



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΠΑΡΑΔΕΙΣΗΣ ΔΗΜΟΣΘΕΝΗΣ

Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ T2 ΤΩΝ ΤΕΜΠΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2017



ΠΑΡΑΔΕΙΣΗΣ ΔΗΜΟΣΘΕΝΗΣ

Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ T2 ΤΩΝ ΤΕΜΠΩΝ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού
Προγράμματος Σπουδών «Γεωλογία και Γεωπεριβάλλον» με ειδίκευση στην
«Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία»

Τομέας Γεωλογίας

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 16/2/2017

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Επικ. Καθηγητής, Μαρίνος Βασίλειος, Επιβλέπων

Καθηγητής, Χρηστάρας Βασίλειος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Αναπλ. Καθηγητής, Βουδούρης Κωνσταντίνος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής
Επιτροπής



© Παραδείσης Δημοσθένης, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ T2 ΤΩΝ ΤΕΜΠΩΝ

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 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 την συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



Στους γονείς μου



Πρόλογος

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, με ειδίκευση στην «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία». Επιβλέπων της διατριβής είναι ο Επίκουρος Καθηγητής κ. Μαρίνος Βασίλειος. Η τριμελής επιτροπή αποτελείται από τον κ. Μαρίνο Βασίλειο, τον Αναπληρωτή Καθηγητή Βουδούρη Κωνσταντίνο και τον Καθηγητή Χρηστάρα Βασίλειο.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Μαρίνο Βασίλειο, για τις ανεκτίμητες γνώσεις και συμβουλές που μου διαβίβασε καθώς και για το ενδιαφέρον και την υποστήριξη του σε όλους τους τομείς της προσπάθειας μου. Ακόμη, ευχαριστώ τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Βουδούρη Κωνσταντίνο και τον καθηγητή κ. Χρηστάρα Βασίλειο για την συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή και για τη βοήθεια που μου προσέφεραν.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στον καθηγητή κ. Κίλια Αδαμάντιο για τη βοήθεια και το υλικό που προσέφερε σχετικά με τη γενικότερη γεωλογία της περιοχής μελέτης.

Πολύ σημαντική ήταν η συνεισφορά του Υποψήφιου Διδάκτορα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου Φίλιππου Χόρτη στην παραχώρηση συμβουλών στο πλαίσιο της διατριβής και ιδιαίτερα στην εκμάθηση και κατανόηση του προγράμματος Phase2 v8.

Τέλος ευχαριστίες επιθυμώ να εκφράσω στην οικογένεια μου και σε όλους εκείνους που ήταν δίπλα μου αυτό το διάστημα και με στήριξαν ηθικά, ψυχολογικά, οικονομικά και προσωπικά.



Περίληψη

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία ασχολείται με την συγκριτική αξιολόγηση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών του σχεδιασμού και της κατασκευής της σήραγγας T2 των Τεμπών αλλά και την εξέταση της συμπεριφοράς πτωχής και ετερογενής βραχομάζας σε συμπιεστικό περιβάλλον. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την μελέτη και την κατασκευή της σήραγγας T2 όπως και στοιχεία από την βιβλιογραφία. Η προς μελέτη σήραγγα διαπερνά ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους και φυλλίτες με πτωχά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά. Αρχικά εξετάστηκε η γεωλογία της περιοχής σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης και συγκρίθηκε με αυτή που προέκυψε από τα δεδομένα κατασκευής της σήραγγας. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε προσέγγιση των σχηματισμών από τεχνικογεωλογική άποψη και κατασκευάστηκαν διακριτές τεχνικογεωλογικές ενότητες με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες της μελέτης. Ακολούθως εξετάστηκε η γενικότερη υδρογεωλογία της περιοχής σε σχέση με τη σήραγγα T2. Παράλληλα διερευνήθηκε η συμπεριφορά των διαφόρων τεχνικογεωλογικών ενοτήτων μέσα στην σήραγγα, σε σχέση με την εκτίμηση από το διάγραμμα εκτίμησης βραχομάζας (Tunnel Behaviour Chart, TBC) και από τις εκτιμήσεις με βάση τα στοιχεία της μελέτης. Επίσης εφαρμόστηκε το πρόγραμμα Unwedge για την εύρεση σφηνών με βάση συστήματα ασυνεχειών σε ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο, με τα στοιχεία της μελέτης και της αναδόχου κατά την κατασκευή. Τέλος χρησιμοποιήθηκε και το πρόγραμμα Phase2 για την πραγματοποίηση ανάστροφων αναλύσεων πάνω σε βραχομάζα με πολύ πτωχά χαρακτηριστικά όπως οι φυλλίτες, που παρουσίασαν τασικές αστοχίες κατά την κατασκευή της σήραγγας T2. Η πραγματοποίηση ανάστροφων αναλύσεων είχε ως σκοπό την προσέγγιση των τασικών αστοχιών που πραγματοποιήθηκαν αλλά και πως επηρεάζουν τις παραμορφώσεις οι εναλλαγές φυλλιτών και ανακρυσταλλωμένων ασβεστολίθων.

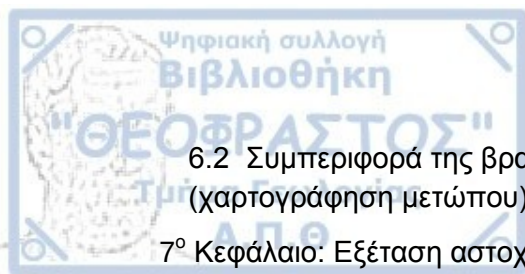


This dissertation is concerned with the benchmarking of the geotechnical conditions of the design and construction of Tempi's T2 tunnel and also the examination of the behavior of poor and heterogenous rockmass in compressive environment. There were used data from the research and the construction of the T2 tunnel, as well as elements from the bibliography. The tunnel being studied penetrates crystalized limestones and phyllites with poor geotechnical characteristics. Firstly, the area's geology was examined according to the research's data and it was compared to the one that occurred from the tunnel's construction data. Afterwards, the formations are being approached by a geotechnical point of view and discrete geotechnical unities are being constructed with specific characteristics that are being compared to the research's ones. Then, the general hydrogeology of the area is being examined in relation with the T2 tunnel. Consequently, there was a research conducted on the behavior of the various geotechnical unities in the tunnel related to the estimation from the rockmass estimation diagram (Tunnel Behavior Chart, TBC) and from the estimations based on the research's data. Moreover, the software "Unwedge" was used to find wedges based on discontinuity systems on crystalized limestone, with data from the research and from the construction's concessionaire. Finally, the software "Phase2" was utilized for reverse analyses on metamorphic phyllites with very poor characteristics, which had shown inexpediency tendencies during the construction of T2 tunnel. The aim of the reverse analyses' conduction was to approach the inexpediency tendencies that were made and also the way the alternation between phyllites and crystalized limestones influenced the deformations.



Περιεχόμενα

1 ^ο Κεφάλαιο: Εισαγωγή.....	1
1.1 Αντικείμενο και σκοπός εργασίας.....	1
1.2 Γενικά χαρακτηριστικά του Έργου.....	2
1.3 Δεδομένα και Μεθοδολογία	4
2 ^ο Κεφάλαιο: Περιπτώσεις παραμορφώσεων σε σήραγγες.....	7
2.1 Περιπτώσεις παραμορφώσεων σε σήραγγες στον Διεθνή χώρο.....	7
2.1.1 Σήραγγες στο Ordu, Tokat, Amasya, Bartin και στη Σμύρνη της Τουρκίας. 7	
2.2.2 Περιπτώσεις σιράγγων στα Ιμαλάια.	10
2.1.3. Σήραγγες Simplon	14
2.1.4 Σήραγγα Moffat	16
2.1.5. Σήραγγες Tauern και Arlberg	17
2.1.6. Σήραγγα Vereina	19
2.1.7. Σήραγγα Yacambu´-Quibor στην Βενεζουέλα.....	20
2.2 Περιπτώσεις παραμορφώσεων σε σήραγγες στον Ελλαδικό χώρο.	28
2.2.1 Σήραγγα Τυμφρηστού.....	28
2.2.2 Σήραγγα Καλλιδρομου	28
2.2.3 Σήραγγα Μεσοχώρας.....	28
3 ^ο Κεφάλαιο: Γεωλογία της περιοχής έρευνας	31
3.1 Ευρύτερη γεωλογία Ολύμπου-Όσσας.	31
3.2 Γεωλογία της στενής περιοχής με βάση την μελέτη.	32
3.3 Γεωλογία της στενής περιοχής με βάση τα στοιχεία χαρτογράφησης μετώπου της κατασκευής	38
3.3.1 Γεωλογικό μοντέλο	38
3.3.2 Στοιχεία γεωμετρίας των σχηματισμών	48
3.4 Σύγκριση των μοντέλων.....	65
4 ^ο Κεφάλαιο: Τεχνική γεωλογία περιοχής.....	69
4.1 Τεχνικογεωλογικές ενότητες σύμφωνα με την μελέτη.	69
4.2 Τεχνικογεωλογικές ενότητες από την κατασκευή των σιράγγων (χαρτογράφηση των μετώπων).	74
4.3 Σύγκριση των μοντέλων.....	95
5 ^ο Κεφάλαιο: Υδρογεωλογικές συνθήκες	96
6 ^ο Κεφάλαιο: Τεχνικογεωλογική συμπεριφορά βραχομαζών στις σήραγγες.....	99
6.1 Προβλεπόμενη συμπεριφορά της βραχομάζας από την μελέτη.	99

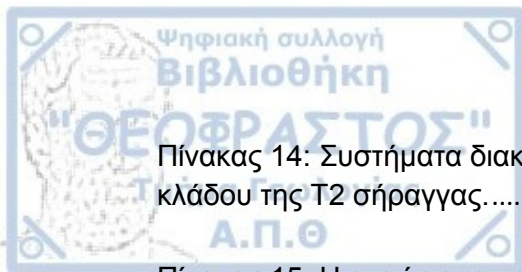


6.2 Συμπεριφορά της βραχομάζας σύμφωνα με τα στοιχεία κατασκευής (χαρτογράφηση μετώπου).....	100
7 ^ο Κεφάλαιο: Εξέταση αστοχιών βαρυτικού χαρακτήρα (σφηνοειδείς καταπτώσεις-ολισθήσεις).	105
7.1 Χιλιομετρικές θέσεις 7620 έως 8360 στο Βόρειο κλάδο (κατασκευή και μελέτη).	106
7.2 Χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000 στο Νότιο κλάδο (κατασκευή και μελέτη).	112
8 ^ο Κεφάλαιο: Ανάστροφη ανάλυση διατμητικών αστοχιών	119
8.1 Επιλογή των θέσεων-σταθμών μέτρησης προς ανάλυση	119
8.2 Διαδικασία κατασκευής του μοντέλου και ανάλυσης στο πρόγραμμα Phase2123	
8.3 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων των αναλύσεων	132
9 ^ο Κεφάλαιο: Συμπεράσματα	137
Βιβλιογραφία.....	141

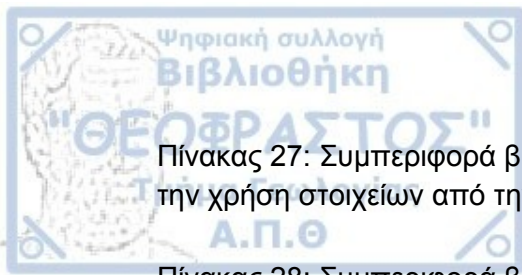


Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: Γεωλογικά στοιχεία, τύπος εκσκαφής και υποστήριξης και χαρακτηριστικά της βραχομάζας στις σήραγγες στο Ordu, Tokat, Amasya, Bartin και στη Σμύρνη της Τουρκίας. (Aksoy et al., 2012).	8
Πίνακας 2: παράμετροι των υλικών στις σήραγγες στο Ordu, Tokat, Amasya, Bartin και στη Σμύρνη της Τουρκίας. (Aksoy et al., 2012).	9
Πίνακας 3: Ταξινομήσεις υλικών στις σήραγγες στο Ordu, Tokat, Amasya, Bartin και στη Σμύρνη της Τουρκίας. (Aksoy et al., 2012).	10
Πίνακας 4: Συγκλίσεις στην σήραγγα Tauern (W. Steiner, 1996).	18
Πίνακας 5: Ταξινόμηση των σχηματισμών στο Yacambu'-Quibor tunnel της Βενεζουέλας (Hoek E. and Guevara R., 2009).	23
Πίνακας 6: Παράμετροι σχηματισμών του έργου στο Yacambu'-Quibor tunnel της Βενεζουέλας (Hoek E. and Guevara R., 2009).	24
Πίνακας 7: Η στρώση του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου ανά περιοχές χιλιομετρικών θέσεων του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.	51
Πίνακας 8: Η σχιστότητα του φυλλίτη ανά περιοχές χιλιομετρικών θέσεων του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.....	54
Πίνακας 9: Συστήματα διακλάσεων ανά περιοχές χιλιομετρικών θέσεων του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.....	55
Πίνακας 10: Η στρώση του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου ανά περιοχές χιλιομετρικών θέσεων του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.	56
Πίνακας 11: Η σχιστότητα του φυλλίτη ανά περιοχές χιλιομετρικών θέσεων του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής και της μελέτης.	56
Πίνακας 12: Η στρώση του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου ανά περιοχές χιλιομετρικών θέσεων του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.	60
Πίνακας 13: Η σχιστότητα του φυλλίτη ανά περιοχές χιλιομετρικών θέσεων του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας.	62



Πίνακας 14: Συστήματα διακλάσεων ανά περιοχές χιλιομετρικών θέσεων του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας.....	63
Πίνακας 15: Η στρώση του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου ανά περιοχές χιλιομετρικών θέσεων του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής και της μελέτης.....	64
Πίνακας 16: Η στρώση του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου ανά περιοχές χιλιομετρικών θέσεων του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής και της μελέτης.....	65
Πίνακας 17: Τεχνικογεωλογικές ενότητες με βάση τα στοιχεία της μελέτης	70
Πίνακας 18: Μέση τιμή της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής σε άρρηκτο βράχο και εύρος αυτής ανά τμήματα χιλιομετρικών θέσεων του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου στο Νότιο κλάδο της T2 σήραγγας.	75
Πίνακας 19: Μέση τιμή της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής σε άρρηκτο βράχο και εύρος αυτής ανά τμήματα χιλιομετρικών θέσεων του φυλλίτη του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας με βάση τα στοιχεία κατασκευής.	76
Πίνακας 20: Μέση τιμή της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής σε άρρηκτο βράχο και εύρος αυτής ανά τμήματα χιλιομετρικών θέσεων του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου στο Βόρειο κλάδο της T2 σήραγγας με βάση τα στοιχεία κατασκευής.	77
Πίνακας 21: Μέση τιμή της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής σε άρρηκτο βράχο και εύρος αυτής ανά τμήματα χιλιομετρικών θέσεων του φυλλίτη στο Βόρειο κλάδο της T2 σήραγγας.....	78
Πίνακας 22: Τεχνικογεωλογικές ενότητες που προέκυψαν από την χαρτογράφηση των μετώπων με βάση τα στοιχεία κατασκευής.....	83
Πίνακας 23: Τεχνικογεωλογικές ενότητες ανά χιλιομετρικές θέσεις με τα στοιχεία κατασκευής και για τους δύο κλάδους.....	87
Πίνακας 24: Παρουσίαση ενδεικτικών αποτελεσμάτων από δοκιμές Lugeon σε γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά την μελέτη του έργου σε ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο (Giannatos et. all, 2008 τροποποιημένο).	97
Πίνακας 25: Παρουσίαση ενδεικτικών αποτελεσμάτων από δοκιμές Maag σε γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά την μελέτη του έργου σε φυλλίτη (Giannatos et. all, 2008 τροποποιημένο).....	97
Πίνακας 26: Εκτιμώμενη συμπεριφορά βραχομάζας κατά την διάνοιξη της σήραγγας ανά χιλιομετρική θέση, με τα στοιχεία της μελέτης.	100



Πίνακας 27: Συμπεριφορά βραχομάζας ανά χιλιομετρική θέση, για το Νότιο κλάδο, με την χρήση στοιχείων από την κατασκευή του έργου..... 102

Πίνακας 28: Συμπεριφορά βραχομάζας ανά χιλιομετρική θέση, για το Βόρειο κλάδο, με την χρήση στοιχείων από την κατασκευή του έργου..... 104

Πίνακας 29: Γεωμετρικά στοιχεία ασυνεχειών από τη μελέτη και από την κατασκευή του Βόρειου κλάδου στις χιλιομετρικές θέσεις 7620 έως 8360 μέτρα..... 107

Πίνακας 30: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στο μέτωπο της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης και της κατασκευής του Βόρειου κλάδου στις χιλιομετρικές θέσεις 7620 έως 8360. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 29. 108

Πίνακας 31: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στην οροφή της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης και της κατασκευής του Βόρειου κλάδου στις χιλιομετρικές θέσεις 7620 έως 8360. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 29. 108

Πίνακας 32: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στην άνω δεξιά πλευρά της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης της κατασκευής του Βόρειου κλάδου στις χιλιομετρικές θέσεις 7620 έως 8360. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 29. 109

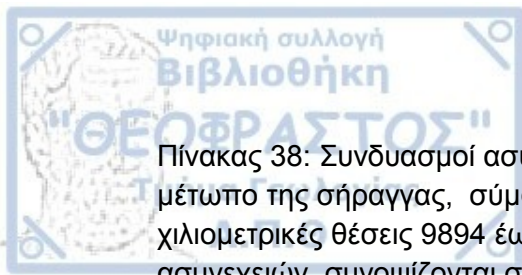
Πίνακας 33: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στην άνω αριστερή πλευρά της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης και κατασκευής στις χιλιομετρικές θέσεις 7620 έως 8360 του Βόρειου κλάδου. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 29. 109

Πίνακας 34: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στην κάτω δεξιά πλευρά της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης και κατασκευής στις χιλιομετρικές θέσεις 7620 έως 8360 του Βόρειου κλάδου. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 29. 110

Πίνακας 35: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στην κάτω αριστερή πλευρά της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης στις χιλιομετρικές θέσεις 7620 έως 8360. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 29. 110

Πίνακας 36: Μέσοι όροι - μέγιστες τιμές των όγκων των σφηνών στο τμήμα χιλιομετρικών θέσεων 7620 έως 8360. Αναφέρονται οι σφήνες που προέκυψαν με τα στοιχεία της μελέτης αλλά και με τα στοιχεία κατασκευής του Βόρειου κλάδου. 111

Πίνακας 37: Γεωμετρικά στοιχεία ασυνεχειών από τη μελέτη και από την κατασκευή του Νότιου κλάδου στις χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000 μέτρα..... 113



Πίνακας 38: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στο μέτωπο της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης και της κατασκευής στις χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000 του Νότιου κλάδου. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 37. 114

Πίνακας 39: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στην οροφή της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής στις χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000 του Νότιου κλάδου. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 37. 114

Πίνακας 40: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στο άνω δεξιό τμήμα της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης και της κατασκευής στις χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000 του Νότιου κλάδου. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 37. 115

Πίνακας 41: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στο άνω αριστερό τμήμα της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης και της κατασκευής στις χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000 του Νότιου κλάδου. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 37. 115

Πίνακας 42: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στο κάτω δεξιό τμήμα της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής του Νότιου κλάδου στις χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000 του Νότιου κλάδου. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 37. 115

Πίνακας 43: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στο κάτω αριστερό τμήμα της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης και της κατασκευής στις χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 37. 116

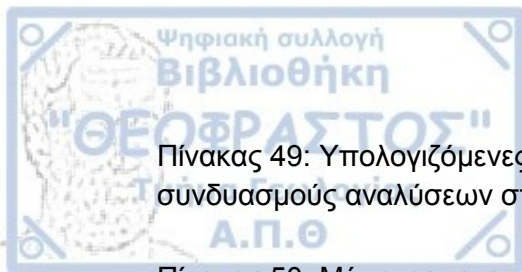
Πίνακας 44: Μέσοι όροι - μέγιστες τιμές των όγκων των σφηνών στο τμήμα χιλιομετρικών θέσεων 9894 έως 10000. Αναφέρονται οι σφήνες που προέκυψαν με τα στοιχεία της μελέτης αλλά και με τα στοιχεία κατασκευής του Νότιου κλάδου..... 117

Πίνακας 45: Μέγιστο μέτρο μετακινήσεων για κάθε ακίδα στην χιλιομετρική θέση 10725 του Βόρειου κλάδου. 120

Πίνακας 46: Μέγιστο μέτρο μετακινήσεων για κάθε ακίδα στην χιλιομετρική θέση 10705 του Νότιου κλάδου..... 120

Πίνακας 47: Στοιχεία μελέτης για τα μέτρα υποστήριξης που χρησιμοποιήθηκαν στη χιλιομετρική θέση 10275 του Βόρειου κλάδου και στη χιλιομετρική θέση 10705 του Νότιου κλάδου. 124

Πίνακας 48: Τεχνικογεωλογικές παράμετροι των δύο σχηματισμών που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις στο Phase v8..... 125



Πίνακας 49: Υπολογιζόμενες μετακινήσεις που προέκυψαν από τους διάφορους συνδυασμούς αναλύσεων στην χιλιομετρική θέση 10725m στο Βόρειο κλάδο. 133

Πίνακας 50: Μέγιστες καταγεγραμμένες από την ανάδοχο του έργου μετακινήσεις στην χιλιομετρική θέση 10725m στο Βόρειο κλάδο. Οι θέσεις των στόχων εντοπίζονται στο Σχήμα 105. 134

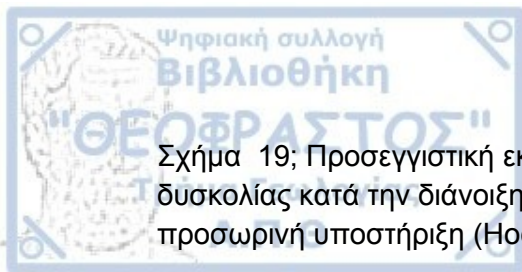
Πίνακας 51: Υπολογιζόμενες μετακινήσεις που προέκυψαν από τους διάφορους συνδυασμούς αναλύσεων στην χιλιομετρική θέση 10705m στο Νότιο κλάδο. 134

Πίνακας 52: Μέγιστες καταγεγραμμένες από την ανάδοχο του έργου μετακινήσεις στη χιλιομετρική θέση 10705m στον Νότιο κλάδο. Οι θέσεις των στόχων εντοπίζονται στο Σχήμα 105..... 134

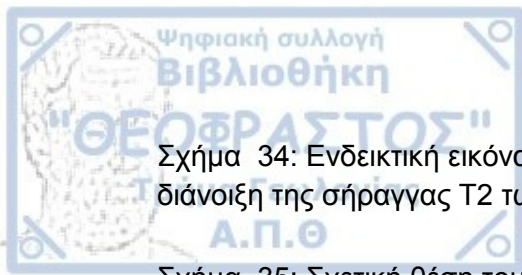


Περιεχόμενα Σχημάτων

Σχήμα 1: T2 δίδυμες σήραγγες κατά την διάρκεια κατασκευής τους (wikimapia.org). 3	3
Σχήμα 2: Κάτοψη των σηράγγων T1, T2, T3. 4	4
Σχήμα 3: Γεωλογία της περιοχής που διαπερνά η σήραγγα Giri–Bata (R.D. Dwivedi et al., 2014, Dube, 1979). 11	11
Σχήμα 4: Γεωλογία της περιοχής που διαπερνά η σήραγγα Loktak (R.D. Dwivedi et al., 2014, Malhotra et al. 1982). 11	11
Σχήμα 5: Γεωλογία της περιοχής που διαπερνά η πρώτη σήραγγα Maneri Bhali (R.D. Dwivedi et al., 2014, Goel, 1994). 12	12
Σχήμα 6: Γεωλογία της περιοχής που διαπερνά η δεύτερη σήραγγα Maneri Bhali (R.D. Dwivedi et al., 2014, Varshney, 1988). 12	12
Σχήμα 7: Γεωλογία της περιοχής που διαπερνά η δεύτερη σήραγγα Noonidih–Jitpur (R.D. Dwivedi et al., 2014, Kumar, 2002). 13	13
Σχήμα 8: Διάταξη των σηράγγων και των πιλοτικών τους στην σήραγγα Simplon (Brandau, 1909). 14	14
Σχήμα 9: Γεωλογία της περιοχής της σήραγγας Simplon (Bianchetti et al., 1993). .. 15	15
Σχήμα 10: Τομή του έργου και τα προβλήματα που προκλήθηκαν στην σήραγγα... 17	17
Σχήμα 11: Γεωλογία της σήραγγας Tauern (Tauernautobahn, 1978). 17	17
Σχήμα 12: Τομή της σήραγγας Arlberg (W. Steiner, 1996). 18	18
Σχήμα 13: Διατομή σήραγγας Vereina (Brunold, 1993). 19	19
Σχήμα 14: Γεωλογία της περιοχής της σήραγγας Vereina (Keller, 1993). 20	20
Σχήμα 15: Γεωγραφική τοποθέτηση του έργου Yacambu´–Quibor (Hoek E. and Guevara R., 2009). 21	21
Σχήμα 16: Τομή του έργου (Hoek E. and Guevara R., 2009). 22	22
Σχήμα 17: Σχήμα με την τεκτονική της περιοχής (Hoek E. and Guevara R., 2009). 22	22
Σχήμα 18: Ταξινόμηση GSI των φυλλιτών (Hoek E. and Guevara R., 2009). 24	24



