Οριστική γεωλογική μελέτη σηραγγες Σ1 & Σ2' ,Αθήνα

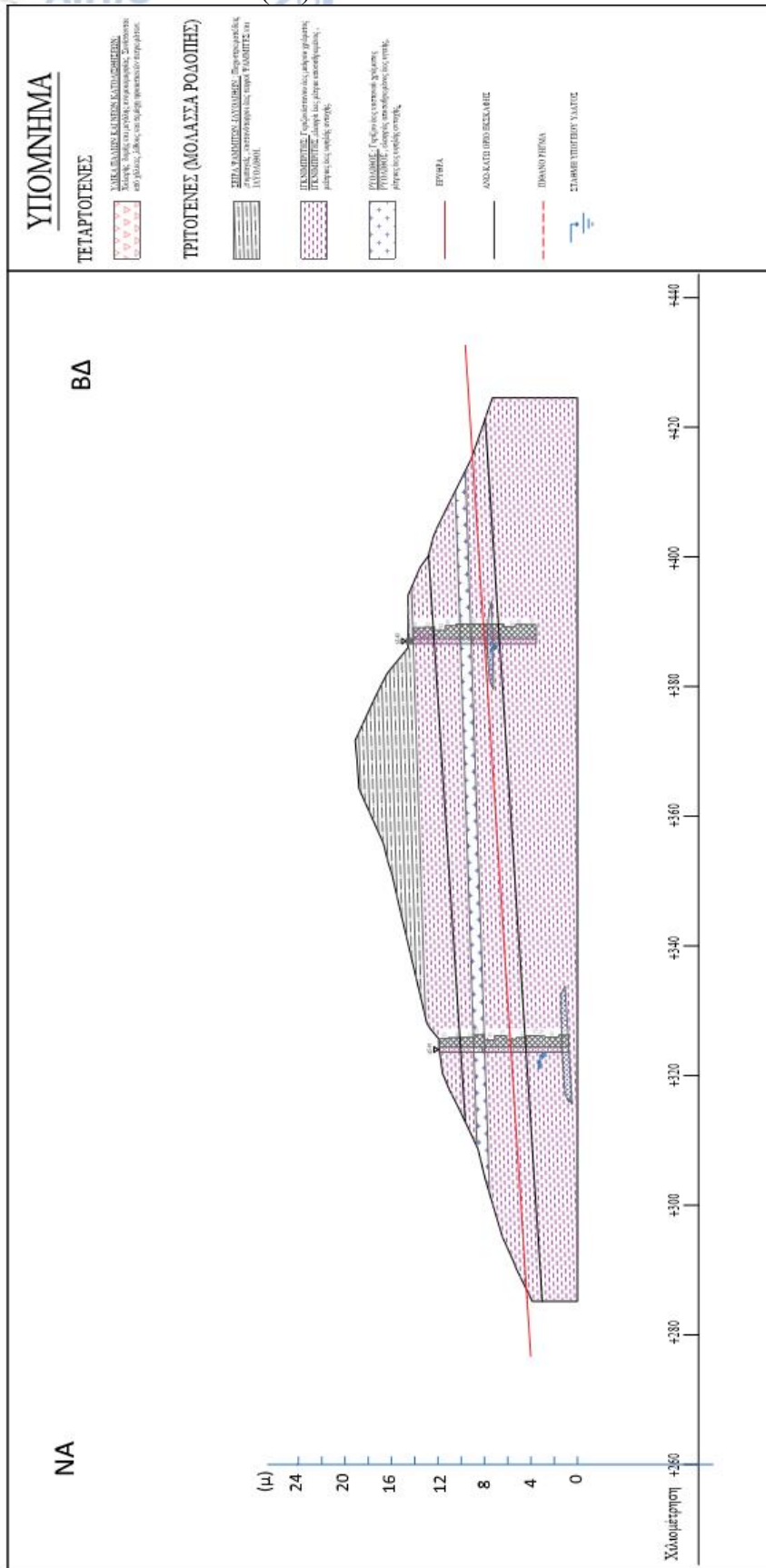
News, TBM. "Understanding the New Austrian Tunnel Method (NATM)." *Tunnel Business Magazine*, Tunnel Business Magazine, 5 Dec. 2018

ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ Β., 2011. Σημειώσεις του μεταπτυχιακού μαθήματος "Σχεδιασμός Υπογείων Έργων". Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΣΟΦΙΑΝΟΣ Α. I., 2010. Μέτρα Υποστήριξης Σηράγγων. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

HOEK E., 1983. Strength of jointed rock masses. *Geotechnique*, 33(3), pp. 187-223

HOEK E. & MARINOS P., 2000. GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. Melbourne, s.n., pp. 1422-1442.



ΣΗΡΑΓΓΑ ΜΑΚΡΥΚΑΜΠΟΥ (Σ2)