Σχήμα 19: Προσεγγιστική εκτίμηση της σχέσης μεταξύ των πιέσεων και του βαθμού δυσκολίας κατά την διάνοιξη της σήραγγας σε συντεθλιμμένες συνθήκες, χωρίς την προσωρινή υποστήριξη (Hoek E. and Guevara R., 2009).....	25
Σχήμα 20: Παρουσίαση των εκτιμώμενων συγκλίσεων κατά μήκος της σήραγγας Yacambu'-Quibor (Hoek E. and Guevara R., 2009).	26
Σχήμα 21: Ενδίδουσα υποστήριξη στην σήραγγα Yacambu'-Quibor (Hoek E. and Guevara R., 2009).....	26
Σχήμα 22: Γεωμετρία διατομής της σήραγγας Yacambu'-Quibor στην χιλιομετρική θέση από 12,750 έως 12,850 (Hoek E. and Guevara R., 2009).....	27
Σχήμα 23: Αστοχία στην σήραγγα Yacambu'-Quibor στην χιλιομετρική θέση από 12,750 έως 12,850 (Hoek E. and Guevara R., 2009).....	27
Σχήμα 24: Γεωλογία της σήραγγας της Μεσοχώρας (Kontogianni V., et al 2008)...	29
Σχήμα 25: Αστοχία των μέτρων υποστήριξης στην σήραγγα της Μεσοχώρας (Kontogianni V., et al 2008).	29
Σχήμα 26: Διάγραμμα της σύγκλισης με τον χρόνο στη σήραγγα της Μεσοχώρας (Kontogianni V., et al 2008).	30
Σχήμα 27: Γεωλογικός χάρτης τεκτονικού παραθύρου Ολύμπου-Όσσας. Οι σήραγγες T1, T2 και T3 βρίσκονται μεταξύ των δύο ορέων, και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή του κόκκινου κύκλου (Κίλιας et. al. 1991).....	31
Σχήμα 28: Σήραγγα T2 σε όλο το μήκος της, με βάση τα στοιχεία της μελέτης (Giannatos et. all, 2008).	33
Σχήμα 29: τομή της σήραγγας T2 με βάση την μελέτη από τη Χ.Θ 4888 έως τη Χ.Θ. 6960 (Giannatos et. all, 2008).	34
Σχήμα 30: Γεωλογική τομή της σήραγγας T2 με βάση την μελέτη από τη Χ.Θ 6960 έως τη Χ.Θ. 9000 (Giannatos et. all, 2008).	35
Σχήμα 31: Γεωλογική τομή της σήραγγας T2 με βάση την μελέτη από τη Χ.Θ 9000 έως τη Χ.Θ. 10860 (Giannatos et. all, 2008).	36
Σχήμα 32: Δίκτυα Schmidt της γεωμετρίας της σχιστότητας του φυλλίτη (κόκκινο) και της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου (μπλε), ανά χιλιομετρική θέση με βάση τα στοιχεία της μελέτης.....	37
Σχήμα 33: Ενδεικτική εικόνα του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου κατά την διάνοιξη της σήραγγας T2 των Τεμπών (από Δελτίο Χαρτογράφησης Μετώπου).....	38



Σχήμα 34: Ενδεικτική εικόνα του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου κατά την διάνοιξη της σήραγγας T2 των Τεμπών (από Δελτίο Χαρτογράφησης Μετώπου)..... 39

Σχήμα 35: Σχετική θέση του Βόρειου και Νότιου κλάδου της σήραγγας T2 των Τεμπών. 39

Σχήμα 36: Βόρειος κλάδος της σήραγγας T2 σε όλο το μήκος της, με βάση τα στοιχεία της κατασκευής. 40

Σχήμα 37: Γεωλογική τομή της σήραγγας του Βόρειου κλάδου T2 από την Χ.Θ 4888 έως την Χ.Θ. 6960 με τη χρήση και των στοιχείων της κατασκευής..... 41

Σχήμα 38: Γεωλογική τομή της σήραγγας του Βόρειου κλάδου T2 από τη Χ.Θ 6960 έως τη Χ.Θ. 9000 με τη χρήση και των στοιχείων της κατασκευής..... 42

Σχήμα 39: Γεωλογική τομή της σήραγγας του Βόρειου κλάδου T2 από τη Χ.Θ 9000 έως τη Χ.Θ. 10860 με την χρήση και των στοιχείων της κατασκευής..... 43

Σχήμα 40: Νότιος κλάδος της σήραγγας T2 σε όλο το μήκος της, με βάση τα στοιχεία της κατασκευής. 44

Σχήμα 41: Γεωλογική τομή του Νότιου κλάδου της σήραγγας T2 από τη Χ.Θ 4888 έως τη Χ.Θ. 6960 με την χρήση και των στοιχείων της κατασκευής..... 45

Σχήμα 42: Γεωλογική τομή του Νότιου κλάδου της σήραγγας T2 από τη Χ.Θ 6960 έως τη Χ.Θ. 9000 με την χρήση και των στοιχείων της κατασκευής..... 46

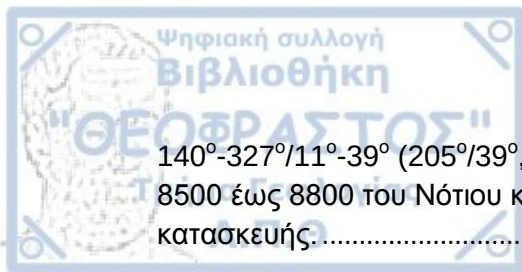
Σχήμα 43: Γεωλογική τομή του Νότιου κλάδου της σήραγγας T2 από τη Χ.Θ 9000 έως τη Χ.Θ. 10860 με την χρήση και των στοιχείων της κατασκευής..... 47

Σχήμα 44: Κατανομή διευθύνσεων κλίσεων της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου με τις χιλιομετρικές θέσεις του Νότιου κλάδου της T2 σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 49

Σχήμα 45: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης 210° - $262^{\circ}/25^{\circ}$ - 32° ($210^{\circ}/25^{\circ}$ και $262^{\circ}/32^{\circ}$) για τις χιλιομετρικές θέσεις 4870 έως 6000 του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 49

Σχήμα 46: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης $278^{\circ}/23^{\circ}$ για τις χιλιομετρικές θέσεις 6200 έως 8500 του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 49

Σχήμα 47: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης



140°-327°/11°-39° (205°/39°, 243°/11°, 327°/26°, 140°/17°) για τις χιλιομετρικές θέσεις 8500 έως 8800 του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 50

Σχήμα 48: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης 246°/12° για τις χιλιομετρικές θέσεις από 8800 έως 9500 του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 50

Σχήμα 49: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις των γεωμετρικών στοιχείων της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης 049°-323°/15°-29° (255°/15°, 049°/28°, 323°/29°) για τις χιλιομετρικές θέσεις από 9500 έως 10000 του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 51

Σχήμα 50: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης 218°-253°/24°-29° (218°/29° και 253°/24°) για τις χιλιομετρικές θέσεις από 10000 έως 10860 του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 51

Σχήμα 51: Δίκτυα Schmidt της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου, ανά χιλιομετρικές θέσεις στον Νότιο κλάδο της σήραγγας T2 σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 52

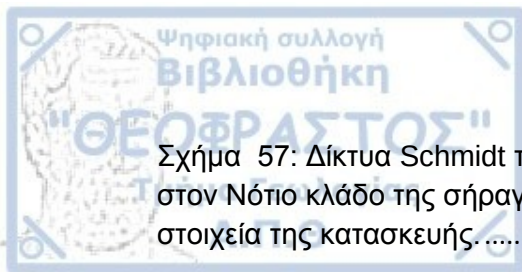
Σχήμα 52: Κατανομή διευθύνσεων κλίσεων της σχιστότητας του φυλλίτη με τις χιλιομετρικές θέσεις του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 52

Σχήμα 53: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της σχιστότητας του φυλλίτη με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης 207°-264°/30°-33° (264°/33° και 207°/30°) για τις χιλιομετρικές θέσεις από 4888 έως 6194 του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 53

Σχήμα 54: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της σχιστότητας του φυλλίτη με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης 197°-281°/51°-56° (197°/51° και 281°/56°) για τις χιλιομετρικές θέσεις από 8460 έως 9500 του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 53

Σχήμα 55: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της σχιστότητας του φυλλίτη με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης 008°-322°/30°-32° (008°/30°, 254°/30° και 322°/32°) για τις χιλιομετρικές θέσεις από 9500 έως 10860 του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 54

Σχήμα 56: Δίκτυα Schmidt της σχιστότητας του φυλλίτη, ανά χιλιομετρικές θέσεις στον Νότιο κλάδο της σήραγγας T2 σύμφωνα με βάση των στοιχείων κατασκευής. 54



Σχήμα 57: Δίκτυα Schmidt των συστημάτων διακλάσεων, ανά χιλιομετρικές θέσεις στον Νότιο κλάδο της σήραγγας του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 55

Σχήμα 58: Κατανομή διευθύνσεων κλίσεων της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με τις χιλιομετρικές θέσεις, του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 57

Σχήμα 59: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης $270^{\circ}/33^{\circ}$ για τις χιλιομετρικές θέσεις 4888 έως 6000 του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 58

Σχήμα 60: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης $273^{\circ}/22^{\circ}$ για τις χιλιομετρικές θέσεις 6200 έως 8440 του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 58

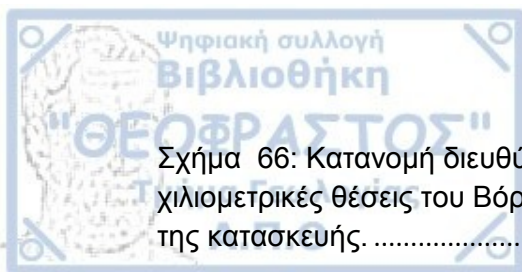
Σχήμα 61: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης $143^{\circ}-322^{\circ}/15^{\circ}-40^{\circ}$ ($202^{\circ}/40^{\circ}$, $143^{\circ}/26^{\circ}$, $241^{\circ}/15^{\circ}$, $322^{\circ}/26^{\circ}$, $167^{\circ}/31^{\circ}$) για τις χιλιομετρικές θέσεις 8440 έως 8850 του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 58

Σχήμα 62: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης $251^{\circ}/11^{\circ}$ για τις χιλιομετρικές θέσεις 8850 έως 9450 του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 59

Σχήμα 63: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης $040^{\circ}-268^{\circ}/22^{\circ}-45^{\circ}$ ($258^{\circ}/22^{\circ}$, $268^{\circ}/41^{\circ}$, $229^{\circ}/20^{\circ}$, $040^{\circ}/33^{\circ}$, $91^{\circ}/45^{\circ}$ και $195^{\circ}/34^{\circ}$) για τις χιλιομετρικές θέσεις 9450 έως 9800 του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 59

Σχήμα 64: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης $221^{\circ}/26^{\circ}$ για τις χιλιομετρικές θέσεις 9800 έως 10860 του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 59

Σχήμα 65: Δίκτυα Schmidt της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου, ανά χιλιομετρικές θέσεις στον Βόρειο κλάδο της σήραγγας T2 σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 60



Σχήμα 66: Κατανομή διευθύνσεων κλίσεων της σχιστότητας του φυλλίτη για τις χιλιομετρικές θέσεις του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 61

Σχήμα 67: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της σχιστότητας του φυλλίτη με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης $263^{\circ}/29^{\circ}$ για τις χιλιομετρικές θέσεις 4888 έως 6221 του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 61

Σχήμα 68: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της σχιστότητας του φυλλίτη με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης $194^{\circ}/57^{\circ}$ για τις χιλιομετρικές θέσεις 8450 έως 9300 του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 62

Σχήμα 69: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της σχιστότητας του φυλλίτη με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης $242^{\circ}-326^{\circ}/8^{\circ}-36^{\circ}$ ($326^{\circ}/31^{\circ}$, $242^{\circ}/28^{\circ}$, $260^{\circ}/36^{\circ}$) για τις χιλιομετρικές θέσεις 9300 έως 10860 του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 62

Σχήμα 70: Δίκτυα Schmidt της γεωμετρίας του φυλλίτη, ανά χιλιομετρικές θέσεις στον Βόρειο κλάδο της σήραγγας του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 63

Σχήμα 71: Δίκτυα Schmidt των συστημάτων διακλάσεων, ανά χιλιομετρικές θέσεις στον Βόρειο κλάδο της σήραγγας T2 σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής. 64

Σχήμα 72: Γεωλογικό μοντέλο της μελέτης της σήραγγας T2 (άνω) και το γεωλογικό μοντέλο του Βόρειου κλάδου της σήραγγας T2 σύμφωνα με τα στοιχεία κατασκευής (κάτω). 67

Σχήμα 73: Γεωλογικό μοντέλο της μελέτης της σήραγγας T2 (άνω) και το γεωλογικό μοντέλο του Νότιου κλάδου της σήραγγας T2 σύμφωνα με τα στοιχεία κατασκευής (κάτω). 68

Σχήμα 74: Γεωλογική τομή της σήραγγας T2 με βάση την μελέτη από την Χ.Θ 4888 έως την Χ.Θ. 6960. Δίνονται πληροφορίες σχετικά με την γεωμετρία των σχηματισμών, τις τεχνικογεωλογικές ενότητες και διατομές, το GSI και σ_{ci} , τις υδατικές συνθήκες και την συμπεριφορά της βραχομάζας. Το GSI εκτιμήθηκε από την παρούσα μελέτη όπως και το σ_{ci} και η συμπεριφορά της βραχομάζας. Το υπόμνημα των τεχνικογεωλογικών εννοιών παρουσιάζεται στο Σχήμα 93 και το υπόμνημα τεχνικογεωλογικών διατομών στο Σχήμα 94. 71

Σχήμα 75: Γεωλογική τομή της σήραγγας T2 με βάση την μελέτη από την Χ.Θ 6960 έως την Χ.Θ. 9000. Δίνονται πληροφορίες σχετικά με την γεωμετρία των σχηματισμών, τις τεχνικογεωλογικές ενότητες και διατομές, το GSI και σ_{ci} , τις υδατικές συνθήκες και την συμπεριφορά της βραχομάζας. Το GSI εκτιμήθηκε από

την παρούσα μελέτη όπως και το σ_{ci} και η συμπεριφορά της βραχομάζας. Το GSI εκτιμήθηκε από την παρούσα μελέτη όπως και το σ_{ci} και η συμπεριφορά της βραχομάζας. Το υπόμνημα τεχνικογεωλογικών ενοτήτων παρουσιάζεται στο Σχήμα 93 και το υπόμνημα τεχνικογεωλογικών διατομών στο Σχήμα 94. 72

Σχήμα 76: Γεωλογική τομή της σήραγγας T2 με βάση την μελέτη από την Χ.Θ 9000 έως την Χ.Θ. 10860. Δίνονται πληροφορίες σχετικά με την γεωμετρία των σχηματισμών, τις τεχνικογεωλογικές ενότητες και διατομές, το GSI και σ_{ci} , τις υδατικές συνθήκες και την συμπεριφορά της βραχομάζας. Το GSI εκτιμήθηκε από την παρούσα μελέτη όπως και το σ_{ci} και η συμπεριφορά της βραχομάζας. Το GSI εκτιμήθηκε από την παρούσα μελέτη όπως και το σ_{ci} και η συμπεριφορά της βραχομάζας. Το υπόμνημα τεχνικογεωλογικών ενοτήτων παρουσιάζεται στο Σχήμα 93 και το υπόμνημα τεχνικογεωλογικών διατομών στο Σχήμα 94. 73

Σχήμα 77: Κατανομή των τιμών σ_{ci} του ανακρυσταλωμένου ασβεστολίθου, με τις χιλιομετρικές θέσεις του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας. 75

Σχήμα 78: Κατανομή των τιμών σ_{ci} του φυλλίτη, με τις χιλιομετρικές θέσεις στην σήραγγα στο Νότιο κλάδο της T2 σήραγγας με βάση τα στοιχεία κατασκευής. 76

Σχήμα 79: Κατανομή των τιμών σ_{ci} του ανακρυσταλωμένου ασβεστολίθου, με τις χιλιομετρικές θέσεις στο Βόρειο κλάδο της T2 σήραγγας με βάση τα στοιχεία κατασκευής. 77

Σχήμα 80: Κατανομή των τιμών σ_{ci} του φυλλίτη, με τις χιλιομετρικές θέσεις στο Βόρειο κλάδο της T2 σήραγγας με βάση τα στοιχεία κατασκευής. 78

Σχήμα 81: Διάγραμμα GSI για τις τεχνικογεωλογικές ενότητες του φυλλίτη με βάση τα στοιχεία κατασκευής. 80

Σχήμα 82: Διάγραμμα GSI για τις τεχνικογεωλογικές ενότητες του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με βάση τα στοιχεία κατασκευής. 82

Σχήμα 83: Φυλλίτης τύπου rh1 σε μέτωπο του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας στην χιλιομετρική θέση 10702.2m (από Δελτίο Χαρτογράφησης Μετώπου). 84

Σχήμα 84: Φυλλίτης τύπου rh3 σε μέτωπο του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας στην χιλιομετρική θέση 10702.2m (από Δελτίο Χαρτογράφησης Μετώπου). 84

Σχήμα 85: Ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος τύπου k1 σε μέτωπο του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας στην χιλιομετρική θέση 9279,6m (από Δελτίο Χαρτογράφησης Μετώπου). 85

Σχήμα 86: Ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος τύπου k2 σε μέτωπο του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας στην χιλιομετρική θέση 8631,6m (από Δελτίο Χαρτογράφησης Μετώπου). 85

Σχήμα 87: Γεωλογική τομή του Νότιου κλάδου της σήραγγας T2 από τη Χ.Θ 4888 έως τη Χ.Θ. 6960 με τη χρήση και των στοιχείων της κατασκευής. Δίνονται πληροφορίες σχετικά με τη γεωμετρία των σχηματισμών, τις τεχνικογεωλογικές ενότητες και διατομές, το GSI και σ_{ci} , τις υδατικές συνθήκες και τη συμπεριφορά της βραχομάζας. 88

Σχήμα 88: Γεωλογική τομή του Νότιου κλάδου της σήραγγας T2 από τη Χ.Θ 6960 έως τη Χ.Θ. 9000 με τη χρήση και των στοιχείων της κατασκευής. Δίνονται πληροφορίες σχετικά με τη γεωμετρία των σχηματισμών, τις τεχνικογεωλογικές ενότητες και διατομές, το GSI και σ_{ci} , τις υδατικές συνθήκες και τη συμπεριφορά της βραχομάζας. 89

Σχήμα 89: Γεωλογική τομή του Νότιου κλάδου της σήραγγας T2 από τη Χ.Θ 9000 έως τη Χ.Θ. 10860 με τη χρήση και των στοιχείων της κατασκευής. Δίνονται πληροφορίες σχετικά με τη γεωμετρία των σχηματισμών, τις τεχνικογεωλογικές ενότητες και διατομές, το GSI και σ_{ci} , τις υδατικές συνθήκες και τη συμπεριφορά της βραχομάζας. 90

Σχήμα 90: Γεωλογική τομή του Βόρειου κλάδου της σήραγγας T2 από τη Χ.Θ 4888 έως τη Χ.Θ. 6960 με τη χρήση και των στοιχείων της κατασκευής. Δίνονται πληροφορίες σχετικά με τη γεωμετρία των σχηματισμών, τις τεχνικογεωλογικές ενότητες και διατομές, το GSI και σ_{ci} , τις υδατικές συνθήκες και τη συμπεριφορά της βραχομάζας. 91

Σχήμα 91: Γεωλογική τομή του Βόρειου κλάδου της σήραγγας T2 από τη Χ.Θ 6960 έως τη Χ.Θ. 9000 με τη χρήση και των στοιχείων της κατασκευής. Δίνονται πληροφορίες σχετικά με τη γεωμετρία των σχηματισμών, τις τεχνικογεωλογικές ενότητες και διατομές, το GSI και σ_{ci} , τις υδατικές συνθήκες και τη συμπεριφορά της βραχομάζας. 92

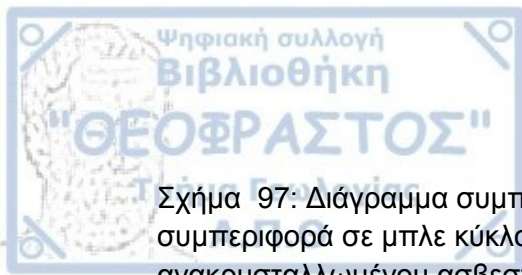
Σχήμα 92: Γεωλογική τομή του Βόρειου κλάδου της σήραγγας T2 από τη Χ.Θ 9000 έως τη Χ.Θ. 10860 με τη χρήση και των στοιχείων της κατασκευής. Δίνονται πληροφορίες σχετικά με τη γεωμετρία των σχηματισμών, τις τεχνικογεωλογικές ενότητες και διατομές, το GSI και σ_{ci} , τις υδατικές συνθήκες και τη συμπεριφορά της βραχομάζας. 93

Σχήμα 93: Υπόμνημα τεχνικογεωλογικών ενοτήτων με βάση τα στοιχεία κατασκευής. 94

Σχήμα 94: Υπόμνημα τεχνικογεωλογικών διατομών με βάση τα στοιχεία κατασκευής. 94

Σχήμα 95: Υδρογεωλογικό μοντέλο μελέτης για την περιοχή κατασκευής της σήραγγας T2 (Giannatos et. all, 2008). 98

Σχήμα 96: Τύποι συμπεριφοράς μέσα σε σήραγγα (V. Marinou, 2012) 99



Σχήμα 97: Διάγραμμα συμπεριφοράς βραχομάζας σε σήραγγα με την εκτιμώμενη συμπεριφορά σε μπλε κύκλους των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου που προέκυψαν από τη χαρτογράφηση των μετώπων και την κατασκευή της σήραγγας..... 101

Σχήμα 98: Διάγραμμα συμπεριφοράς βραχομάζας σε σήραγγα με την εκτιμώμενη συμπεριφορά σε πορτοκαλί κύκλους των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων του φυλλίτη που προέκυψαν από τη χαρτογράφηση των μετώπων και την κατασκευή της σήραγγας. 103

Σχήμα 99: Διατομή σήραγγας και θέσεις των ομάδων σφηνών που θα εξεταστούν. 106

Σχήμα 100: Δίκτυα Schmidt μελέτης και κατασκευής του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας στις χιλιομετρικές θέσεις 7620 έως 8360 μέτρα. Με μπλε χρώμα η στρώση του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου και με πράσινο οι διακλάσεις..... 107

Σχήμα 101: Σύνολο σφηνών, με τα στοιχεία της κατασκευής του Βόρειου κλάδου στις χιλιομετρικές θέσεις 7620 έως 8360. Καταγράφονται και οι συνδυασμοί ασυνεχειών με τους οποίους προκύπτουν. 112

Σχήμα 102: Δίκτυα Schmidt μελέτης και κατασκευής του Νότιου κλάδου στις χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000 μέτρα. Με μπλε χρώμα η στρώση του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου και με πράσινο οι διακλάσεις..... 113

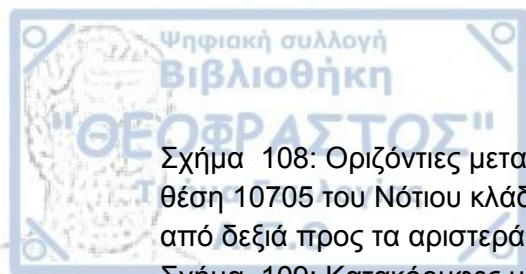
Σχήμα 103: Αστοχία τύπου σφήνας στο μέτωπο της σήραγγας στις χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000 με βάση τα στοιχεία κατασκευής. Η σφήνα οριοθετείται από τις ασυνέχειες B ($15^{\circ}/256^{\circ}$), J2 ($71^{\circ}/192^{\circ}$) και J3 ($69^{\circ}/317^{\circ}$) 117

Σχήμα 104: Αστοχία τύπου σφήνας στο μέτωπο της σήραγγας στις χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000 με βάση τα στοιχεία της μελέτης. Η σφήνα οριοθετείται από τις ασυνέχειες J1($65^{\circ}/349^{\circ}$), J2 ($80^{\circ}/047^{\circ}$) και J3 ($62^{\circ}/057^{\circ}$)..... 118

Σχήμα 105: Διατομή σήραγγας T2 και η θέση των ακίδων πάνω σε αυτή, για τις δύο θέσεις που θα πραγματοποιηθούν οι αναλύσεις. 120

Σχήμα 106: Οριζόντιες μετακινήσεις στους τοπογραφικούς στόχους στη χιλιομετρική θέση 10725 του Βόρειου κλάδου, ανά ημερομηνία. Η θετική φορά μετατόπισης είναι από δεξιά προς τα αριστερά. 121

Σχήμα 107: Κατακόρυφες μετακινήσεις στους τοπογραφικούς στόχους στη χιλιομετρική θέση 10725 του Βόρειου κλάδου, ανά ημερομηνία. Η θετική φορά μετατόπισης είναι από κάτω προς τα πάνω..... 121



Σχήμα 108: Οριζόντιες μετακινήσεις στους τοπογραφικούς στόχους στη χιλιομετρική θέση 10705 του Νότιου κλάδου, ανά ημερομηνία. Η θετική φορά μετατόπισης είναι από δεξιά προς τα αριστερά. 121

Σχήμα 109: Κατακόρυφες μετακινήσεις στους τοπογραφικούς στόχους στη χιλιομετρική θέση 10705 του Νότιου κλάδου, ανά ημερομηνία. Η θετική φορά μετατόπισης είναι από κάτω προς τα πάνω. 122

Σχήμα 110: Σχήμα 94: Τμήμα του Δελτίου Χαρτογράφησης του Μετώπου, για χιλιομετρική θέση κοντινή στη χιλιομετρική θέση 10725 στο Βόρειο κλάδο. 122

Σχήμα 111: Τμήμα του Δελτίου Χαρτογράφησης του Μετώπου, για χιλιομετρική θέση κοντινή στη χιλιομετρική θέση 10705 στο Νότιο κλάδο. 123

Σχήμα 112: Διατομή με τα μέτρα υποστήριξης, σύμφωνα με την μελέτη κατασκευής στη χιλιομετρική θέση 10725 του Βόρειου κλάδου και στη χιλιομετρική θέση 10705 του Νότιου κλάδου. 124

Σχήμα 113: Κατασκευή των δύο κλάδων στο πρόγραμμα Phase2 v8 και το συνολικό περιβάλλον. Ο υπερκείμενος ασβεστόλιθος έχει απόσταση 6,5m από τη στέψη της σήραγγας. 125

Σχήμα 114: Κατασκευή των δύο κλάδων στο πρόγραμμα Phase v8. Ο υπερκείμενος ασβεστόλιθος έχει απόσταση 6,5m από τη στέψη της σήραγγας. 126

Σχήμα 115: Διατομές των δύο κλάδων με τα μέτρα υποστήριξης και το πλέγμα όπου θα γίνουν οι υπολογισμοί. 127

Σχήμα 116: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο πρώτο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο δεν έχει πραγματοποιηθεί ακόμα η διάνοιξη. 128

Σχήμα 117: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο δεύτερο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του ανώτερου τμήματος του Βόρειου κλάδου, χωρίς όμως την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης. Οι κόκκινες ακτίνες είναι η πίεση που προσομοιώνει την αποτόνωση του βράχου. 128

Σχήμα 118: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο τρίτο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του ανώτερου τμήματος του Βόρειου κλάδου, με την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης. 128

Σχήμα 119: Σχήμα 103: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο τέταρτο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του μεσαίου τμήματος του Βόρειου κλάδου, χωρίς όμως την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης. Οι κόκκινες ακτίνες είναι η πίεση που προσομοιώνει την αποτόνωση του βράχου. 129

Σχήμα 120: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο πέμπτο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του μεσαίου τμήματος του Βόρειου κλάδου, με την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης.

..... 129

Σχήμα 121: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο έκτο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του κατώτερου τμήματος του Βόρειου κλάδου, χωρίς όμως την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης. Οι κόκκινες ακτίνες είναι η πίεση που προσομοιώνει την αποτόνωση του βράχου. 129

Σχήμα 122: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο έβδομο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του κατώτερου τμήματος του Βόρειου κλάδου, με την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης. 130

Σχήμα 123: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο όγδοο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του ανώτερου τμήματος του Νότιου κλάδου, χωρίς όμως την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης. Οι κόκκινες ακτίνες είναι η πίεση που προσομοιώνει την αποτόνωση του βράχου. 130

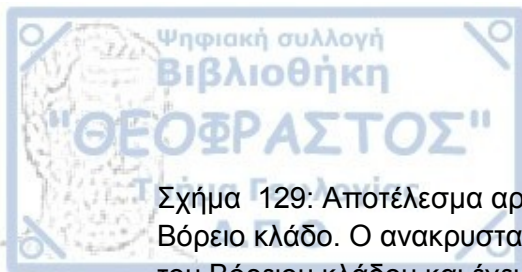
Σχήμα 124: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο ένατο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του ανώτερου τμήματος του Νότιου κλάδου, με την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης. 131

Σχήμα 125: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο δέκατο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του μεσαίου τμήματος του Νότιου κλάδου, χωρίς όμως την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης. Οι κόκκινες ακτίνες είναι η πίεση που προσομοιώνει την αποτόνωση του βράχου. 131

Σχήμα 126: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο ενδέκατο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του μεσαίου τμήματος του Νότιου κλάδου, με την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης. 131

Σχήμα 127: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο δωδέκατο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του κατώτερου τμήματος του Νότιου κλάδου, χωρίς όμως την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης. Οι κόκκινες ακτίνες είναι η πίεση που προσομοιώνει την αποτόνωση του βράχου. 132

Σχήμα 128: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο δέκατο τρίτο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του κατώτερου τμήματος του Νότιου κλάδου, με την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης. 132



Σχήμα 129: Αποτέλεσμα αριθμητικής ανάλυσης στην χιλιομετρική θέση 10725 στον Βόρειο κλάδο. Ο ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος τοποθετείται 4m από την στέψη του Βόρειου κλάδου και έχει κλίση 10° 135

Σχήμα 130: Αποτέλεσμα αριθμητικής ανάλυσης στην χιλιομετρική θέση 10705 στον Νότιο κλάδο. Ο ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος τοποθετείται 6,5m από την στέψη του Βόρειου κλάδου και έχει κλίση 10° 136

παραμορφώσεων που μετρήθηκαν μέσα στην σήραγγα όσο και με την χρήση των στοιχείων χαρτογράφησης των μετώπων.

Ανακεφαλαιώνοντας το αντικείμενο και ο σκοπός της διατριβής συνοψίζεται στα εξής:

- Κατασκευή και σύγκριση του τεχνικογεωλογικού μοντέλου πριν και μετά την κατασκευή της σήραγγας.
- Κατανόηση της συμπεριφοράς των σχηματισμών της T2 σήραγγας κατά την διάτρησή της.
- Διαχείριση στοιχείων της γεωμετρίας των ασυνεχειών για την πρόβλεψη σφηνοειδών αστοχιών και των παραμέτρων αυτών, σε περιβάλλον υπόγειου έργου.
- Προσομοίωση συγκλίσεων σε βραχομάζες με πτωχά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά, με την χρήση ανάστροφων αναλύσεων.
- Προσομοίωση της γεωμετρίας των φυλλιτών μέσα στα στρώματα των ανακρυσταλλωμένων ασβεστολίθων.

1.2 Γενικά χαρακτηριστικά του Έργου.

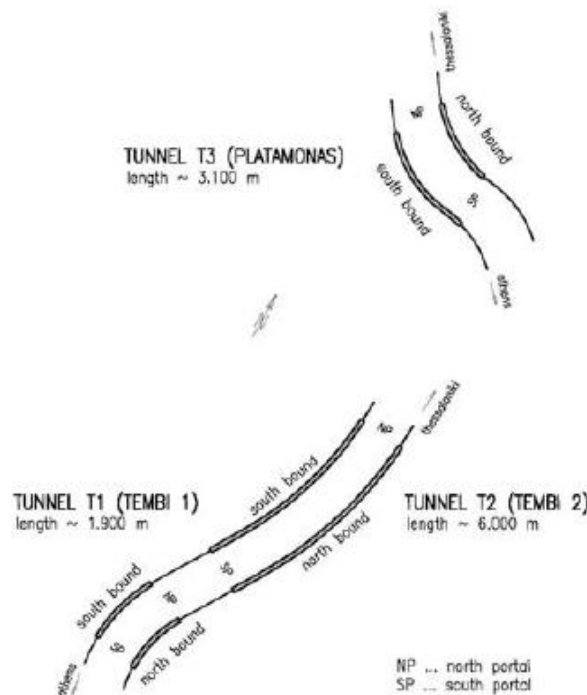
Η σήραγγα T2, που εξετάζεται στην παρούσα εργασία, είναι μία από τις τρεις δίδυμες σήραγγες που κατασκευάστηκαν στα πλαίσια της κατασκευής του οδικού δικτύου Maliakos-Kleidi Motorway που τοποθετούνται στην περιοχή των Τεμπών – Ραψάνης (κοιλάδα Τεμπών) και στη περιοχή Πλαταμώνα – Σκοτίνα. Το ελληνικό κράτος ανέθεσε το έργο στην εταιρία ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΣ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Ε, ως προς το σχεδιασμό, χρηματοδότηση, κατασκευή και συντήρηση του έργου. Η τελευταία ανέθεσε τον σχεδιασμό του έργου και την μελέτη στη κοινοπραξία της ILF Consulting Engineers, Innsbruck Austria, Όμικρον Κάπα Μελετητική Α.Ε, Athens Greece and Hochtief Consult Infrastructure, Essen Germany. Την κατασκευή και τελμάτωση του έργου ανέλαβε η εταιρία Maliakos Kleidi Construction Joint Venture (MKC-JV), που με αυτή την εταιρία είναι συνδεδεμένη η Essen Germany. Οι εργασίες ξεκίνησαν το 2008 με την χρήση της συμβατικής μεθόδου εκσκαφής NATM. Από το 2010 με 2011 οι εργασίες σταμάτησαν λόγω οικονομικών προβλημάτων. Ξεκίνησαν εκ νέου το 2014 και τερματίστηκαν το 2016. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται οι δίδυμες σήραγγες T2 κατά το στάδιο κατασκευής.

Η σήραγγα T2 είναι μεγαλύτερη από τις T1 και T3 με μήκος περίπου 6000m και βρίσκεται κοντά στο χωριό Ραψάνη. Η T1 σήραγγα με την δίδυμη της έχει μήκος 1900m και βρίσκονται κοντά στο χωριό Τέμπη, από το οποίο πήρε το

όνομα της η κοιλάδα καθώς και τα αρχικά των τριών σήραγγων. Η σήραγγα T3 έχει μήκος 2800m και βρίσκεται κοντά στο χωρίο του Πλαταμώνα. Η οδοποιία που περιλαμβάνει το σύστημα των τριών ζευγαριών των σηράγγων έχει διεύθυνση από Νότια (Αθήνα/Μαλιακός) προς Βόρεια (Θεσσαλονίκη/Κλειδί) (Σχήμα 2). Η σήραγγα T2 όπως και οι υπόλοιπες είναι σχεδιασμένες σύμφωνα με τις απαιτήσεις της κυκλοφοριακής ασφάλειας με δύο λωρίδες κυκλοφορίας των 3,75m και με λωρίδα ασφαλείας 2,5m. Τις δύο σήραγγες κάθε ζεύγους τις χωρίζει βραχομάζα πάχους 11,7m περίπου, με κάποιες διαφοροποιήσεις.



Σχήμα 1: T2 δίδυμες σήραγγες κατά την διάρκεια κατασκευής τους (wikimapia.org).



Σχήμα 2: Κάτοψη των σήραγγων T1, T2, T3.

1.3 Δεδομένα και Μεθοδολογία

Για την επίτευξη των στόχων της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα η γεωλογική, τεχνικογεωλογική και υδρογεωλογική μελέτη σχεδιασμού της T2 σήραγγας. Η μελέτη σχεδιασμού περιέχει στοιχεία σχετικά με τους γεωλογικούς σχηματισμούς που αναμένονταν να συναντηθούν κατά την διάνοιξη της σήραγγας, ανά χιλιομετρική θέση. Γίνεται εκτίμηση για την κάθε θέση των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών με ποιοτικές αναφορές. Ακόμη, γίνεται αναφορά σε δεδομένα σχετικά με την υδροπερατότητα των σχηματισμών τόσο από την περιγραφή της γενικότερης υδρογεωλογίας της περιοχής, όσο και από δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε γεωτρήσεις.

Μαζί με την μελέτη σχεδιασμού, παραχωρήθηκαν σε ηλεκτρονική μορφή 1854 Δελτία Γεωλογικής Χαρτογράφησης του Μετώπου της σήραγγας T2 και της δίδυμης της. Αυτά τα δελτία εμπεριέχουν στοιχεία σχετικά με τον σχηματισμό που συναντήθηκε, τον βαθμό αποσάθρωσης, την ταξινόμηση GSI, τα συστήματα ασυνεχειών με την γεωμετρία τους και τις υδατικές συνθήκες που συναντήθηκαν. Στα δελτία γίνεται αναφορά στα προτεινόμενα μέτρα υποστήριξης, όχι όμως σε αυτά που τοποθετήθηκαν. Στα στοιχεία που δόθηκαν εμπεριέχονται και οι μετρήσεις των μετακινήσεων των τοπογραφικών

στόχων σε 2801 αρχεία. Τα συγκεκριμένα αρχεία ήταν στην πλειονότητα τους καταγεγραμμένα σε φύλλα Excel, με ελλείψεις ως προς την απόσταση του μετώπου από τους μετρηθείς στόχους ανά ημερομηνία και του ημερολογίου εργασιών.

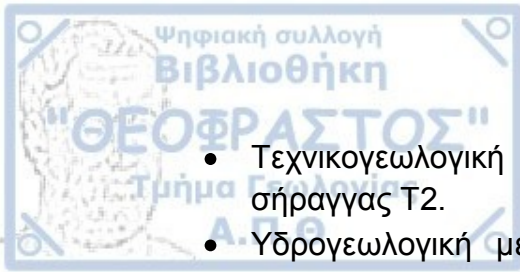
Υπάρχουν ελλείψεις στα δεδομένα σχετικά με την τοπική γεωλογική χαρτογράφηση και τα φύλλα των γεωτρήσεων. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε όπως θα αναφερθεί και παρακάτω η παραδοχή ότι η επιφάνεια των γεωλογικών τομών της μελέτης σχεδιασμού ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα όπως και τα στοιχεία των γεωτρήσεων που εμφανίζονται σε αυτές.

Βασικό για την επίτευξη του προσδιορισμού είναι η μελέτη των διαθέσιμων στοιχείων και η βιβλιογραφική αναζήτηση. Η βιβλιογραφική αναζήτηση επικεντρώθηκε περισσότερο στην συμπεριφορά των σχηματισμών με πτωχά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά. Η μελέτη των τελευταίων αποτελεί έναν από τους βασικούς στόχους της διατριβής. Πέρα από αυτά τα στοιχεία πραγματοποιήθηκε αναζήτηση σχετικά με τη γενικότερη γεωλογία της περιοχής του Ολύμπου-Όσσας, ώστε να γίνει πιο κατανοητή η γεωλογία της στενής περιοχής έρευνας.

Τα δεδομένα των Δελτίων Γεωλογικής Χαρτογράφησης Μετώπου καταγράφηκαν σε φύλλο Excel. Αφού καταχωρήθηκαν ταξινομημένα ανά χιλιομετρικές θέσεις τα δεδομένα που αντλήθηκαν από αυτά χρησιμοποιήθηκαν στην μοντελοποίηση του γεωλογικού και τεχνικογεωλογικού μοντέλου, μαζί με τα στοιχεία από τις γεωτρήσεις (ποιοτικά) και από τα επιφανειακά δεδομένα του μοντέλου της μελέτης. Τα γεωλογικά στοιχεία από τις μετρήσεις που πραγματοποίησε η ανάδοχος του έργου στο μέτωπο χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση της γεωμετρίας των σχηματισμών και των συστημάτων διακλάσεων. Έπειτα συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα στοιχεία της μελέτης. Επίσης επιλέχτηκαν δύο θέσεις όπου οι γεωμετρίες των σχηματισμών είναι κατάλληλες για την εφαρμογή του προγράμματος Unwedge.

Τα δεδομένα των καταγραφών των μετακινήσεων μελετήθηκαν ώστε να επιλεχθούν δύο θέσεις όπου παρουσιάστηκαν σημαντικές συγκλίσεις με ταυτόχρονη παρουσία φυλλίτη ανάμεσα σε στρώματα ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου. Αφού εντοπίστηκαν οι δύο αυτές θέσεις, υπολογίστηκαν οι μέγιστες μετακινήσεις των τοπογραφικών στόχων και έγινε προσπάθεια να προσομοιωθούν μέσα από ανάστροφες αναλύσεις με το πρόγραμμα Phase2 v8 αλλά και να εξεταστεί ο βαθμός που επηρεάζουν τα στρώματα των ανακρυσταλλωμένων ασβεστολίθων το επίπεδο των παραμορφώσεων.

Συνοψίζοντας τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και μελετήθηκαν σε αυτή τη διατριβή είναι τα εξής:



- Τεχνογεωλογική και γεωλογική μελέτη πριν την κατασκευή της σήραγγας T2.
- Υδρογεωλογική μελέτη της περιοχής της σήραγγας T2 πριν την κατασκευή.
- 1854 Δελτία Γεωλογικής Χαρτογράφησης του Μετώπου της σήραγγας T2 και της δίδυμης της. Οι πληροφορίες που περιέχονται σ' αυτά είναι οι εξής:
 - ο Γεωλογικός τύπος που συναντάται.
 - ο Ταξινόμηση GSI των σχηματισμών.
 - ο Βαθμός αποσάθρωσης των σχηματισμών.
 - ο Μονοαξονική θλυπτική αντοχή άρρηκτου βράχου σ_{ci} των σχηματισμών.
 - ο Γεωμετρικά στοιχεία των ασυνεχειών.
 - ο Υδατικές συνθήκες.
 - ο Εκτίμηση συμπεριφοράς βραχομάζας.
 - ο Προτεινόμενα μέτρα υποστήριξης.
- 2801 αρχεία με τις μετακινήσεις που καταγράφηκαν από τους τοπογραφικούς στόχους.

2^ο Κεφάλαιο: Περιπτώσεις παραμορφώσεων σε σήραγγες

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει αναφορά σε περιπτώσεις παραμορφώσεων, αρχικά στον Διεθνή και έπειτα στον Ελληνικό χώρο. Στην κάθε περίπτωση που θα αναφερθεί θα παρουσιαστούν οι γεωλογικές συνθήκες που επικρατούσαν όταν εκδηλώθηκαν οι συγκλίσεις, το πάχος των υπερκειμένων, τα μέτρα υποστήριξης, και τα γενικότερα στοιχεία των διατομών όπου υπήρχαν δεδομένα. Στην κάθε περίπτωση γίνεται και μια περιγραφή της αστοχίας ως προς το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά της.

Ο σκοπός της μελέτης των επιμέρους περιπτώσεων είναι η καλύτερη γνώση των συνθηκών που επικρατούν σε ένα υπόγειο έργο όπου εκδηλώνονται τασικές αστοχίες. Μ' αυτόν τον τρόπο είναι πιο εύκολη η μελέτη και κατανόηση των τασικών αστοχιών που προέκυψαν στην σήραγγα T2 των Τεμπών, γεγονός που βοηθάει στην καλύτερη μοντελοποίηση με την χρήση του Phase2 στο Κεφάλαιο 8.

2.1 Περιπτώσεις παραμορφώσεων σε σήραγγες στον Διεθνή χώρο.

2.1.1 Σήραγγες στο Ordu, Tokat, Amasya, Bartin και στη Σμύρνη της Τουρκίας.

Στην εργασία των Okay Aksoy et al. (2012) χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από τις σήραγγες Ordu, Tokat, Amasya, Bartin για υδροηλεκτρικούς σκοπούς και την μητροπολιτική σήραγγα στην Σμύρνη. Έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων μέσω αριθμητικών αναλύσεων και εμπειρικών τύπων πάνω στις πραγματικές συγκλίσεις που πραγματοποιήθηκαν. Οι υδροηλεκτρικές έχουν εμβαδόν διατομής 22m² ενώ η μητροπολιτική έχει 64m². Οι σήραγγες πραγματοποιήθηκαν σε γεωλογικά περιβάλλοντα διαφορετικά η μια από την άλλη. Τα στοιχεία και οι περιγραφές τους αποτυπώνονται στον Πίνακα 1. Στα υλικά διεξήχθησαν ταξινομήσεις (RMR, Q, GSI, RMI) και εργαστηριακές δοκιμές, όπως δοκιμές μονοαξονικής θλίψης στον άρρηκτο βράχο. Οι ζώνες παραμορφώσεων υπολογίστηκαν με την χρήση αριθμητικών αναλύσεων και μοντελοποίηση με την βοήθεια των εμπειρικών τύπων των Nicholson and Bieniawski (1990), Palmstrom (1996), Palmstrom and Singh (2001), Barton (2002), Sonmez et al. (2004), Hoek and Diederichs (2006).

Πίνακας 1: Γεωλογικά στοιχεία, τύπος εκσκαφής και υποστήριξης και χαρακτηριστικά της βραχομάζας στις σήραγγες στο Ordu, Tokat, Amasya, Bartin και στη Σμύρνη της Τουρκίας. (Aksoy et al., 2012).

Location	Tunnel code	Rock units	Excavation type	Support type	
Ordu	TO-1	Basalt	Blasting	Shotcrete, d = 5 cm Bolt, l = 2 m and 2×2	Blocky, very few widely spaced discontinuities, slightly weathered, RQD: 75
	TO-2	Basalt	Blasting	Shotcrete, d = 5 cm Bolt, l = 2 m and 2×2	Blocky, very few widely spaced discontinuities, slightly weathered, RQD: 80
	TO-3	Basalt	Blasting	Shotcrete, d = 5 cm Bolt, l = 2 m and 2×2	Blocky, very few widely spaced discontinuities with ground water, slightly weathered, RQD: 55
Amasya	TA1-1	Clayey limestone	Impact hammer and blasting	Shotcrete, d = 10 cm Bolt, l = 2.5 m and 2×2, Steel support = 0.8–1.25 m	Very blocky, moderately weathered with clay band, RQD: 55
	TA1-2	Sandstone	Impact hammer and blasting	Shotcrete, d = 10 cm Bolt, l = 2.5 m and 2×2, Steel support = 0.8–1.25 m	Very blocky, slightly weathered with clay band, RQD: 65
Tokat	TT1-1	Claystone	Impact hammer	Shotcrete, d = 10–15 cm Bolt, l = 2–3 m and 2×2, Steel support = 0.8–1.00 m	Blocky-disturbed, faulted and many discontinuities, highly weathered, RQD: 30
	TT1-2	Sandy limestone	Blasting	Shotcrete, d = 10–15 cm Bolt, l = 2–3 m and 2×2, Steel support = 0.8–1.10 m	Disintegrated, slightly weathered, RQD: 35
	TT2-1	Claystone	Impact hammer	Shotcrete, d = 10–15 cm Bolt, l = 2–3 m and 2×2, Steel Support = 0.8–1.20 m	Blocky-disturbed, faulted and many discontinuities with underground water, highly weathered, RQD: 25
	TT3-1	Claystone–mudstone	Impact hammer	Shotcrete, d = 10–15 cm Bolt, l = 2–3 m and 2×2, Steel support = 0.8–1.20 m	Blocky-disturbed, faulted and many discontinuities, moderately weathered, RQD: 30–35
	TT3-2	Claystone–mudstone	Impact hammer	Shotcrete, d = 10–15 cm Bolt, l = 2–3 m and 2×2, Steel support = 0.8–1.20 m	Blocky-disturbed, faulted and many discontinuities with clay band, , highly weathered, RQD: 35
	TT3-3	Claystone–mudstone	Impact hammer	Shotcrete, d = 10–15 cm Bolt, l = 2–3 m and 2×2, Steel support = 0.8–1.20 m	Blocky, slightly weathered, RQD: 70–75
Bartın	TB1-1	Limestone	Blasting	Shotcrete, d = 5–10 cm Bolt, l = 2 m and 2.5×2.5 m	Blocky, slightly weathered, RQD: 70–75
	TB1-2	Sandstone	Blasting	Shotcrete, d = 5–10 cm Bolt, l = 2 m and 2.5×2.5 m	Blocky, highly weathered, RQD: 30–35
Izmir	TI1-A	Andesite	Impact hammer	Shotcrete, d = 20–30 cm Bolt, l = 4–6 m and 1.5×1.5, Steel support = 1–1.5 m	Very blocky, slightly weathered andesite, RQD: 50–55
	TI1-S	Sandstone	Impact hammer	Shotcrete, d = 20–30 cm Bolt, l = 4–6 m and 1×1, Steel support = 1–1.25 m	Very blocky, moderately weathered, sometimes highly weathered siltstone and claystone, RQD: 35–45 Particle, severely altered, foliated, laminated, with clay filling, very weak with underground water, yellowish brown flysch, RQD: 0–15

Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και οι ταξινομήσεις των σχηματισμών RMR, Q, GSI, RMI απεικονίζονται στον Πίνακα 2 και Πίνακα 3 αντίστοιχα.

Οι παραμορφώσεις που παρατηρήθηκαν κατά την κατασκευή των υπόγειων έργων φτάνουν μέχρι και τα 20mm περίπου. Στην σήραγγα στο Ordu σημειώθηκαν μέγιστες μετατοπίσεις της τάξης των 5mm, στο Amasya 10mm, στο Tokat 11mm, στο Bartın 6,5mm και στην Σμύρνη έως και 20mm (Aksoy et al., 2012).

Πίνακας 2: παράμετροι των υλικών στις σήραγγες στο Ordu, Tokat, Amasya, Bartın και στη Σμύρνη της Τουρκίας. (Aksoy et al., 2012).

Location	Rock unit	Water content (%)	Unit weight (kN/m ³)	Uniaxial compressive strength (σ_{ci}) (MPa)	Deformation modulus (E_i) (GPa)	Cohesion (C_{mass}) (MPa)	Internal friction angle of rock mass ($^\circ$)	Poisson ratio
Ordu	Basalt	2.35	26.2	195	18.25	2.58	65.89	0.23
	Basalt	2.35	26.2	201	18.90	3.0	66.14	0.23
	Basalt	2.35	26.2	246	19.45	5.22	66.70	0.23
Amasya	Clayey limestone	8.65	23.4	28.5	7.15	0.21	37.93	0.32
Tokat	Sandstone	7.15	23.8	32.5	8.65	0.4	51.93	0.28
	Claystone	5.70	23.5	32.1	3.15	0.08	22.80	0.34
	Sandy limestone	2.1	24.2	99.45	5.55	0.22	41.84	0.25
	Claystone	5.25	23.5	44.0	5.05	0.08	23.72	0.34
	Claystone–mudstone	9.10	23.9	51.0	6.45	0.13	28.77	0.30
	Claystone–mudstone	11.20	23.7	49.4	4.85	0.11	26.86	0.30
Bartın	Limestone	2.15	26.5	119.2	9.36	1.15	56.49	0.23
	Sandstone	3.65	21.7	145.2	3.32	0.25	47.48	0.28
Izmir	Andesite	4.0	27.8	64.1	12.14	0.50	66.80	0.26
	Sandstone	6.0	27.2	42.1	7.85	0.26	60.71	0.24
	Flysch	16.0	26.3	26.3	0.90	0.081	41.72	0.30

Πίνακας 3: Ταξινομήσεις υλικών στις σήραγγες στο Ordu, Tokat, Amasya, Bartin και στη Σμύρνη της Τουρκίας. (Aksoy et al., 2012).

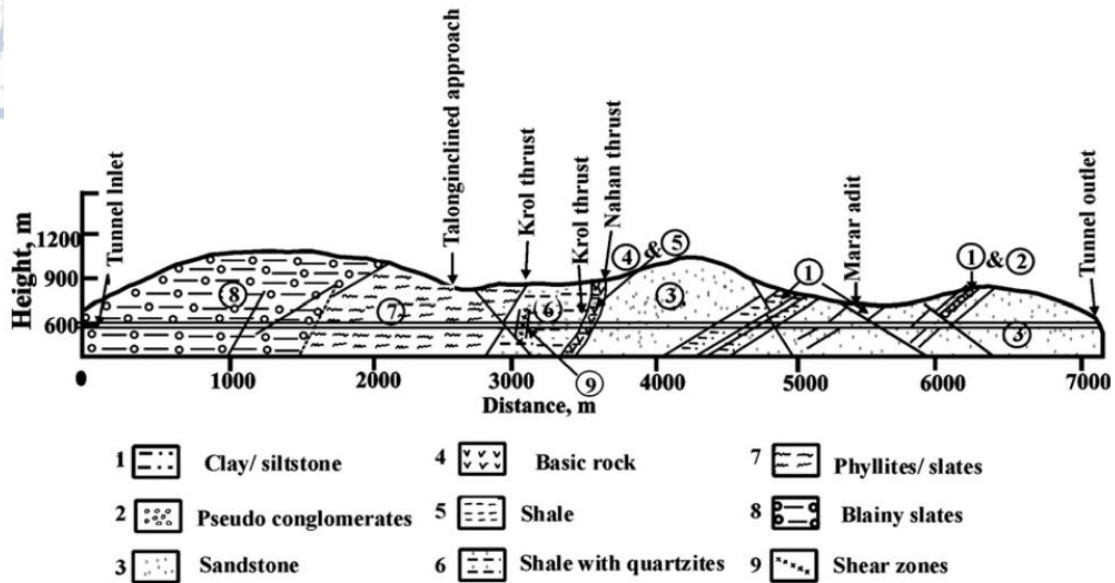
Location	Rock unit	RMR	Q	GSI	RMi
Ordu	Basalt	68	7.38	73	12.41
	Basalt	70	8.91	75	17.97
	Basalt	74	11.39	79	37.7
Amasya	Clayey limestone	50	6.84	52	0.41
	Sandstone	59	16.31	64	2.34
Tokat	Claystone	25	0.37	30	0.004
	Sandy limestone	30	0.21	35	0.01
	Claystone	23	0.22	28	0.003
	Claystone–mudstone	30	0.41	35	0.01
	Claystone–mudstone	27	0.30	32	0.006
Bartın	Limestone	60	4.95	65	2.82
	Sandstone	29	0.04	32	0.00906
Izmir	Andesite	50	3.04	55	0.44
	Sandstone	40	1.43	45	0.069
	Flysch	17	0.01	22	0.001

2.2.2 Περιπτώσεις σηράγγων στα Ιμαλάια.

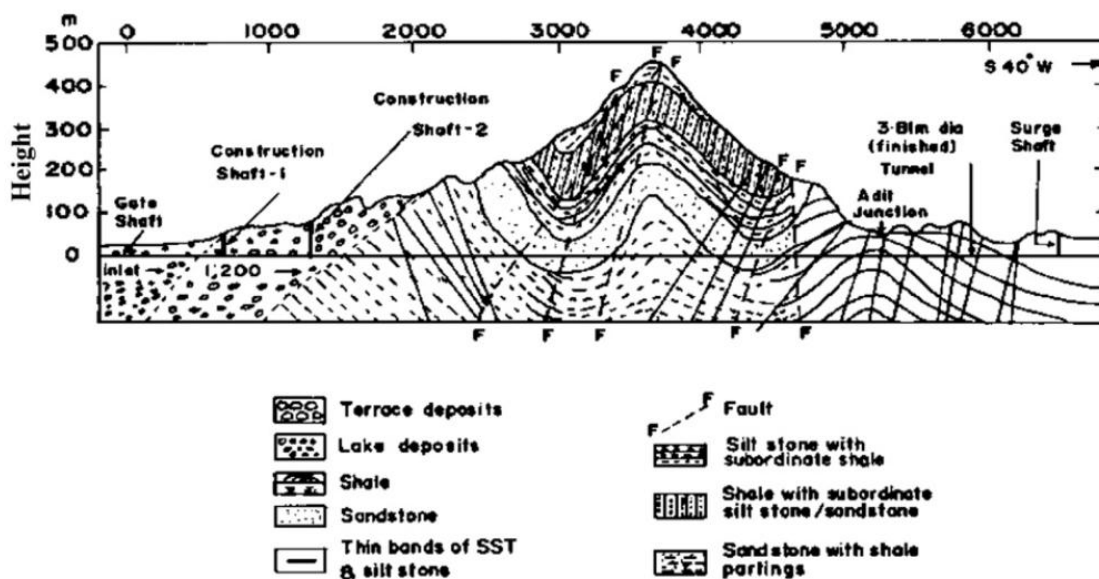
Στα Ιμαλάια πραγματοποιήθηκε πλήθος σηράγγων και θα γίνει αναφορά σε κάποιες από αυτές (R.D. Dwivedi et al., 2014). Παρουσιάστηκαν φαινόμενα μεγάλων συγκλίσεων, εφόσον υπήρχαν πετρώματα με ασθενή τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά και υψηλές πιέσεις λόγω των μεγάλων υπερκείμενων.

Η σήραγγα Giri–Bata κατασκευάστηκε στα πλαίσια ενός έργου υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Ινδία. Έχει μήκος 7,1km και διάμετρο 3,6m. Η σήραγγα διαπερνά συντεθλιμμένους ιλυολίθους, φυλλίτες και κάποιους χαλαζίτες (Σχήμα 3). Οι οριζόντιες τάσεις που επικρατούσαν στην περιοχή προς τις κατακόρυφες δίνουν λόγο 2. Η διάνοιξη πραγματοποιήθηκε με συμβατικά μέσα. Τα μέτρα υποστήριξης ήταν χαλύβδινα πλαίσια και αγκυρώσεις. Στην χιλιομετρική θέση 1300m εντοπίστηκε ζώνη ρήγματος και παρατηρήθηκαν συγκλίσεις 7%.

Η σήραγγα Loktak βρίσκεται στο Manipur, στην Βορειοανατολική Ινδία για σκοπούς άρδευσης και ηλεκτροπαραγωγής από την λίμνη Loktak. Το μήκος της είναι 6,5km και έχει διάμετρο 3,65m. Στα πετρώματα που διαπερνά περιλαμβάνονται αργιλικόι σχιστόλιθοι με ενστρώσεις ψαμμιτών και ιλυολίθων (Σχήμα 4). Η διάνοιξη πραγματοποιήθηκε με συμβατικά μέσα και οι συγκλίσεις που παρατηρήθηκαν ήταν της τάξης 7%.



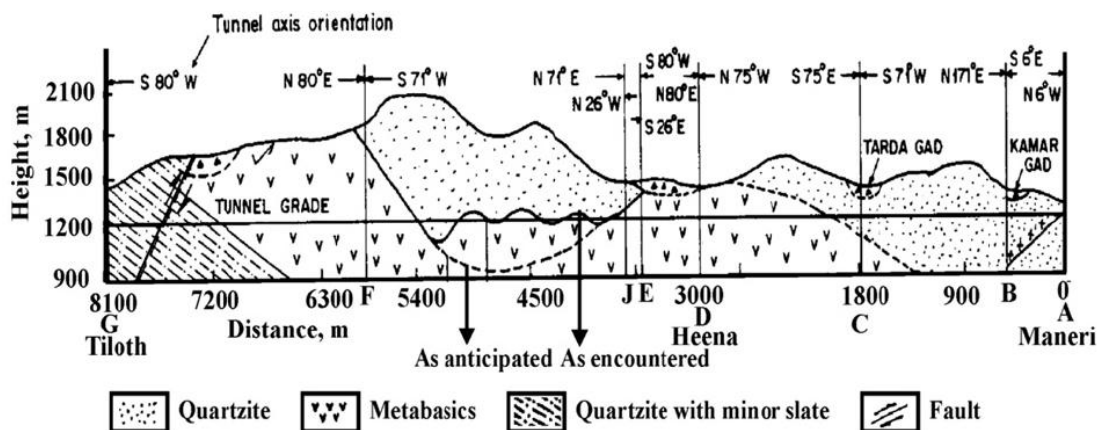
Σχήμα 3: Γεωλογία της περιοχής που διαπερνά η σήραγγα Giri-Bata (R.D. Dwivedi et al., 2014, Dube, 1979).



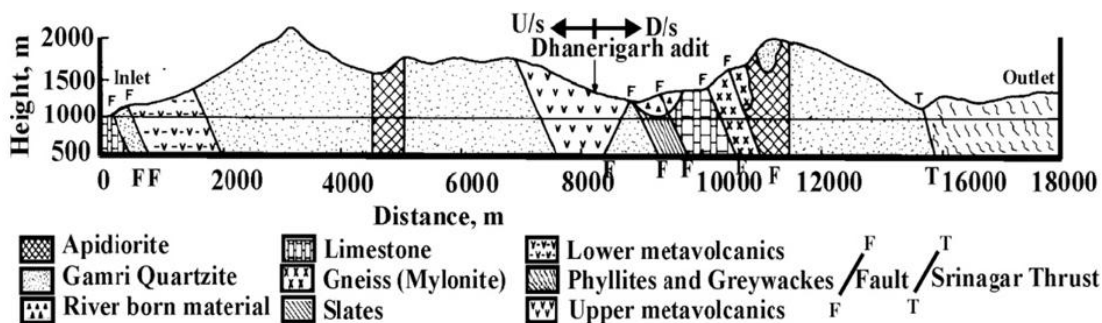
Σχήμα 4: Γεωλογία της περιοχής που διαπερνά η σήραγγα Loktak (R.D. Dwivedi et al., 2014, Malhotra et al. 1982).

Η σήραγγα στο Maneri Bhalī στον ποταμό Bhagirathi στην Ινδία έγινε για παραγωγή 84 MW. Η σήραγγα έχει μήκος 8,56km και διάμετρο 4,75m και διαπερνά χαλαζίτες με ενστρώσεις φυλλιτών, σχιστολίθων και μεταβασικών πετρωμάτων (Σχήμα 5, Σχήμα 6). Σε μεταβασίτες με υπερκείμενα 900m παρουσιάστηκαν προβλήματα συγκλίσεων μέχρι και 7,3%.

Για ενεργειακή ενίσχυση, πραγματοποιήθηκε και δεύτερο έργο στην Ινδία για παραγωγή ενέργειας 304MW. Η νέα σήραγγα έχει μήκος 16km, διάμετρο 6m και διαπερνά χαλαζίτες, μεταβασίτες, ασβεστολίθους και διορίτες. Επιπλέον, διανοίχτηκε με συμβατικά μέσα και οι παραμορφώσεις που παρατηρήθηκαν ήταν της τάξης 2-3% σε μεταφαιστειακά πετρώματα και κερματισμένα μεταβασιτικά.



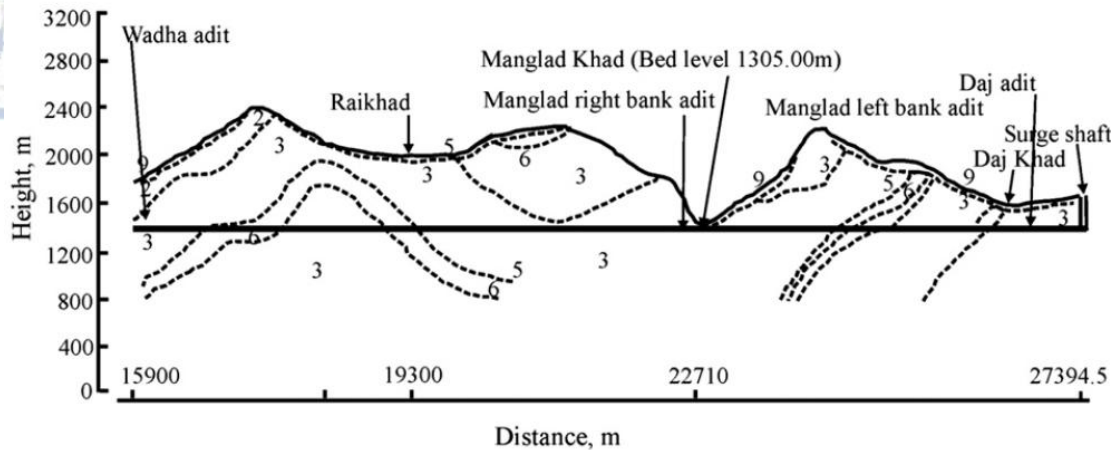
Σχήμα 5: Γεωλογία της περιοχής που διαπερνά η πρώτη σήραγγα Maneri Bhal (R.D. Dwivedi et al., 2014, Goel, 1994).



Σχήμα 6: Γεωλογία της περιοχής που διαπερνά η δεύτερη σήραγγα Maneri Bhal (R.D. Dwivedi et al., 2014, Varshney, 1988).

Η σήραγγα Noonidih-Jitpur πρόκειται για σήραγγα ανθρακωρυχείου που βρίσκεται στην περιοχή Jharia Coalfields στην Ινδία (Σχήμα 7). Για την διάνοιξη χρησιμοποιήθηκαν συμβατικά μέσα και παρατηρήθηκαν κάποια προβλήματα παραμορφώσεων. Τέλος, οι συγκλίσεις ήταν της τάξης των 3% με πιέσεις υποστήριξης των 0,05–0,20 MPa.

Η σήραγγα Tala βρίσκεται στο Νοτιοδυτικό Μπουτάν στα Ιμαλάια και εξυπηρετεί τις υδροηλεκτρικές ανάγκες της περιοχής. Η σήραγγα έχει μήκος 22m, διάμετρο 6,8m και τα πετρώματα που διαπερνά είναι αποσαθρωμένος σχιστόλιθος με ενστρώσεις χαλαζίτη και αμφιβολιτικό γνεύσιο. Η διάνοιξη πραγματοποιήθηκε με συμβατικά μέσα και οι παραμορφώσεις που παρουσιάστηκαν ήταν 3% και με πίεση υποστήριξης 0,61094 MPa.



Σχήμα 7: Γεωλογία της περιοχής που διαπερνά η δεύτερη σήραγγα Noonidih-Jitpur (R.D. Dwivedi et al., 2014, Kumar, 2002).

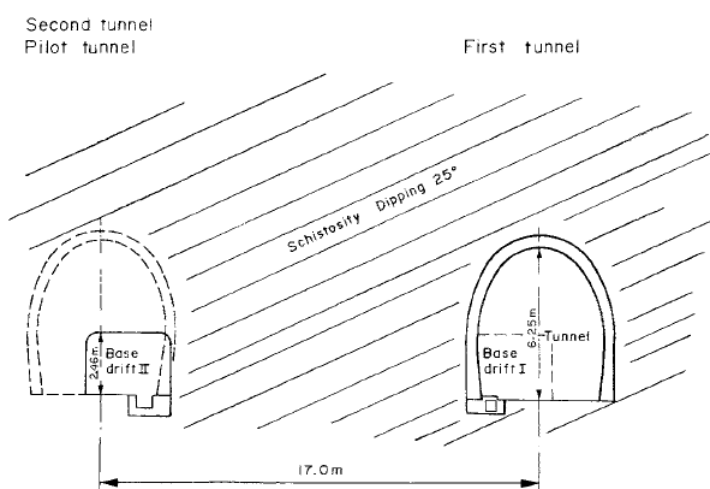
Η σήραγγα Kaligandaki "A" βρίσκεται στα Ιμαλία και πραγματοποιήθηκε για υδροηλεκτρικούς σκοπούς για παραγωγή 140KW. Έχει εμβαδόν διατομής 60m^2 και διαπερνά μια τεκτονικά διαταραγμένη περιοχή, με θαλάσσια πετρώματα Προκάμβριας και Παλαιοζωικής ηλικίας. Το έργο διαπερνά παραμορφωμένους, αποσαθρωμένους, φυλλοποιημένους, πυριτικούς και φυλλιτικούς φυλλίτες. Στο 80% της διάνοιξης τα υπερκείμενα είναι πάνω από 200m και με μέγιστα υπερκείμενα 600m. Η διάνοιξη πραγματοποιήθηκε με συμβατικά μέσα και οι παραμορφώσεις που παρατηρήθηκαν κυμαίνονται από 1,4-8,5%.

Η σήραγγα Nathra Jhakri είναι υδροηλεκτρικού σκοπού και βρίσκεται στην περιοχή Himachal Pradesh στην Ινδία. Το έργο έχει διάμετρο 10,15m μήκος 27km περίπου. Τα κύρια πετρώματα της περιοχής είναι γνεύσιος, χαλαζιακός-βιοιτιτικός σχιστόλιθος, αμφιβολίτες και κατά θέσεις πηγματίτες. Η εκσκαφή πραγματοποιήθηκε μέσα από 7 στοές με συμβατικά μέσα. Στις χιλιομετρικές θέσεις 5900m έως 27394.5m και ιδιαίτερα από 24438.0 m έως 24745.0m παρατηρήθηκαν έντονες συγκλίσεις λόγω του μεγάλου πάχους των υπερκειμένων (600-700m) και της κακής ποιότητας του σχιστολίθου. Στην σήραγγα οι παραμορφώσεις που εντοπίστηκαν κυμαίνονται μεταξύ 3,5-6%.

Η σήραγγα Chenani-Nashri είναι μια διπλή σήραγγα της εθνικής οδού στην Ινδία των 9km. Στην κάθε σήραγγα το οδόστρωμα έχει πλάτος 9,35m και από την κάθε πλευρά υπάρχει άλλο ένα διάζωμα των 1,2m. Ανά 300m υπάρχουν συνδετικές σήραγγες για λόγους ασφαλείας. Οι σήραγγες αυτές διανοίχτηκαν με συμβατική μέθοδο. Διαπερνούν ιζηματογενή πετρώματα, όπως αργιλικούς σχιστόλιθους, ιλυολίθους, ψαμμίτες. Οι παραμορφώσεις που παρατηρήθηκαν στους ιλυολίθους είναι 1,3-1,7%.

2.1.3. Σήραγγες Simplon

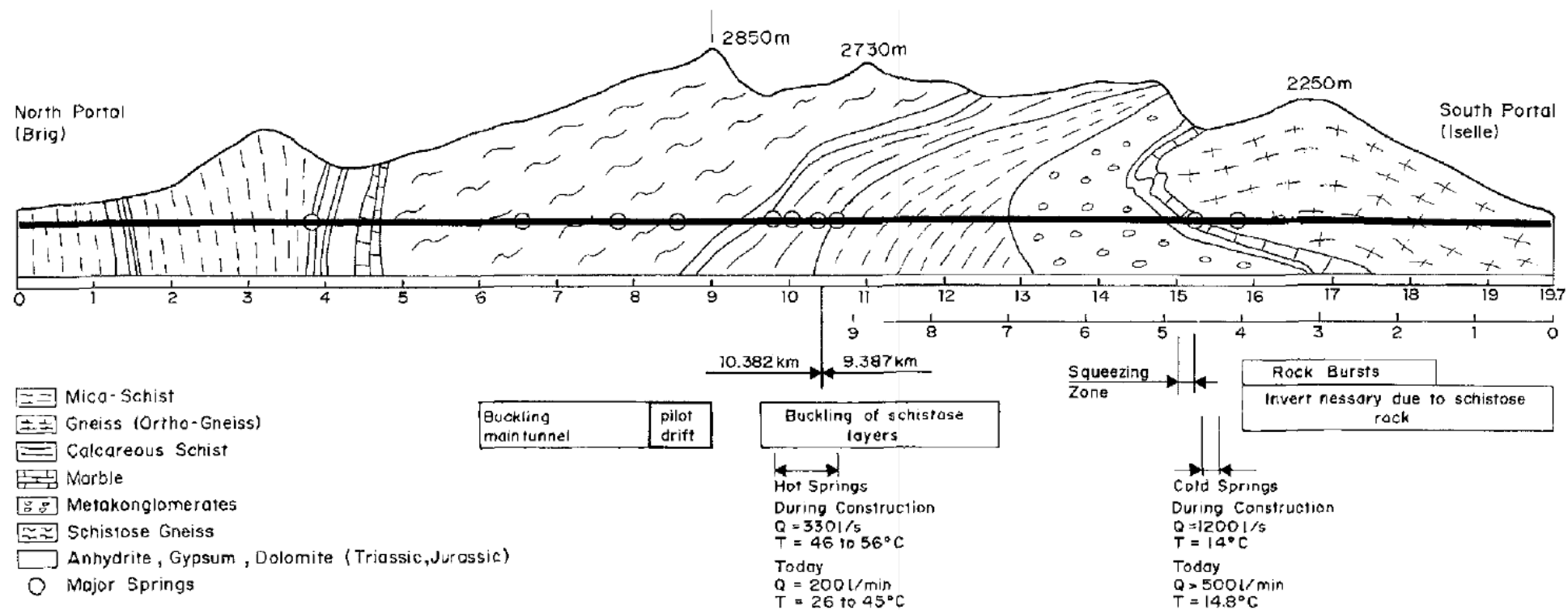
Οι Simplon σήραγγες είναι δίδυμες σιδηροδρομικές σήραγγες που διασχίζουν τα Ιταλό-Ελβετικά σύνορα. Το έργο έχει μήκος 20km και διανοίχτηκε σε δύο φάσεις (Σχήμα 8). Το 1898-1906 κατασκευάστηκε ο ένας κλάδος με δύο πιλοτικές σήραγγες και η δεύτερη σήραγγα διανοίχτηκε το 1913-1914. Η μία πιλοτική βρίσκεται στο τμήμα της πρώτης σήραγγας και η δεύτερη σε τμήμα της δεύτερης. Η διάνοιξη πραγματοποιήθηκε με συμβατικά μέσα και σε πολλές φάσεις. Αυτός ο τρόπος διευκόλυνε στον εξαερισμό και στην πρόσβαση στην πρώτη σήραγγα. Σε κάποια σημεία της σήραγγας τα υπερκείμενα έφταναν τα 2000m.



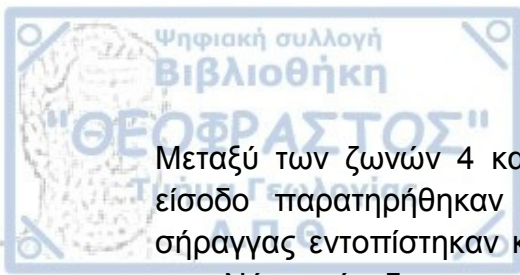
Σχήμα 8: Διάταξη των σήραγγων και των πιλοτικών τους στην σήραγγα Simplon (Brandau, 1909).

Ανάλογα με την γεωλογία η σήραγγα χωρίζεται σε πέντε ζώνες (Σχήμα 9):

1. Ζώνη ασβεστιτικών μαρμαρυγιακών σχιστολίθων για τα πρώτα 4 περίπου χιλιόμετρα από την βόρεια πύλη.
2. Στις χιλιομετρικές θέσεις 4-9,5 εμφανίζονται σχιστοποιημένοι γνεύσιοι.
3. Στις χιλιομετρικές θέσεις 9,5-10,5 εντοπίστηκαν μάρμαρα και ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι
4. Στις χιλιομετρικές θέσεις 10,5 με 15 εντοπίζεται ένα ακατάστατο μίγμα από μαρμαρυγιακό σχιστόλιθο, μάρμαρο και ασβεστιτικό σχιστόλιθο.
5. Στις χιλιομετρικές θέσεις 15 έως την Νότια είσοδο εντοπίστηκε πτυχωμένος γνεύσιος.



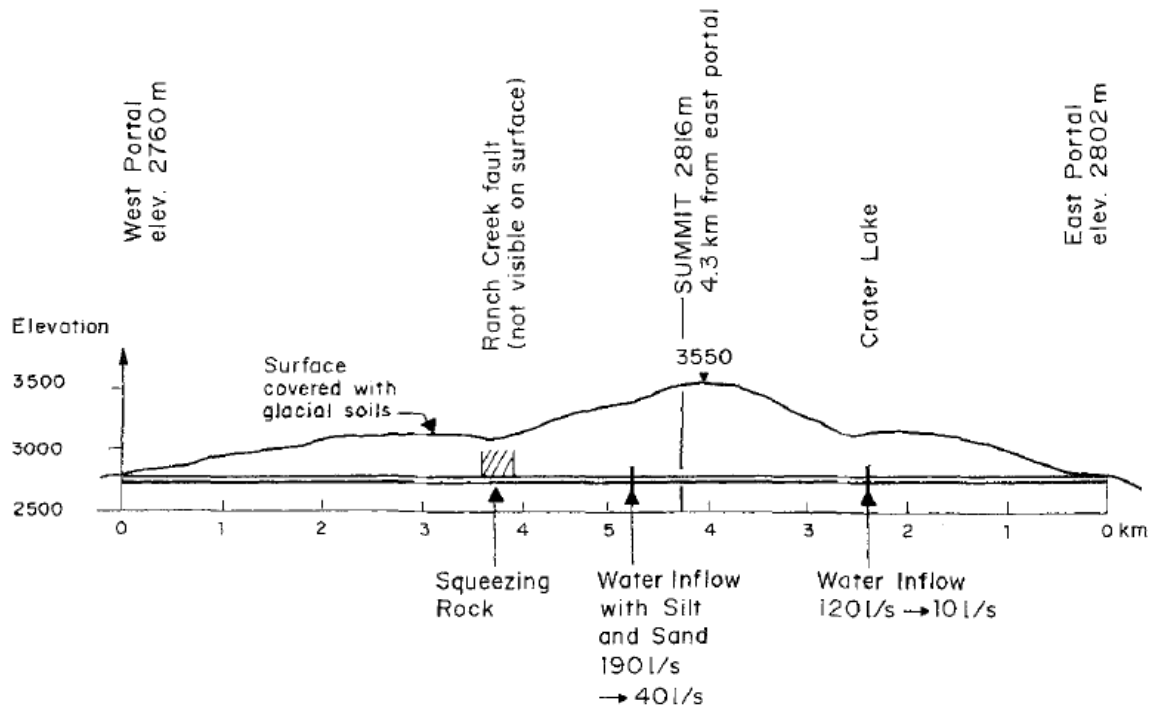
Σχήμα 9: Γεωλογία της περιοχής της σήραγγας Simplon (Bianchetti et al., 1993).



Μεταξύ των ζωνών 4 και 5 και ειδικά στα 4,45 χιλιόμετρα από την Νότια είσοδο παρατηρήθηκαν μεγάλες συγκλίσεις, ενώ στο Νότιο τμήμα της σήραγγας εντοπίστηκαν και μεγάλες εισροές νερού. Στα 4,5 χιλιόμετρα από την Νότια είσοδο παρατηρήθηκαν εισροές 150 l/s και στο σύνολο της κατασκευής 1200 l/s (Pressel, 1906). Στην θέση 4,45-4,5 υπάρχουν ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι οι οποίοι έχουν υποστεί χλωριτίωση, κάτι που μειώνει ακόμα περισσότερο την ανθεκτικότητά τους. Το μέτρο παραμορφωσιμότητας του σχηματισμού είναι αρκετά μικρό και παράλληλα οι πιέσεις είναι μεγάλες.

2.1.4 Σήραγγα Moffat

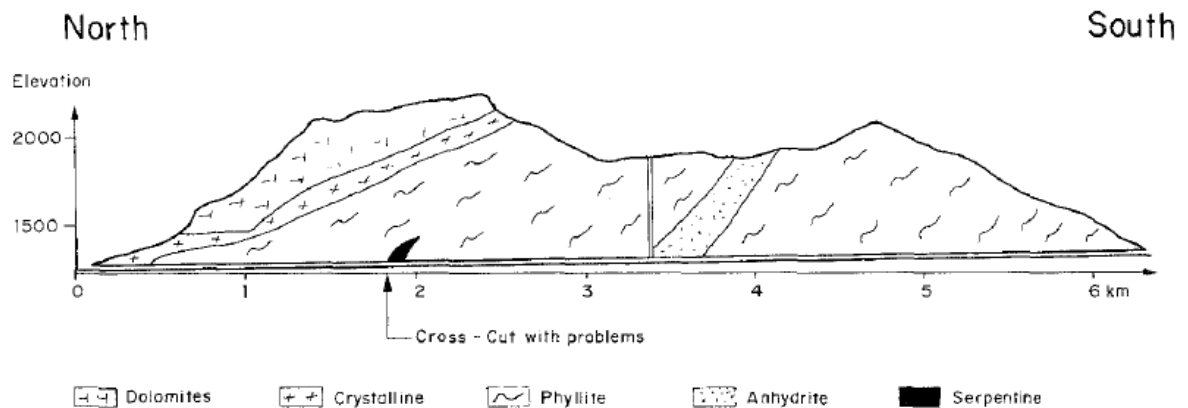
Η οδική σήραγγα Moffat βρίσκεται στις ΗΠΑ και πιο συγκεκριμένα δυτικά του Denver στο Κολοράντο σε υψόμετρο 2800m. Το έργο έχει μήκος 9,83km και μέγιστο πάχος υπερκειμένων 730m. Η σήραγγα διαπερνά Προκάμβριους σχηματισμούς που από πάνω τους έχουν ιζηματογενείς αποθέσεις του Τεταρτογενούς (Lovering, 1928). Πιο συγκεκριμένα διαπερνά γνευσίους, πηγματίτες, σχιστολίθους χαλαζιακό μονζονίτη, γρανίτη αλλά κυρίως κρυσταλλικά (Lovering 1928, Hitchcock and Tinkler 1928). Σύμφωνα με τον Chronic (1980), η διέλευση της σήραγγας τέμνεται από ένα ρήγμα ιδιαίτερης σημασίας, το Ranch Creek. Η εκσκαφή έγινε με συμβατικά μέσα και κατά την διάρκεια της παρουσιάστηκαν διάφορα προβλήματα, τα οποία φαίνονται στο Σχήμα 10. Το πρόβλημα που εξετάζεται στην παρούσα εργασία είναι το ότι στη ζώνη του ρήγματος το οποίο έτεμνε τον σχιστόλιθο παρουσιάστηκαν τέτοιες παραμορφώσεις που κατέστρεψαν τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης. Οι πιέσεις που ασκούσαν ήταν της τάξης των 1,8MPa. Αυτό είναι λογικό λόγω του ότι το πέτρωμα ήταν πολύ καταπονημένο και είχε αργιλοποιηθεί, με αποτέλεσμα να μειωθούν κατά πολύ οι τεχνικογεωλογικές του παράμετροι. Επίσης, συνέβαλε το γεγονός ότι τα υπερκείμενα ήταν περίπου 300m.



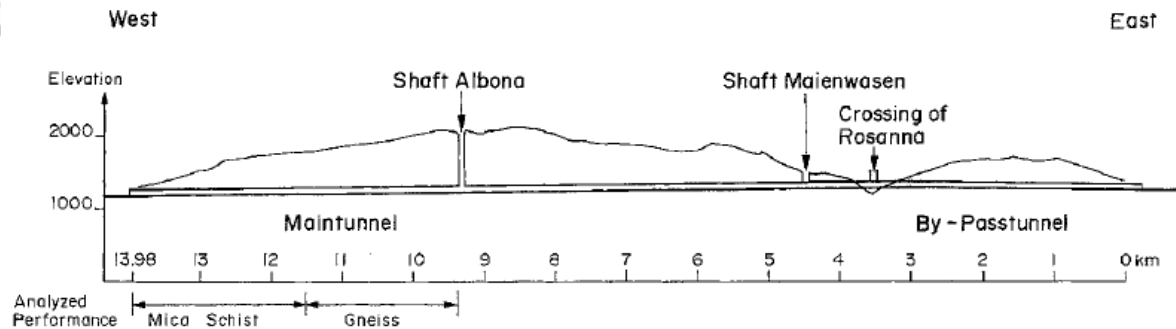
Σχήμα 10: Τομή του έργου και τα προβλήματα που προκλήθηκαν στην σήραγγα

2.1.5. Σήραγγες Tauern και Arlberg

Οι σήραγγες Tauern και Arlberg είναι οδικές και βρίσκονται στην Αυστρία (W. Steiner, 1996). Κατασκευάστηκαν το 1971-1974 με την New Austrian Tunneling Method (NATM), δηλαδή με συμβατικά μέσα και όχι μηχανοποιημένα. Η σήραγγα Tauern κόβει τις ανατολικές Άλπεις με διεύθυνση Βορρά-Νότο από το Salzburg στην Carinthia (Σχήμα 11) και ενώνει το Vorarlberg με το Tyrol με διεύθυνση Ανατολή-Δύση (Σχήμα 12).



Σχήμα 11: Γεωλογία της σήραγγας Tauern (Tauernautobahn, 1978).



Σχήμα 12: Τομή της σήραγγας Arlberg (W. Steiner, 1996).

Στην σήραγγα Tauern το ανάγλυφο αυξάνεται γρήγορα (W. Steiner, 1996). Μετά από μερικά εκατοντάδες μέτρα από την είσοδο της σήραγγας συναντώνται αρκετά μέτρα πάχους υπερκειμένων. Οι συγκλίσεις κοντά στην Νότια πύλη ήταν λίγα χιλιοστά με την υποστήριξη 10cm εκτοξευμένου σκυροδέματος, ενώ σε τμήματα με μεγαλύτερα υπερκείμενα οι παραμορφώσεις ήταν δεκάδες χιλιοστά (Πίνακας 4). Σε κάποια τμήματα που τοποθετήθηκε βαριά επένδυση χρειάστηκε και η εφαρμογή εύκαμπτης υποστήριξης (Pochhacker, 1974; Steiner, 1980).

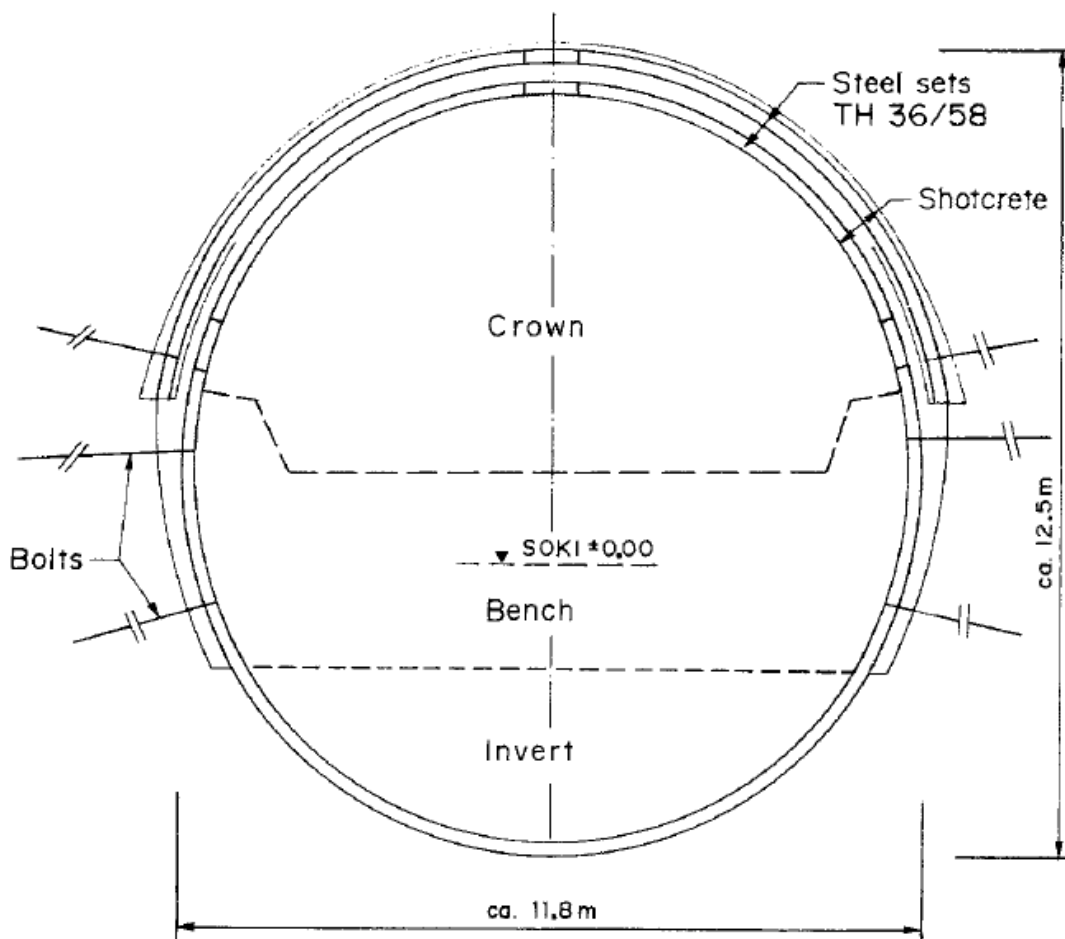
Στην σήραγγα Arlberg (W. Steiner, 1996) ανάμεσα στην διάνοιξη μέσα από αστριούχο γνεύσιο και μαρμαρυγιακό σχιστόλιθο, παρατηρήθηκαν μεγαλύτερες συγκλίσεις στον γνεύσιο, πιθανώς εξαιτίας της αποσάθρωσης και λόγω του ότι στην διάνοιξη στον σχιστόλιθο υπήρχε η εμπειρία του γνευσίου με αποτέλεσμα να είναι πιο εύστοχη η αντιμετώπιση.

Πίνακας 4: Συγκλίσεις στην σήραγγα Tauern (W. Steiner, 1996).

Ground Type	Cases	Overburden (meter)	Range of Convergence (mm)	Support Shotcrete
Phyllite: Calcitic	4	240–340	1.0–12.0	10 cm
Phyllite: Graphitic Calcitic	2	140–210	2.0–5.0	10 cm
Phyllite: Graphitic	1	70	2.0	10 cm

2.1.6. Σήραγγα Vereina

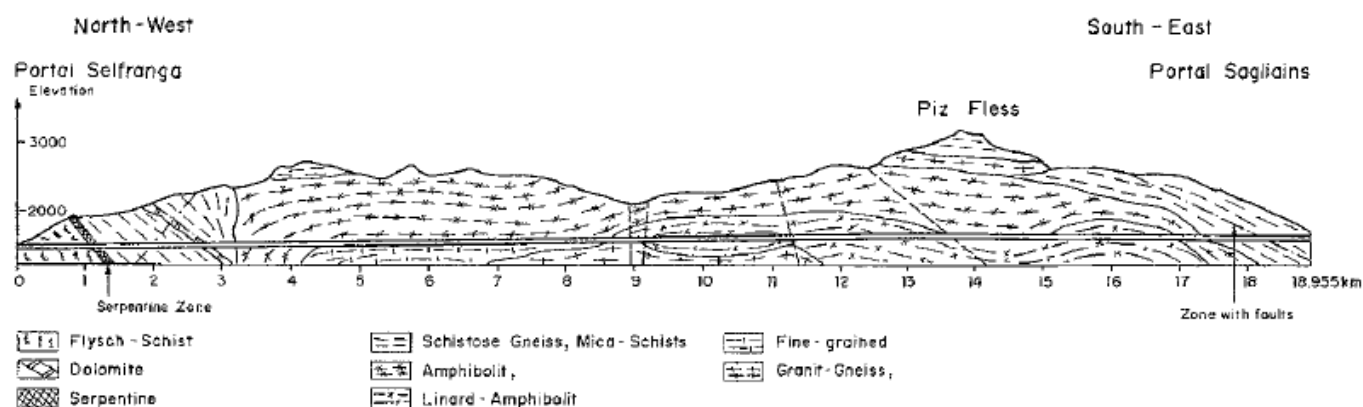
Η σήραγγα Vereina είναι μια σιδηροδρομική σήραγγα των 20km στην Ελβετία. Η διάνοιξη έγινε με ιδιαίτερη παρακολούθηση στις εισόδους του Νότιου τμήματος και στις χιλιομετρικές θέσεις 500-900m, όπου η ζώνη αυτή ήταν πολύ διαταραγμένη και με πολλά ρήγματα. Μια ιδιαίτερα μεγάλη ρηξιγενής ζώνη παρουσιάστηκε στην θέση 887m όπου είχε πλάτος 6-7m άργιλο και ιλύ με κλίση 30°. Τα υπερκείμενα ήταν 700m περίπου. Το 1993 εγκαταστάθηκε η προσωρινή υποστήριξη και σταμάτησαν οι εργασίες. Τότε σε εκείνο το σημείο η επένδυση καταστράφηκε. Έπειτα, η διάνοιξη πραγματοποιήθηκε σε φάσεις (Σχήμα 13). Η υποστήριξη αποτελείται από εκτοξευμένο σκυρόδεμα, αγκύρια, χαλύβδινα πλαίσια, δοκούς προπορείας, αποστραγγιστικές οπές και επενδύσεις χάλυβα. Επιπλέον, κατά την εκσκαφή γινόταν επιτρεπτή η σύγκλιση 300mm.



Σχήμα 13: Διατομή σήραγγας Vereina (Brunold, 1993).

Στο Βόρειο τμήμα της σήραγγας συναντήθηκε μεγάλη ποσότητα διατμημένου σερπεντινίτη (Σχήμα 14), του οποίου οι ασυνέχειες ήταν λείες. Κατά την διάνοιξη του ο χρόνος αυτοϋποστήριξης ήταν μηδενικός και σε απόσταση από την επιφάνεια μόνο 10 με 20m παρατηρήθηκαν συγκλίσεις 350mm (Amberg,

1994). Η υποστήριξη αποτελείται από χαλύβδινα πλαίσια και εκτοξευμένο σκυρόδεμα. Τα χαλύβδινα πλαίσια είχαν σχήμα U, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η ολισθαίνουσα υποστήριξη ώστε να παραληφθούν οι πολύ μεγάλες συγκλίσεις και με αυτοδιατρούμενα αγκύρια έγινε προσθήκη εποξικής ρητίνης. Κλείνοντας, για σταθεροποίηση δημιουργήθηκε δακτυλίδι ενίσχυσης με πάχος 6-7cm.



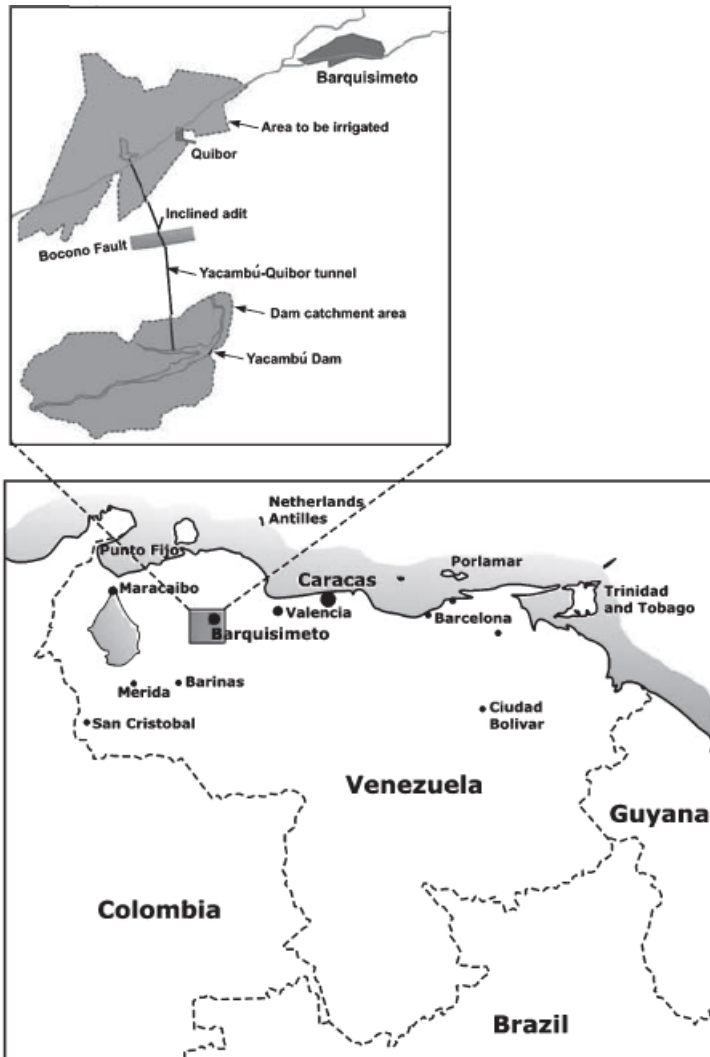
Σχήμα 14: Γεωλογία της περιοχής της σήραγγας Vereina (Keller, 1993).

2.1.7. Σήραγγα Yacambu'-Quibor στην Βενεζουέλα

Η σήραγγα Yacambu'-Quibor είναι μια σήραγγα διαμέτρου 5m και μήκους 25km η οποία κατασκευάστηκε για την μεταφορά νερού μέσω των Άνδεων από το φράγμα Yacambu', που βρίσκεται στην περιοχή Orinoco, στην ημι-άνυδρη περιοχή Quibor στην Βενεζουέλα, με παροχή $347 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$ (Σχήμα 15, Σχήμα 16) (Hoek E. and Guevara R., 2009). Η σήραγγα διαπερνά πυριτικούς και γραφικούς φυλλίτες με υπερκείμενα μέχρι και 1270m με αποτέλεσμα την ύπαρξη σοβαρών συμπίεστικών προβλημάτων. Το έργο κατασκευάστηκε σε 32 χρόνια, από το 1976 έως το 2008. Κατά την διάρκεια του έργου χρησιμοποιήθηκαν διάφορες μέθοδοι ανασκαφής μέχρι να συμφωνηθεί η χρήση κυκλικής διατομής σε κάθε είδος σχηματισμού που συναντάται.

Αρχικά, με την έναρξη του έργου το 1976 επιχειρήθηκε η εκσκαφή με την χρήση ανοικτού τύπου TBM που απέτυχε, όπως και η χρήση πολύ βαριών μέτρων υποστήριξης για την αντιμετώπιση των συγκλίσεων. Κάποια βελτίωση της κατάστασης πραγματοποιήθηκε μετά το 1991 με την χρήση ενδίδουσας υποστήριξης. Οι δυσκολίες που παρουσιάζονταν ήταν η ανύψωση του δαπέδου και η καταστροφή του ανάστροφου τόξου ακόμα και μετά την

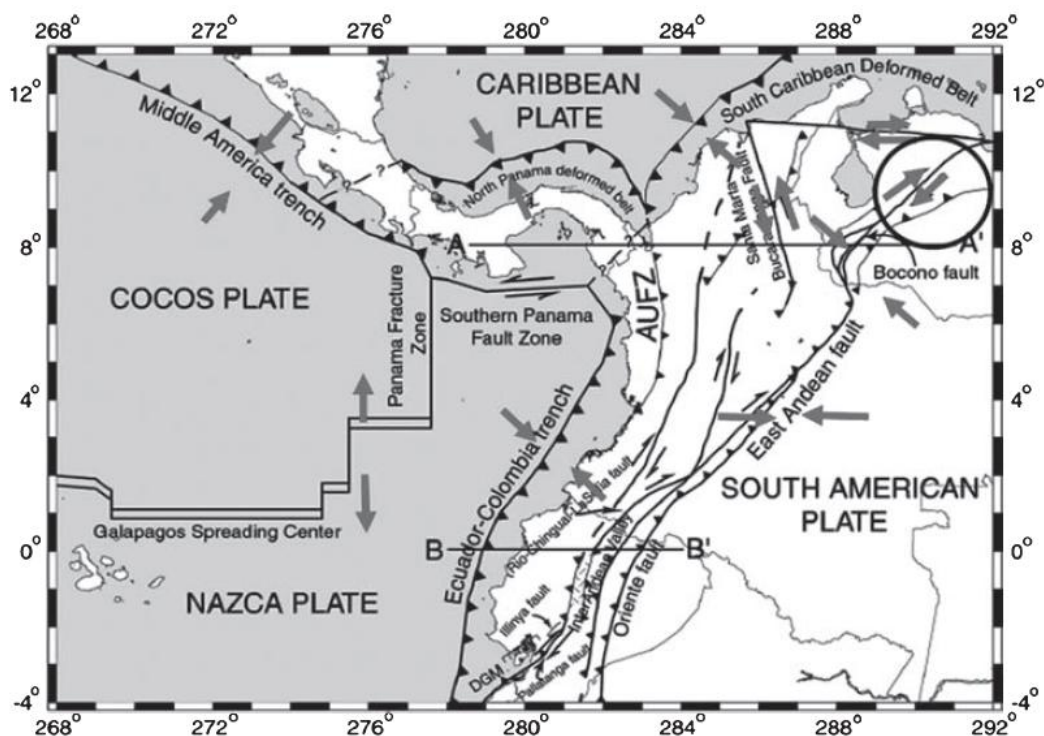
τοποθέτηση της ενδίδουσας υποστήριξης. Μετά το 2004 πραγματοποιήθηκε αργή αλλά σταθερή πρόοδος με την εκσκαφή κυκλικής διατομής.



Σχήμα 15: Γεωγραφική τοποθέτηση του έργου Yacambu-Quibor (Hoek E. and Guevara R., 2009).



Σχήμα 16: Τομή του έργου (Hoek E. and Guevara R., 2009).



Σχήμα 17: Σχήμα με την τεκτονική της περιοχής (Hoek E. and Guevara R., 2009).

Οι φυλλίτες της περιοχής έχουν υποστεί ισχυρή τεκτονική καταπόνηση λόγω της έντονης τεκτονικής στην περιοχή. Η πιο μεγάλη ρηξιγενής ζώνη που παρατηρήθηκε είναι του ρήγματος στην θέση Boccono με πλάτος 750m, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 15. Στην περιοχή αυτή πραγματοποιείται αλληλεπίδραση τεσσάρων τεκτονικών πλακών (Σχήμα 16). Έτσι, τα πετρώματα έχουν σχετικά χαμηλά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά και σε συνδυασμό με τα μεγάλα υπερκείμενα δημιουργήθηκαν τα έντονα προβλήματα συγκλίσεων (Σχήμα 17). Όπως προαναφέρθηκε, οι σχηματισμοί

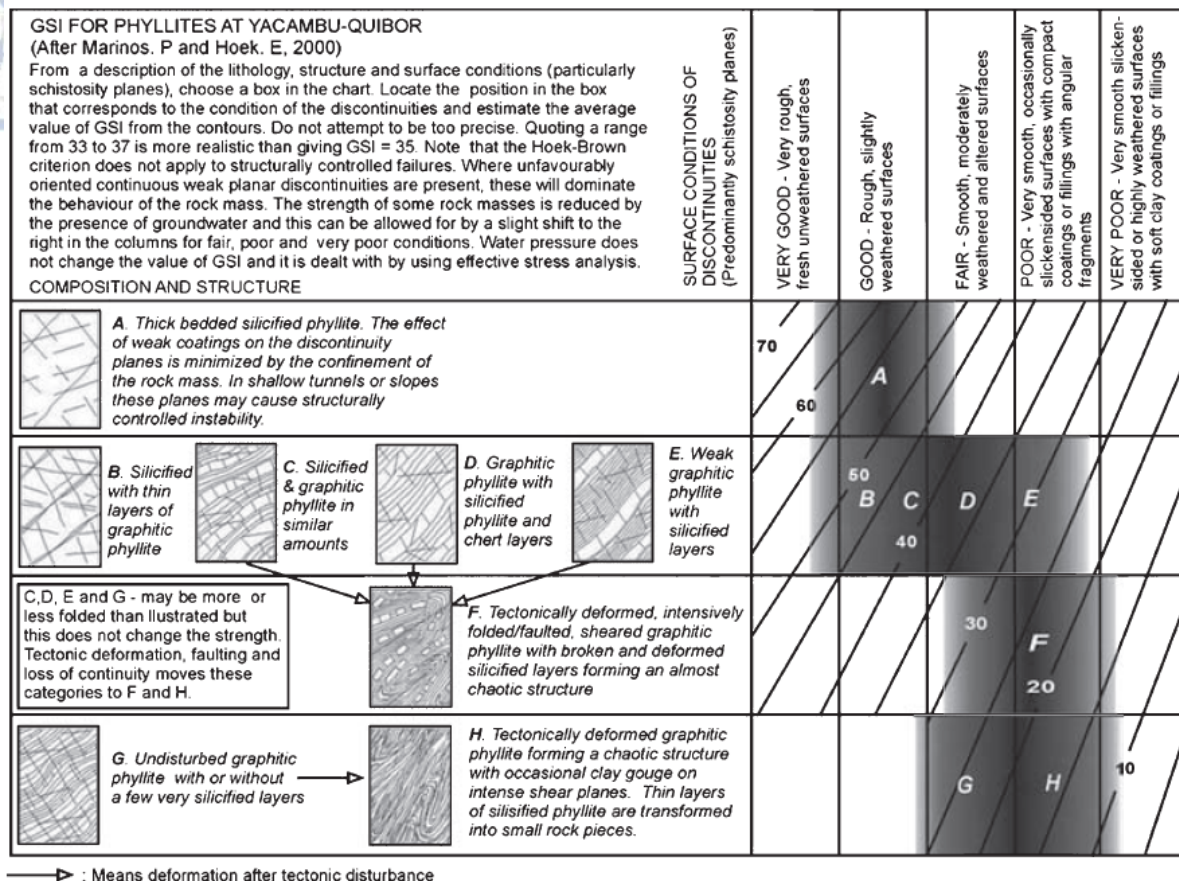
που εντοπίστηκαν είναι οι γραφιτικοί και πυριτικοί φυλλίτες. Στον πίνακα 5 παρουσιάζονται οι τεχνικογεωλογικοί τύποι που εντοπίστηκαν.

Πίνακας 5: Ταξινόμηση των σχηματισμών στο Yacambu'-Quibor tunnel της Βενεζουέλας (Hoek E. and Guevara R., 2009).

Class	Type of rock	Characteristics
A	Predominance of silicified phyllite with small amounts of calcareous and/or graphitic phyllite	Cemented layers from 5 to 10 cm in thickness with high strength and high deformation modulus
B	Predominance of calcareous silicified phyllite with intervals of graphitic phyllite	Cemented layers from 2 to 3 cm in thickness with average strength and average deformation modulus
C	Graphitic phyllite with some intervals of silicified phyllite	Thin lamination from 0.1 to 1 mm with low strength and highly deformable
D1	Tectonically deformed, folded and sheared in Classes A, B and C	Behaves as homogeneous rock mass with zero volume change during deformation
D2	As for D1 with clay gouge in contacts	Highly plastic deformation with zero volume change

Στην αρχή της εκσκαφής η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των φορτίων που ασκούνται είναι του Terzaghi (Proctor and White, 1946), καθώς οι μέθοδοι των Barton et al. (1974) και Bieniawski (1973) δεν ήταν διαδεδομένες ακόμα στην Αμερική στο ξεκίνημα των εργασιών. Επίσης, οι αριθμητικές αναλύσεις χρησιμοποιήθηκαν μετά το 1980, αφού πιο πριν ήταν ακόμα υπό επεξεργασία, ενώ οι ευρωπαϊκές μέθοδοι σχετικά με συμπιεστικά περιβάλλοντα (Rabcewicz, 1963) χρησιμοποιήθηκαν μετά το 1990. Εκείνη την χρονιά, εκδόθηκε η ταξινόμηση Geological Strength Index (GSI), με την χρήση του κριτηρίου (Hoek and Brown, 1997). Η ταξινόμηση GSI χρησιμοποιήθηκε για την ταξινόμηση των φυλλιτών στο Yacambu'-Quibor (Σχήμα 18), προκειμένου να εισαχθούν δεδομένα στο μοντέλο που δημοσιεύτηκε από τους Marinos και Hoek το 2000. Τέλος, για το κριτήριο Hoek και Brown χρειάζεται και μονοαξονική αντοχή στον άρρηκτο βράχο, σ_{ci} . Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν συγκεντρώνονται στον Πίνακα 6.

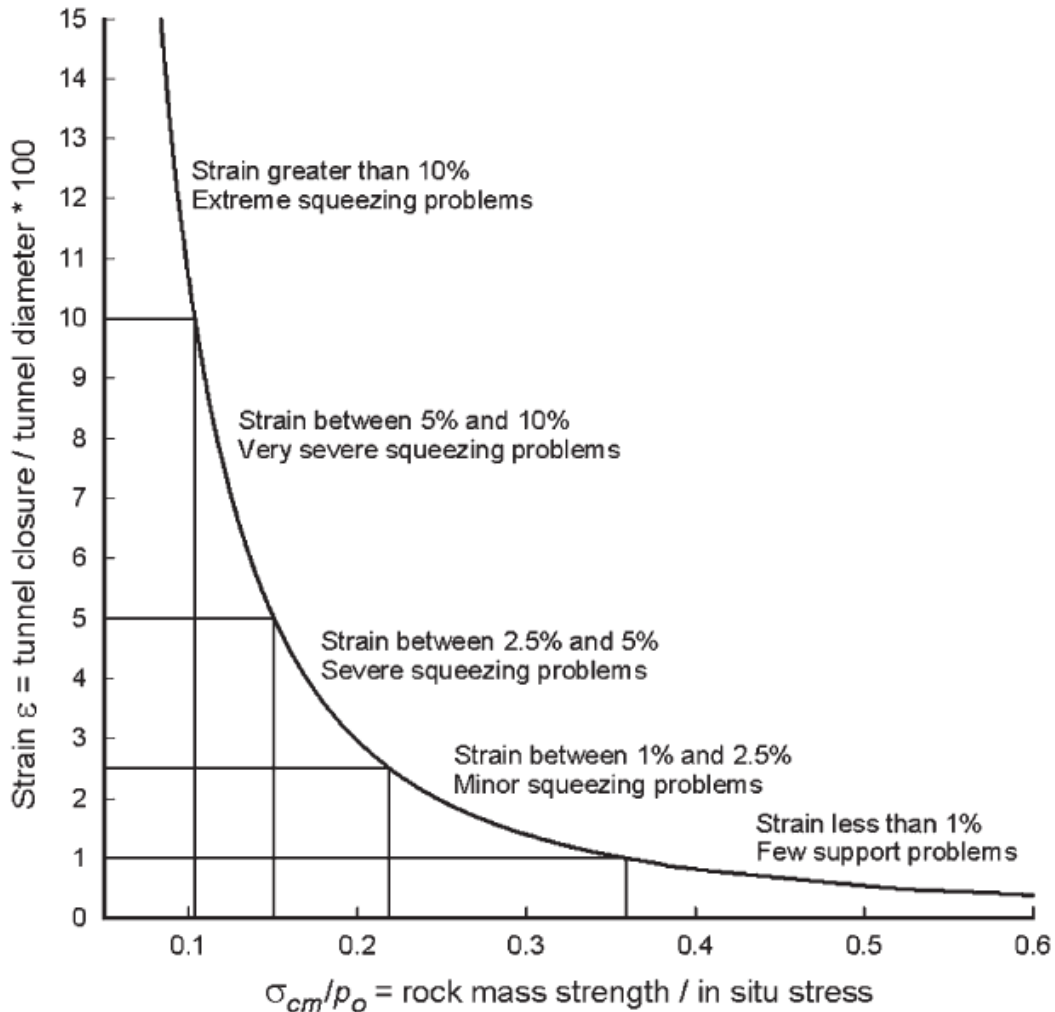
Επιπρόσθετα, στο παρόν έργο χρησιμοποιήθηκε και η χρήση του τύπου της εύρεσης των συγκλίσεων και το νομόγραμμα του Σχήματος 19, (Hoek and Marinos 2000). Με βάση αυτό κατασκευάστηκε το Σχήμα 20, το οποίο παρουσιάζει την εκτίμηση των συγκλίσεων.



Σχήμα 18: Ταξινόμηση GSI των φυλλιτών (Hoek E. and Guevara R., 2009).

Πίνακας 6: Παράμετροι σχηματισμών του έργου στο Yacambu'-Quibor tunnel της Βενεζουέλας (Hoek E. and Guevara R., 2009).

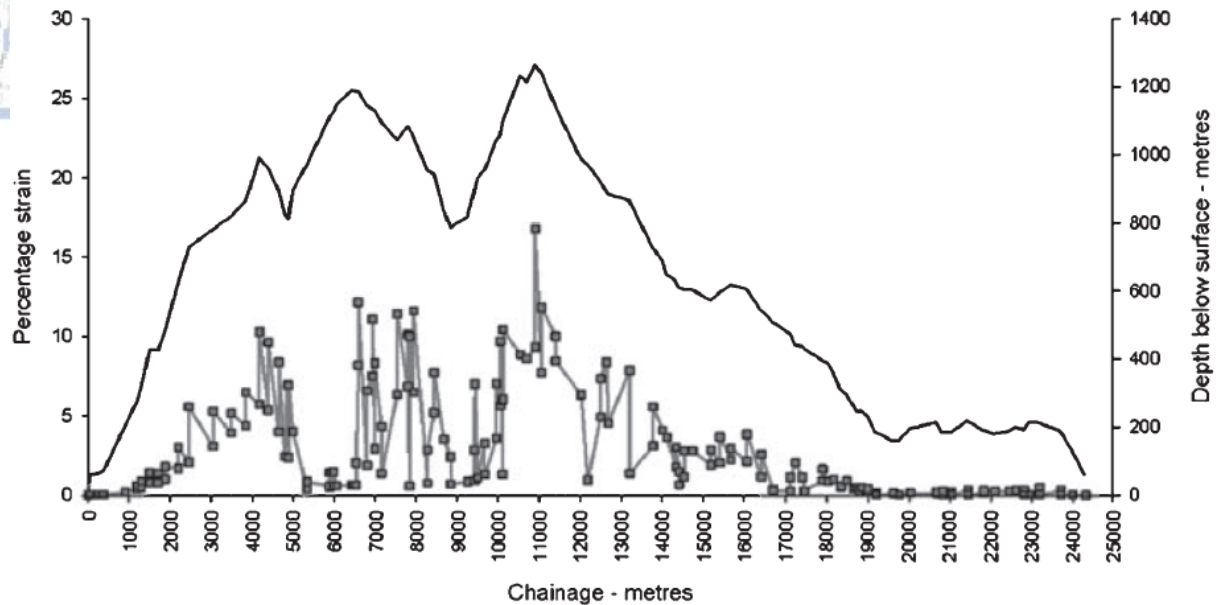
Class	Condition	σ_{ci} MPa	GSI	m_i	m_b	s	a	σ_{cm} MPa	E MPa	c MPa	ϕ deg
A	Design	100	75	10	4.095	0.0622	0.501	32.49	45,000	5.76	43.2
	Long term	100	38	10	1.092	0.010	0.513	13.34	7656	2.49	33.0
B	Design	75	65	10	2.865	0.0205	0.502	18.49	26,000	3.73	38.6
	Long term	75	32	10	0.882	0.0005	0.520	8.66	3825	1.99	29.0
C	Design	65	50	7	1.174	0.0039	0.506	9.59	11,000	2.36	30.3
	Long term	65	25	7	0.481	0.0002	0.531	5.14	2140	1.40	22.9
D1	Design	50	35	7	0.687	0.0007	0.516	5.19	3119	1.59	24.1
	Long term	50	17	7	0.361	0.0001	0.553	2.99	1091	0.99	18.7
D2	Design	50	25	7	0.481	0.0002	0.531	3.95	1646	1.26	21.2
	Long term	50	13	7	0.313	0.0001	0.570	2.51	928	0.84	17.4



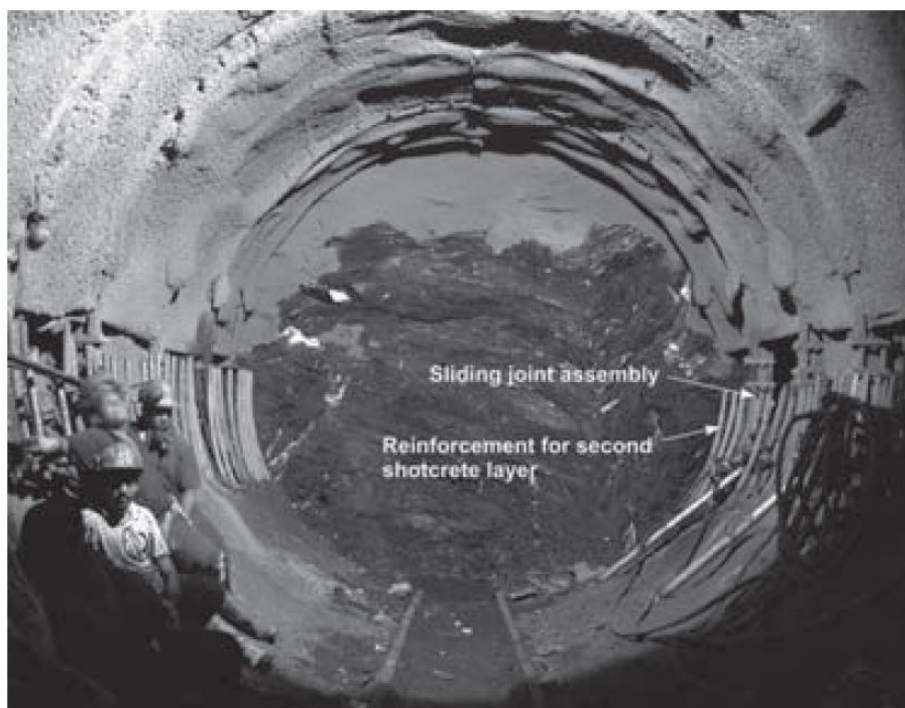
Σχήμα 19; Προσεγγιστική εκτίμηση της σχέσης μεταξύ των πιέσεων και του βαθμού δυσκολίας κατά την διάνοιξη της σήραγγας σε συντεθλιμμένες συνθήκες, χωρίς την προσωρινή υποστήριξη (Hoek E. and Guevara R., 2009).

Για τον σχεδιασμό της σήραγγας έγινε προσπάθεια να προβλεφθεί το μέγεθος της πλαστικής ζώνης και πώς θα μεταβάλλεται με τον χρόνο αλλά και η απόσταση από το μέτωπο. Αυτό πραγματοποιήθηκε τόσο για τις συγκλίσεις γενικά όσο και για τις μετατοπίσεις στην οροφή. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, από το 1990 εγκρίθηκε ενδίδουσα υποστήριξη με χαλύβδινα πλαίσια (Σχήμα 21).

Παρακάτω περιγράφονται περιληπτικά οι αναλύσεις μιας περίπτωσης αστοχίας, η οποία εντοπίζεται στην χιλιομετρική θέση από 12,750m έως 12,850m, τμήματος που κατασκευάστηκε το 2000. Η διατομή της σήραγγας είναι κυκλική και χρησιμοποιήθηκε ενδίδουσα υποστήριξη (Σχήμα 22). Η προσωρινή επένδυση αποτελείται από χαλύβδινα πλαίσια που απέχει το ένα από το άλλο μήκος 0.8m.



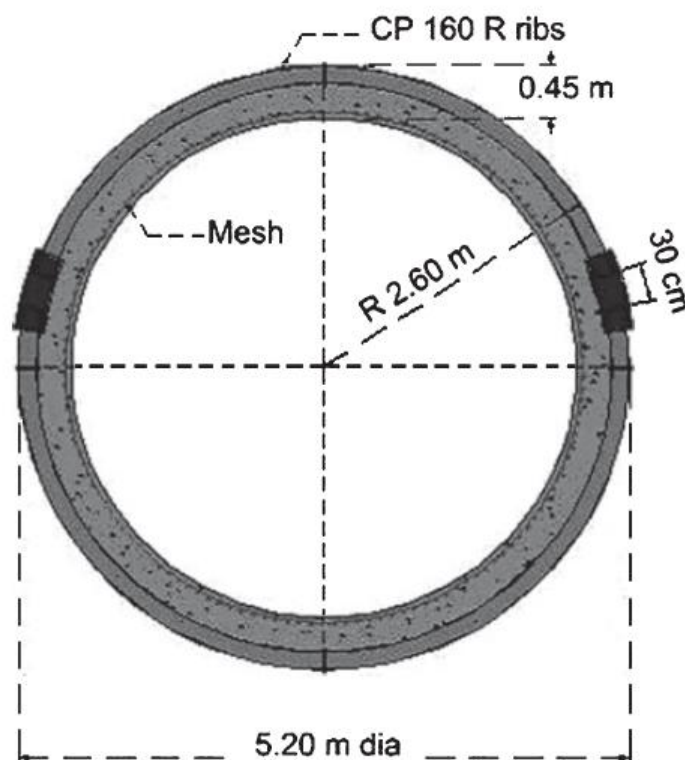
Σχήμα 20: Παρουσίαση των εκτιμώμενων συγκλίσεων κατά μήκος της σήραγγας Yacambu'-Quibor (Hoek E. and Guevara R., 2009).



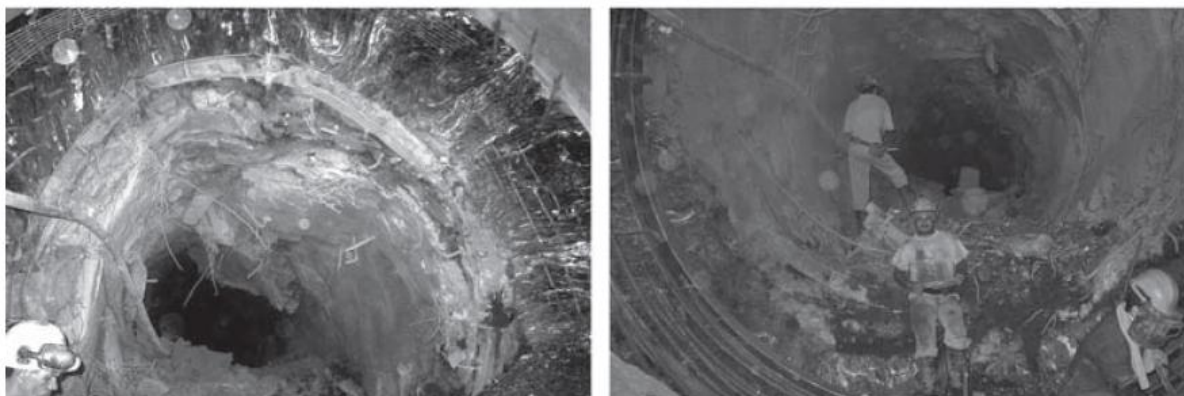
Σχήμα 21: Ενδίδουσα υποστήριξη στην σήραγγα Yacambu'-Quibor (Hoek E. and Guevara R., 2009).

Υπάρχουν δύο συρόμενες αρθρώσεις των 30cm που δίνουν μια ακτινική σύγκλιση 3,7%. Αυτές οι αρθρώσεις είναι εγκιβωτισμένες με εκτοξευμένο σκυρόδεμα πάχους 0,45cm και ενισχύονται με ένα στρώμα μεταλλικού

πλέγματος διαστάσεων 100x100x5mm (Guevara et al., 2004). Η ακολουθία της κατασκευής δεν είναι γνωστή. Η αστοχία πραγματοποιήθηκε δύο χρόνια μετά την διάνοιξη με απότομη αύξηση των παραμορφώσεων (Σχήμα 23).



Σχήμα 22: Γεωμετρία διατομής της σήραγγας Yacambu-Quibor στην χιλιομετρική θέση από 12,750 έως 12,850 (Hoek E. and Guevara R., 2009).



Σχήμα 23: Αστοχία στην σήραγγα Yacambu-Quibor στην χιλιομετρική θέση από 12,750 έως 12,850 (Hoek E. and Guevara R., 2009).

2.2 Περιπτώσεις παραμορφώσεων σε σήραγγες στον Ελλαδικό χώρο.

2.2.1 Σήραγγα Τυμφρηστού

Η σήραγγα Τυμφρηστού είναι μια οδική σήραγγα μήκους 1365m. Η διάμετρος της είναι 11m (V. Kontogianni, et al. 2005, Tsatsanifos et al. 1999, V. Kontogianni et al., 2004) Το έργο διαπερνά έντονα τεκτονικά καταπονημένο και πτυχωμένο φλύσχη κυρίως με ιλυολίθους και αργιλικούς σχιστολίθους. Η διάνοιξη πραγματοποιήθηκε με συμβατικά μέσα και όχι μηχανοποιημένα. Επίσης, τα μέτρα υποστήριξης που χρησιμοποιήθηκαν περιλαμβάνουν εκτοξευμένο σκυρόδεμα πάχους 40cm, αγκύρια, χαλύβδινα πλαίσια, δοκούς προπορείας μήκους 6m με 8m και τοποθέτηση ανάστροφου τόξου. Κατά την διάρκεια της εκσκαφής παρατηρήθηκαν συγκλίσεις έως και 20%, με αποτέλεσμα να απαιτείται νέα εκσκαφή σε ένα τμήμα μήκους 500m. Μόλις ξεκίνησε η νέα εκσκαφή εμφανίστηκαν εκ νέου παραμορφώσεις 8%.

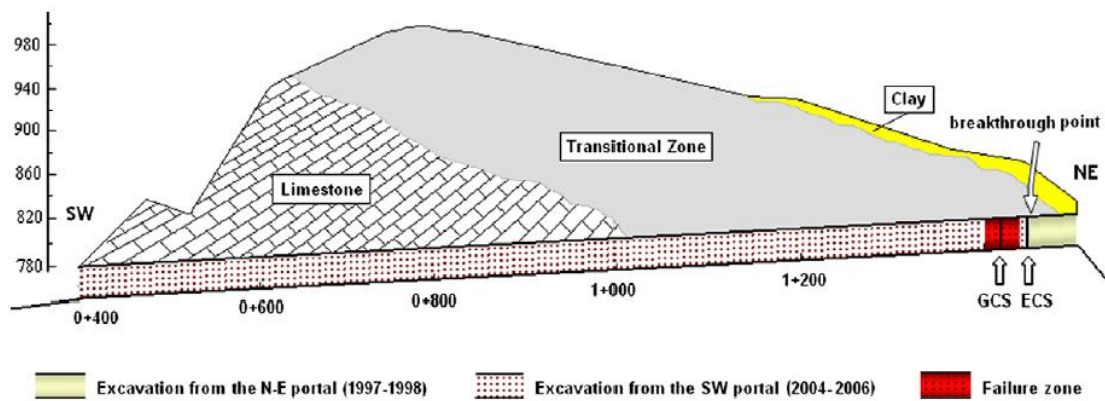
2.2.2 Σήραγγα Καλλίδρομου

Η σήραγγα Καλλίδρομου είναι μια δίδυμη σιδηροδρομική σήραγγα μήκους 9km (V. Kontogianni, et al. 2005). Η διάμετρος της κάθε μίας από αυτές είναι 9m. Η σήραγγα διαπερνά οφιολίθους ιδιαίτερα τεκτονισμένους και Τεταρτογενή ιζήματα. Η διάνοιξη πραγματοποιήθηκε σε τρεις φάσεις με συμβατικά μέσα, ενώ τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης είναι εκτοξευμένο σκυρόδεμα, χαλύβδινα πλαίσια, αγκύρια, δοκοί προϋποστήριξης και υαλόκαρφα όπου το μέτωπο ήταν ασταθές. Στις ζώνες όπου η βραχομάζα είναι πιο αποσαθρωμένη και παρουσίαζε πιο πτωχά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά, παρατηρήθηκαν συγκλίσεις και καταστροφές στην σκυροδετημένη επένδυση με αποτέλεσμα να χρειάζεται να ανακατασκευαστεί. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιήθηκε τρεις φορές (Kavvadas, 2005).

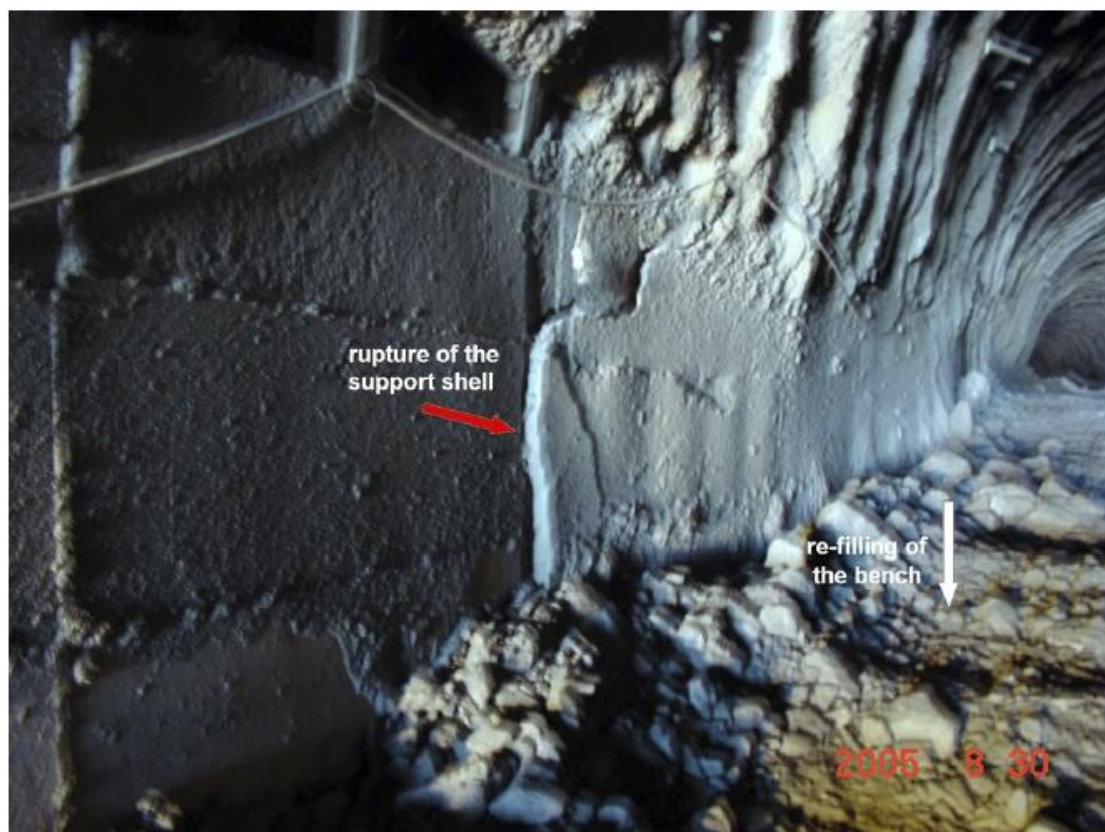
2.2.3 Σήραγγα Μεσοχώρας

Η σήραγγα της Μεσοχώρας είναι οδική, έχει διάμετρου 10m και βρίσκεται στην Δυτική Ελλάδα. Διασχίζει 500m σε ασβεστόλιθο πριν εισέλθει στην φτωχή ζώνη του φλύσχη της Πίνδου, όπου η μεταβατική ζώνη αποτελείται από μίγμα ασβεστολίθου, ιλυολίθου και αργιλικού σχιστολίθου. Η διάνοιξη έγινε και από τις δύο εισόδους της σήραγγας. Εδώ θα αναφερθούμε στην ΒΑ είσοδο όπου έγινε και η αστοχία. Πραγματοποιήθηκε προϋποστήριξη με δοκοί προπορείας, τοποθετήθηκαν πλαίσια, αγκύρια, εκτοξευμένο σκυρόδεμα με βήμα προχώρησης 1-1,5m. Από αυτή την είσοδο η σήραγγα συνάντησε την

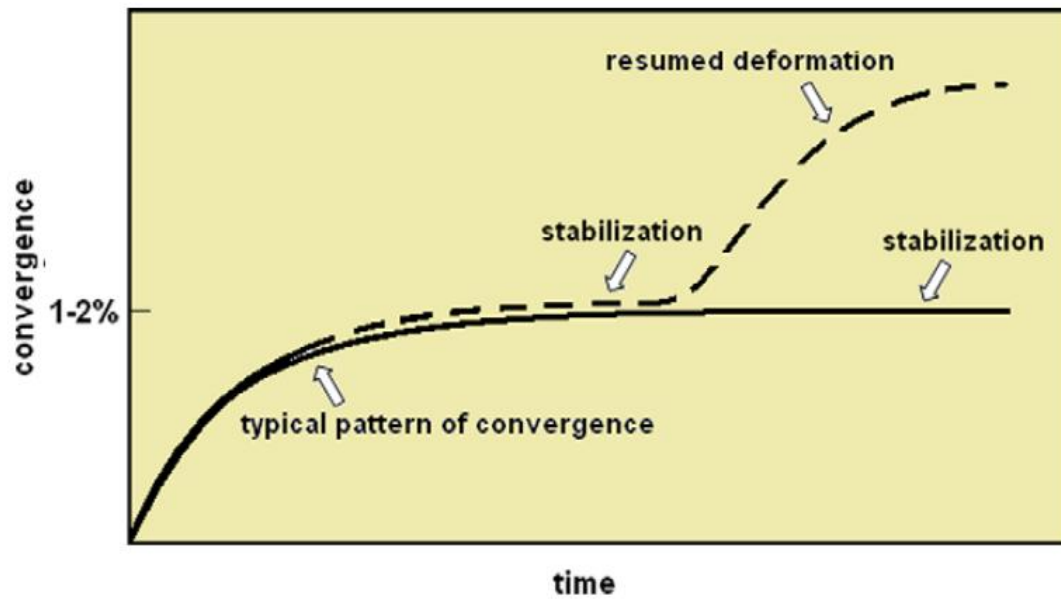
μεταβατική ζώνη, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 24. Μετά από λίγους μήνες παρατηρήθηκαν παραμορφώσεις με καθυστέρηση (Σχήμα 25, Σχήμα 26).



Σχήμα 24: Γεωλογία της σήραγγας της Μεσοχώρας (Kontogianni V., et al 2008).



Σχήμα 25: Αστοχία των μέτρων υποστήριξης στην σήραγγα της Μεσοχώρας (Kontogianni V., et al 2008).

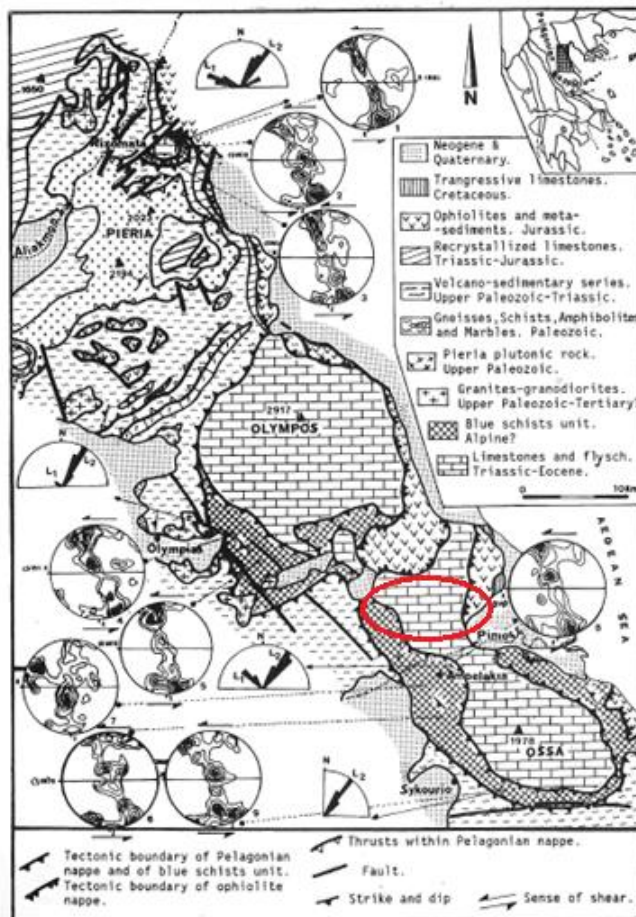


Σχήμα 26: Διάγραμμα της σύγκλισης με τον χρόνο στη σήραγγα της Μεσοχώρας (Kontogianni V., et al 2008).

3^ο Κεφάλαιο: Γεωλογία της περιοχής έρευνας

3.1 Ευρύτερη γεωλογία Ολύμπου-Όσσας.

Οι σήραγγες των Τεμπών αναπτύσσονται στα τεκτονικά παράθυρα Ολύμπου-Όσσας (Σχήμα 27). Στο κέντρο του παραθύρου βρίσκεται ανθρακική ιζηματογενής σειρά ηλικίας Τριαδικού-Ηωκαίνου, που καλύπτεται από πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης, που περιλαμβάνει γνευσίους, μαρμαρυγικούς σχιστολίθους, αμφιβολίτες και φυλλίτες. Ανάμεσά τους στον Όλυμπο εντοπίζονται οι μπλε σχιστολίθοι ΗΡ/LT (Κίλιας et. al. 1991, Kiliyas 1996). Πάνω από το κρυσταλλοσχιτώδες κάλυμμα εντοπίζονται μάρμαρα Τριαδικής-Ιουρασιακής ηλικίας. Μεταξύ τους παρατηρούνται πολλές εναλλαγές που οφείλονται σε λεπιώσεις. Τα ασβεστιτικά πετρώματα στο εσωτερικό της δομής, αποκαλύφθηκαν από την δράση ρηγμάτων διαφυγής, που οφείλονται στις εφελκυστικές τάσεις μετά την τοποθέτηση των καλυμμάτων στην Αλπική ορογένεση (Μουντράκης 2010, Kiliyas 1996, Schermer, E 1993).



Σχήμα 27: Γεωλογικός χάρτης τεκτονικού παραθύρου Ολύμπου-Όσσας. Οι σήραγγες T1, T2 και T3 βρίσκονται μεταξύ των δύο ορέων, και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή του κόκκινου κύκλου (Κίλιας et. al. 1991).

Ανάμεσα στα δύο τεκτονικά παράθυρα της Όσσας και του Ολύμπου υπάρχει η κοιλάδα των Τεμπών η οποία δημιουργήθηκε από δυο φάσεις τεκτονικών γεγονότων.

- Η πρώτη τεκτονική δραστηριότητα που εντοπίζεται είναι ηλικίας Α. Μειόκαινο – Κ. Πλειόκαινο, με δημιουργία ρηγμάτων παράταξης ΒΔ-ΝΑ.
- Η νεότερη έχει ηλικία Πλειστοκαίνου μέχρι σήμερα, με δημιουργία ρηγμάτων παράταξης ΔΒΔ-ΑΝΑ.

Τα ρήγματα αυτά δεν επηρέασαν ιδιαίτερα το έργο εξαιτίας της σχετικά μικρής δραστηριότητας που παρουσιάζουν.

3.2 Γεωλογία της στενής περιοχής με βάση την μελέτη.

Η σήραγγα T2, μαζί με τις σήραγγες T1 και T3, βρίσκονται στην κοιλάδα των Τεμπών κοντά στο χωριό Ραψάνη. Η σήραγγα αυτή είναι μεγαλύτερη από την T1 και έχει 6000m μήκος (Σχήμα 28). Η σήραγγα διασχίζει τον ορεινό όγκο της Όσσας που από την πλευρά της κοιλάδας του Πηνειού εντοπίζονται απότομος, με σχεδόν κάθετα πρηνή. Κάθετα στο πρηνές παρατηρούνται χείμαρροι και φαράγγια που οδηγούν στον ποταμό Πηνειό. Οι χείμαρροι αυτοί εντοπίζονται σε ζώνες ρηγμάτων όπως φαίνεται και στο Σχήμα 29, Σχήμα 30, Σχήμα 31. Το βαθύτερο από αυτά εντοπίζεται στην χιλιομετρική θέση 7+480. Η σήραγγα διαπερνά κυρίως ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους και τοπικά σε κάποια τμήματα της φυλλίτες και τεταρτογενείς σχηματισμούς. Οι φυλλίτες και οι ασβεστόλιθοι έχουν υποστεί χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση.

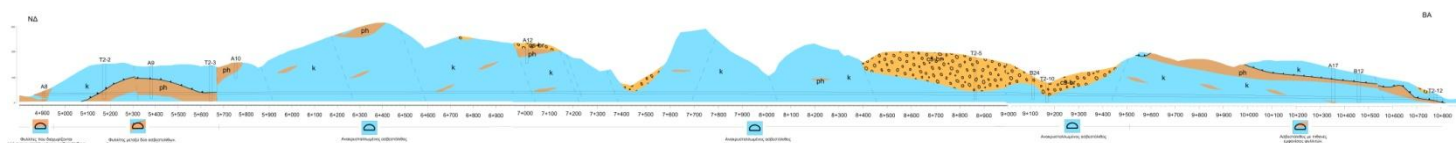
Η μονάδα των φυλλιτών που εντοπίζεται, είναι ημιβραχώδης σχηματισμός μεταφλύσχη που αποτελείται από φυλλίτες και σχιστολίθους με σπάνιες παρεμβολές ασβεστολίθων. Οι ολισθολίθοι, σύμφωνα με την μελέτη, που εντοπίζονται στην Νότια είσοδο είναι ένα σύνολο ασβεστολιθικών θραυσμάτων και άμμου. Οι εμφανίσεις των φυλλιτών έχουν καστανό χρώμα και είναι καλής ποιότητας. Στα διατμημένα τμήματα τους έχουν σκούρο τεφρό έως μαύρο χρώμα, είναι έντονα ψαλιδισμένοι και μοιάζουν με αργιλώδη εδάφη (Giannatos et. all, 2008).

Οι ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι εμφανίζονται λεπτοστρωματώδεις με τεφρό χρώμα, είναι έντονα καρστικοποιημένοι και αρκετά διατμημένοι. Σύμφωνα με την μελέτη στα ανώτερα μέρη τους υπάρχουν τυχαίες φυλλιτικές ενδιαστρώσεις. Πιο αναλυτικά οι ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι έχουν καλή τεχνικογεωλογική συμπεριφορά. Οι λεπτές στρώσεις που

προαναφέρθηκαν έχουν διεύθυνση κλίσης ΝΔ με γωνία κλίσης περίπου 45° μέσο όρο.

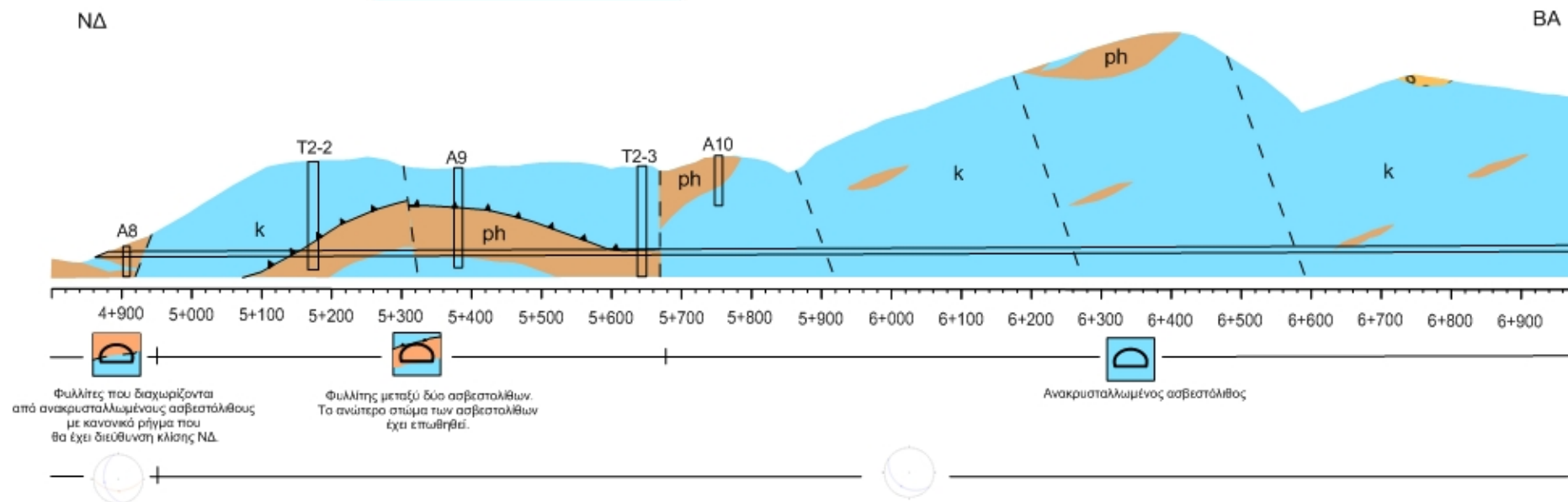
Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με την μελέτη, η σήραγγα προβλέπεται να συναντήσει από την Χ.Θ. 4869 έως την Χ.Θ. 4925, φυλλίτες που θα διαχωρίζονται από τους ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους με κανονικό ρήγμα που θα έχει διεύθυνση κλίσης ΝΔ. Οι φυλλίτες προβλέπεται να κλίνουν προς τα Νότια με γωνία κλίσης 40° και οι ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι με γωνία κλίσης 30° και διεύθυνση κλίσης ΔΝΔ (Σχήμα 29).

Από την Χ.Θ. 4925 έως 5670 αναμένεται να συναντήσει ασβεστόλιθο με παρεμβολές φυλλιτών. Ο ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος προβλεπόταν καρστικοποιημένος με γωνία κλίσης 30° ΝΔ. Οι φυλλίτες παρεμβάλλονται μεταξύ δύο στρωμάτων ανακρυσταλλωμένων ασβεστολίθων. Ο ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος που βρίσκεται από πάνω του, έχει επωθηθεί σε αυτούς. Στην Χ.Θ. 5670 εντοπίζεται μια μεγάλη ρηγξιγενής ζώνη όπου σταματά και αυτή η αλληλουχία.



Σχήμα 28: Σήραγγα T2 σε όλο το μήκος της, με βάση τα στοιχεία της μελέτης (Giannatos et. all, 2008).

Υπόμνημα	
Σχηματισμοί	
cs-br	Κώνιοι κορημάτων, cs-br: Σχηματισμός γωνιωδών ασβεστολιθικών θραυσμάτων, με αμώδες υλικό και κατά θέσεις συγκολλημένο.
ph	Φυλλίτες, ph: Ημιβραχώδης σχηματισμός μετα-φλυσικής ακολουθίας, αποτελούμενης από φυλλίτες και σχιστολίθους. Μέσα στον σχηματισμό παρατηρούνται ολισθοστρώματα ασβεστολιθικά.
k	Ασβεστόλιθος, k: Βραχώδης σχηματισμός μέσο έως λεπτο-στρωματώδης ασβεστόλιθος ανακρυσταλλωμένος. Κατά θέσεις παρατηρείται έντονη τεκτονική καταπόνηση και καρστικοποίηση.
Τεκτονικά στοιχεία	
---	Κανονικό ρήγμα.
—	Επώθηση (ανάστροφο ρήγμα)



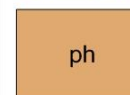
Σχήμα 29: τομή της σήραγγας T2 με βάση την μελέτη από τη Χ.Θ 4888 έως τη Χ.Θ. 6960 (Giannatos et. al, 2008).

Υπόμνημα

Σχηματισμοί



Κώνιοι κορημάτων, cs-br: Σχηματισμός γωνιωδών ασβεστολιθικών θραυσμάτων, με αμμώδες υλικό και κατα θέσεις συγκολλημένο.



Φυλλίτες, ph: Ημιβραχώδης σχηματισμός μετα-φλυσχικής ακολουθίας, αποτελούμενης από φυλλίτες και σχιστολίθους. Μέσα στον σχηματισμό παρατηρούνται και ολισθοστρώματα ασβεστολιθικά.



Ασβεστόλιθος, k: Βραχώδης σχηματισμός μέσο έως λεπτο-στρωματώδης ασβεστόλιθος ανακρυσταλλωμένος. Κατα θέσεις παρατηρείται έντονη τεκτονική καταπόνηση και, κρυστικοποίηση.

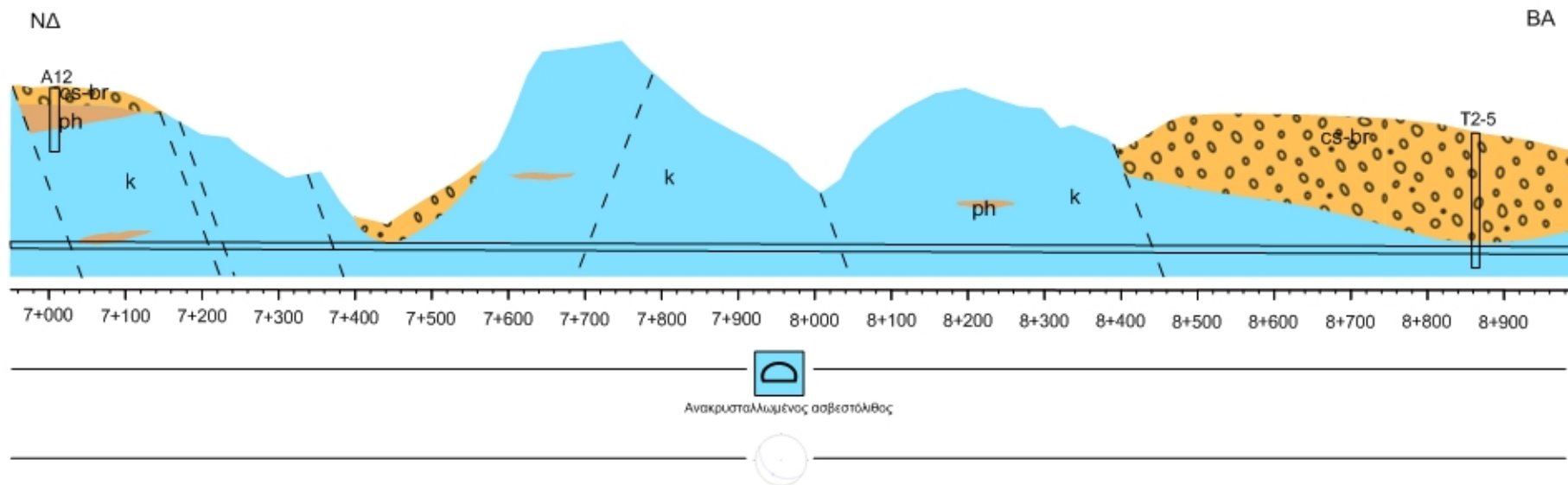
Τεκτονικά στοιχεία



Κανονικό ρήγμα.



Επώθηση (ανάστροφο ρήγμα)



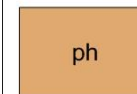
Σχήμα 30: Γεωλογική τομή της σήραγγας T2 με βάση την μελέτη από τη Χ.Θ 6960 έως τη Χ.Θ. 9000 (Giannatos et. al, 2008).

Υπόμνημα

Σχηματισμοί



Κώνιοι κορημάτων, cs-br: Σχηματισμός γωνιωδών ασβεστολιθικών θραυσμάτων, με αμμόδες υλικό και κατα θέσεις συγκολλημένο.



Φυλλίτες, ph: Ημιβραχώδης σχηματισμός μετα-φλυσχικής ακολουθίας, αποτελούμενης από φυλλίτες και σχιστολίθους. Μέσα στον σχηματισμό παρατηρούνται ολισθοστρώματα ασβεστολιθικά.



Ασβεστόλιθος, k: Βραχώδης σχηματισμός μέσο έως λεπτο-στρωματώδης ασβεστόλιθος ανακρυσταλλωμένος. Κατα θέσεις παρατηρείται έντονη τεκτονική καταπόνηση και κρυστικοποίηση.

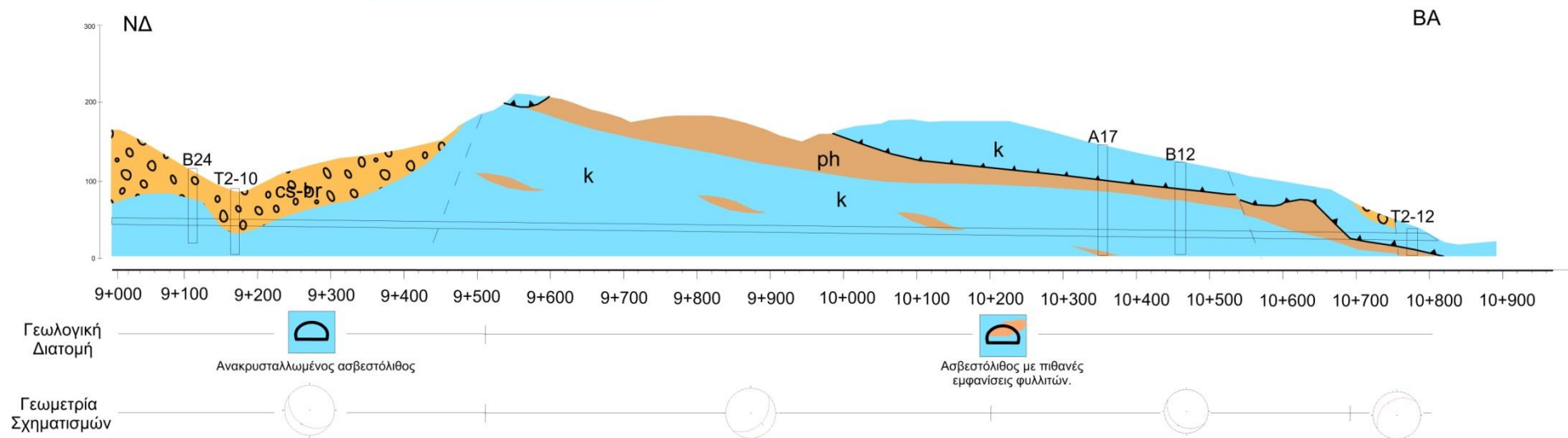
Τεκτονικά στοιχεία



Κανονικό ρήγμα.



Επώθηση (ανάστροφο ρήγμα)



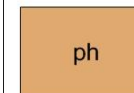
Σχήμα 31: Γεωλογική τομή της σήραγγας T2 με βάση την μελέτη από τη Χ.Θ 9000 έως τη Χ.Θ. 10860 (Giannatos et. al, 2008).

Υπόμνημα

Σχηματισμοί



Κώνιοι κορημάτων, cs-br: Σχηματισμός γωνιωδών ασβεστολιθικών θραυσμάτων, με αμμώδες υλικό και κατα θέσεις συγκολλημένο.

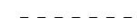


Φυλλίτες, ph: Ημιβραχώδης σχηματισμός μετα-φλυσικής ακολουθίας, αποτελούμενης από φυλλίτες και σχιστολίθους. Μέσα στον σχηματισμό παρατηρούνται ολισθοστρώματα ασβεστολιθικά.



Ασβεστόλιθος, k: Βραχώδης σχηματισμός μέσο έως λεπτο-στρωματώδης ασβεστόλιθος ανακρυσταλλωμένος. Κατα θέσεις παρατηρείται έντονη τεκτονική καταπόνηση και κρυστικοποίηση.

Τεκτονικά στοιχεία



Κανονικό ρήγμα.



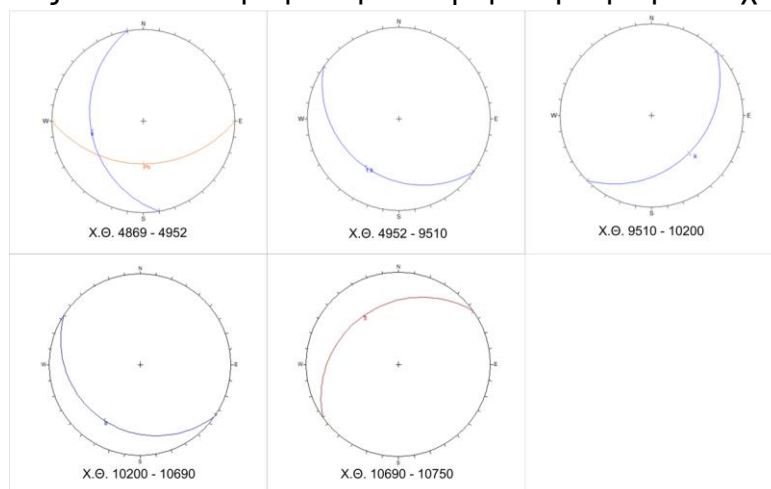
Επώθηση (ανάστροφο ρήγμα)

Από την Χ.Θ. 5670 έως 7400 αναμενόταν να εντοπιστεί ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος με γωνία κλίσης 20° περίπου και διεύθυνση κλίσης προς τα δυτικά. Τοπικά μπορεί να εντοπιστούν και κάποιοι φυλλίτες. Αναμένεται να εντοπιστούν και κάποια κανονικά ρήγματα. Τα περισσότερα έχουν διεύθυνση κλίσης προς τα ΒΑ, κάποια ΝΑ και ένα προς τα Νότια (Giannatos et. all, 2008).

Από τη Χ.Θ. 7400 έως 7627 συναντάται μια βαθιά τεκτονική λεκάνη με αποτέλεσμα να βρίσκεται η σήραγγα σε μικρή απόσταση από την επιφάνεια. Το πέτρωμα που αναμένεται είναι ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος με γωνία κλίσης 20° προς τα δυτικά. Από τη Χ.Θ. 7627 έως 8410 προβλέπεται η διάτρηση ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με διεύθυνση κλίσης προς ΝΔ και Δ και γωνία κλίσης 25° (Σχήμα 30).

Από τη Χ.Θ. 8410 έως τη Χ.Θ. 9510 προβλέπεται ο εντοπισμός ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου όπως ο προηγούμενος. Αναμένεται να εντοπιστούν ένα ρήγμα ΒΑ και ένα άλλο ΒΔ διεύθυνσης κλίσης. Επίσης ένα ρήγμα θα βρίσκεται μέσα σε μια ταπείνωση του ανάγλυφου με διεύθυνση κλίσης ΒΔ.

Από τη Χ.Θ. 9510 έως Χ.Θ. 10849 αναμενόταν σύμφωνα με την μελέτη επικαλυπτόμενα στρώματα ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου και φυλλιτών. Οι φυλλίτες πιθανολογούνται να έχουν πάχος πάνω από 10m από τα δεδομένα της γεώτρησης T2-12 και 50m περίπου από τα στοιχεία των γεωτρήσεων A17 και B12. Οι ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι έχουν διεύθυνση κλίσης ΝΑ με γωνία κλίσης 30° περίπου στις χιλιομετρικές θέσεις 9500 έως 10200. Στις χιλιομετρικές θέσεις 10200 έως 10690 αναμένεται γεωμετρία του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου γωνίας κλίσης 18° και διεύθυνσης κλίσης 213° . Τέλος αναμένεται στις χιλιομετρικές θέσεις 10690 έως 10750 στρώμα φυλλίτη με γεωμετρικά χαρακτηριστικά $24^\circ/325^\circ$.



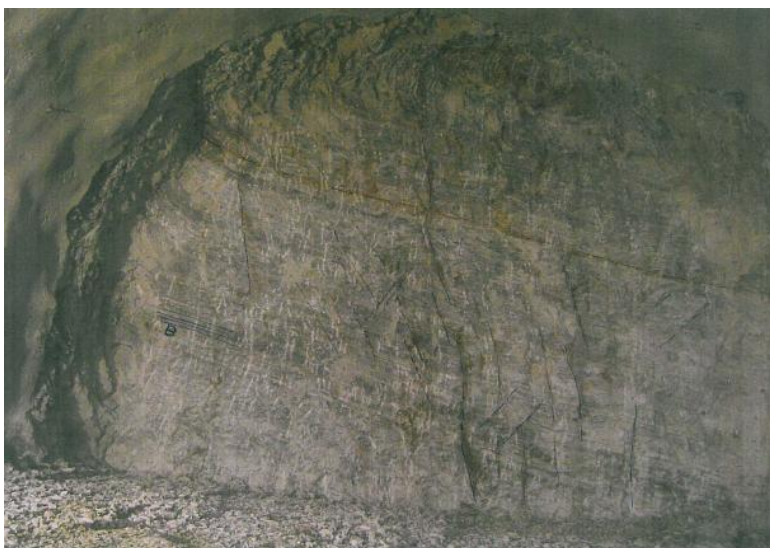
Σχήμα 32: Δίκτυα Schmidt της γεωμετρίας της σχιστότητας του φυλλίτη (κόκκινο) και της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου (μπλε), ανά χιλιομετρική θέση με βάση τα στοιχεία της μελέτης.

3.3 Γεωλογία της στενής περιοχής με βάση τα στοιχεία χαρτογράφησης μετώπου της κατασκευής

3.3.1 Γεωλογικό μοντέλο

Οι προβλέψεις του γεωλογικού μοντέλου της περιοχής, στο κομμάτι της μελέτης βασίστηκαν στη χαρτογράφηση, τη βιβλιογραφία, και στα δεδομένα που προέκυψαν από τις γεωτρήσεις. Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκαν και τα δεδομένα που προέκυψαν από τις χαρτογραφήσεις των μετώπων και από άλλες πηγές κατά την διάνοιξη των δίδυμων σηράγγων, με σκοπό την δημιουργία ενός μοντέλου πιο κοντά στην πραγματικότητα. Πιο συγκεκριμένα, τα στοιχεία συλλέχτηκαν από 1854 δελτία χαρτογράφησης μετώπων και από τις δύο σήραγγες, που αρχικά καταχωρήθηκαν σε ηλεκτρονική βάση δεδομένων, για την πιο εύκολη επεξεργασία τους. Οι σχηματισμοί που συναντήθηκαν κατά την διάνοιξη είναι ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος (Σχήμα 33) και φυλλίτης (Σχήμα 34).

Για την δημιουργία του καινούργιου γεωλογικού μοντέλου εκτός από τα στοιχεία από την χαρτογράφηση, θεωρήθηκαν ως δεδομένα οι γεωτρήσεις που είχαν πραγματοποιηθεί και ότι η χαρτογράφηση που πραγματοποιήθηκε στην μελέτη είναι ορθή. Για τους σχηματισμούς που εντοπίστηκαν στην επιφάνεια κατά την μελέτη από τη χαρτογράφηση, χρησιμοποιήθηκε το ανώτερο τμήμα του γεωλογικού μοντέλου της μελέτης. Το γενικό γεωλογικό μοντέλο του Βόρειου κλάδου της σήραγγας φαίνεται στο Σχήμα 34 και το αντίστοιχο του Νότιου κλάδου στο Σχήμα 40. Η σχετική θέση των δύο κλάδων φαίνεται στο Σχήμα 35.



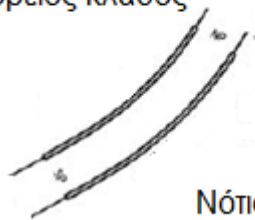
Σχήμα 33: Ενδεικτική εικόνα του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου κατά την διάνοιξη της σήραγγας T2 των Τεμπών (από Δελτίο Χαρτογράφησης Μετώπου).



Σχήμα 34: Ενδεικτική εικόνα του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου κατά την διάνοιξη της σήραγγας T2 των Τεμπών (από Δελτίο Χαρτογράφησης Μετώπου).

T2 Δίδυμες Σήραγγες

Βόρειος κλάδος



Νότιος κλάδος

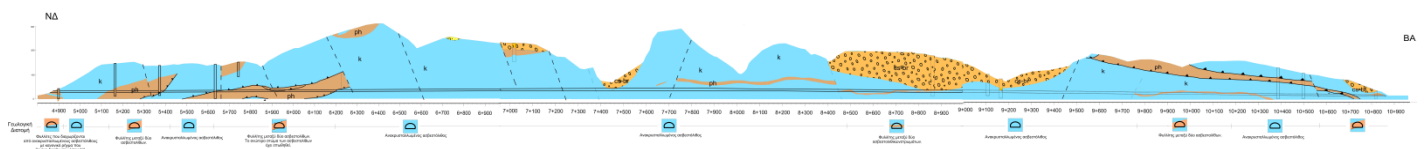
Σχήμα 35: Σχετική θέση του Βόρειου και Νότιου κλάδου της σήραγγας T2 των Τεμπών.

Βόρειος κλάδος.

Όπως φαίνεται στο γεωλογικό μοντέλο της σήραγγας (Σχήμα 36, Σχήμα 37, Σχήμα 38, Σχήμα 39) στον Βόρειο κλάδο από την Χ.Θ 4870 έως 4920 εντοπίστηκαν φυλλίτες που διαχωρίζονται από τους ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους με κανονικό ρήγμα που θα έχει διεύθυνση κλίσης ΝΔ. Από την Χ.Θ. 4920 έως την Χ.Θ 5133 εντοπίζεται μόνο ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος όπως και στα τμήματα με Χ.Θ. 5390 έως τη Χ.Θ 5635, Χ.Θ. 6200 έως τη Χ.Θ. 8475, Χ.Θ. 8915 έως τη Χ.Θ. 9460, Χ.Θ. 10148 έως τη Χ.Θ. 10640.

Στη Χ.Θ. 5133 έως τη Χ.Θ 5390 εντοπίζεται φυλλίτης που έχει επωθηθεί πάνω στον ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο. Πάνω από τον φυλλίτη υπάρχει στρώμα ασβεστολίθου. Από τη Χ.Θ. 5635 έως τη Χ.Θ. 6200 εντοπίζεται πάλι

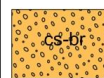
φυλλίτης ανάμεσα σε δύο ασβεστολιθικά στρώματα όπου οι επαφή του με αυτά είναι επωθήσεις. Όπως και στις Χ.Θ. 5635 έως την 6200 ο φυλλίτης έχει αξιόλογο πάχος με αποτέλεσμα σε κάποια μεγάλα κομμάτια να εντοπίζεται εντός της σήραγγας μόνο φυλλίτης. Στις Χ.Θ. 8475 έως 8915 και από την Χ.Θ. 9460 έως 10148 εντοπίζεται ένα μικρό στρώμα φυλλίτη πτυχωμένο που να βρίσκεται ένθετο ανάμεσα σε ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο. Λόγω της πτύχωσης η σήραγγα συναντάει εναλλαγές φυλλίτη και ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου.



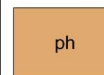
Σχήμα 36: Βόρειος κλάδος της σήραγγα T2 σε όλο το μήκος της, με βάση τα στοιχεία της κατασκευής.

Υπόμνημα

Σχηματισμοί



Κώνιοι κορημάτων, cs-br: Σχηματισμός γωνιωδών ασβεστολιθικών θραυσμάτων, με αμμόδες υλικό και κατα θέσεις συγκολλημένο.



Φυλλίτες, ph: Ημιβραχώδης σχηματισμός μετα-φλυσχικής ακολουθίας, αποτελούμενης από φυλλίτες και σχιστολίθους. Μέσα στον σχηματισμό παρατηρούνται και ολισθοστρώματα ασβεστολιθικά.



Ασβεστόλιθος, k: Βραχώδης σχηματισμός μέσο έως λεπτο-στρωματώδης ασβεστόλιθος ανακρυσταλλωμένος. Κατα θέσεις παρατηρείται έντονη τεκτονική καταπόνηση και κρυστικοποίηση.

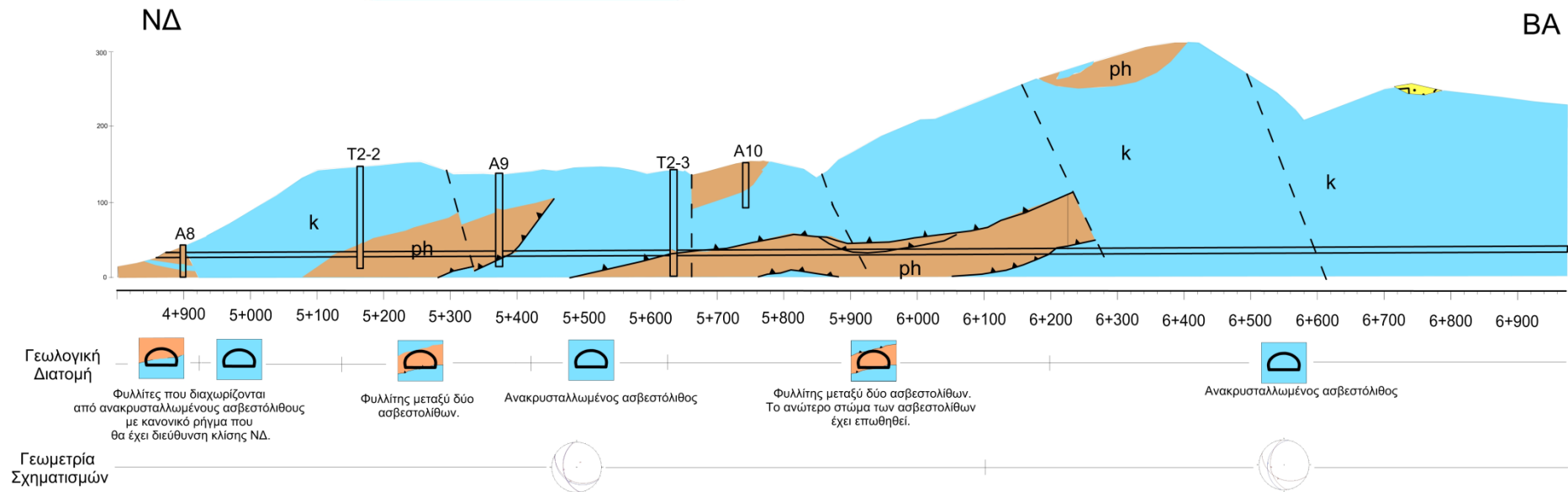
Τεκτονικά στοιχεία



Κανονικό ρήγμα.



Επώθηση (ανάστροφο ρήγμα)



Σχήμα 37: Γεωλογική τομή της σήραγγας του Βόρειου κλάδου T2 από την Χ.Θ 4888 έως την Χ.Θ. 6960 με τη χρήση και των στοιχείων της κατασκευής.

Υπόμνημα

Σχηματισμοί

cs-br: Κώνιοι κορημάτων, cs-br: Σχηματισμός γωνιωδών ασβεστολιθικών θραυσμάτων, με αμμώδες υλικό και κατά θέσεις συγκολλημένο.

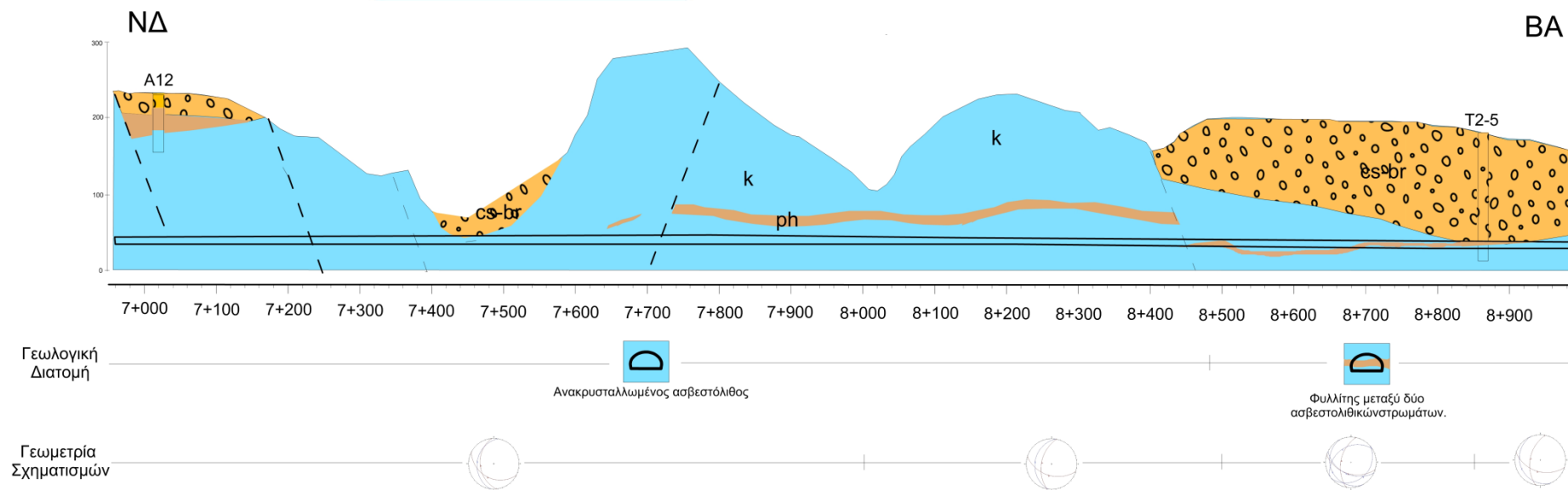
ph: Φυλλίτες, ph: Ημιβραχώδης σχηματισμός μετα-φλυσικής ακολουθίας, αποτελούμενης από φυλλίτες και σχιστολίθους. Μέσα στον σχηματισμό παρατηρούνται ολισθοστρώματα ασβεστολιθικά.

k: Ασβεστόλιθος, k: Βραχώδης σχηματισμός μέσο έως λεπτοστρωματώδης ασβεστόλιθος ανακρυσταλλωμένος. Κατά θέσεις παρατηρείται έντονη τεκτονική καταπόνηση και κρυστικοποίηση.

Τεκτονικά στοιχεία

----- Κανονικό ρήγμα.

————— Επώθηση (ανάστροφο ρήγμα)



Σχήμα 38: Γεωλογική τομή της σήραγγας του Βόρειου κλάδου T2 από τη Χ.Θ 6960 έως τη Χ.Θ. 9000 με τη χρήση και των στοιχείων της κατασκευής.

Υπόμνημα

Σχηματισμοί

cs-br: Κώνοι κορημάτων, **cs-br**: Σχηματισμός γωνιωδών ασβεστολιθικών θραυσμάτων, με αμμώδες υλικό και κατά θέσεις συγκολλημένο.

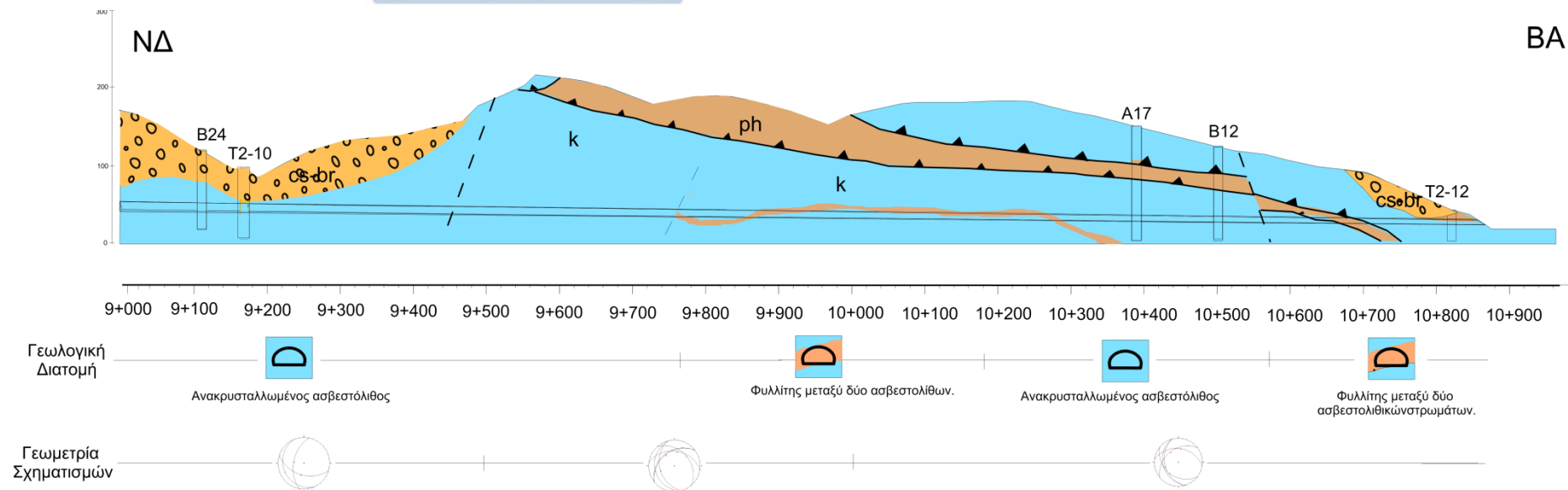
ph: Φυλλίτες, **ph**: Ημιβραχώδης σχηματισμός μετα-φλυσικής ακολουθίας, αποτελούμενης από φυλλίτες και σχιστολίθους. Μέσα στον σχηματισμό παρατηρούνται ολισθοστρώματα ασβεστολιθικά.

k: Ασβεστόλιθος, **k**: Βραχώδης σχηματισμός μέσο έως λεπτο-στρωματώδης ασβεστόλιθος ανακρυσταλλωμένος. Κατά θέσεις παρατηρείται έντονη τεκτονική καταπόνηση και κρυστικοποίηση.

Τεκτονικά στοιχεία

----- Κανονικό ρήγμα.

————— Επώθηση (ανάστροφο ρήγμα)



Σχήμα 39: Γεωλογική τομή της σήραγγας του Βόρειου κλάδου T2 από τη Χ.Θ 9000 έως τη Χ.Θ. 10860 με την χρήση και των στοιχείων της κατασκευής.

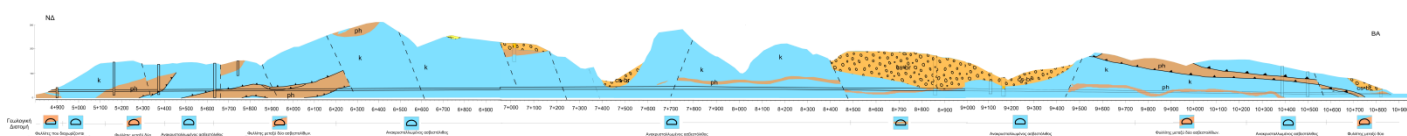
Υπόμνημα	
<u>Σχηματισμοί</u>	
	Κώνιοι κορημάτων, cs-br: Σχηματισμός γωνιωδών ασβεστολιθικών θραυσμάτων, με αμμώδες υλικό και κατα θέσεις συγκολλημένο.
	Φυλλίτες, ph: Ημιβραχώδης σχηματισμός μετα-φλυσικής ακολουθίας, αποτελούμενης από φυλλίτες και σχιστολίθους. Μέσα στον σχηματισμό παρατηρούνται ολισθοστρώματα ασβεστολιθικά.
	Ασβεστόλιθος, k: Βραχώδης σχηματισμός μέσο έως λεπτο-στρωματώδης ασβεστόλιθος ανακρυσταλλωμένος. Κατα θέσεις παρατηρείται έντονη τεκτονική καταπόνηση και κρυστικοποίηση.
<u>Τεκτονικά στοιχεία</u>	
	Κανονικό ρήγμα.
	Επώθηση (ανάστροφο ρήγμα)

Νότιος κλάδος.

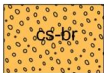
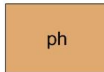
Ο Νότιος κλάδος της T2 σήραγγας έχει παρόμοια γεωλογία (Σχήμα 40, Σχήμα 41, Σχήμα 42, Σχήμα 43) με μικρές διαφοροποιήσεις. Όπως φαίνεται και στο γεωλογικό μοντέλο της σήραγγας από τη Χ.Θ 4870 έως 4920 εντοπίστηκαν φυλλίτες που διαχωρίζονται από τους ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους με κανονικό ρήγμα που έχει διεύθυνση κλίσης ΝΔ. Από την Χ.Θ. 4920 έως τη Χ.Θ 5133 εντοπίζεται μόνο ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος όπως και στα τμήματα με Χ.Θ. 5390 έως τη Χ.Θ 5635, Χ.Θ. 6200 έως τη Χ.Θ. 8475, Χ.Θ. 8915 έως τη Χ.Θ. 9805, Χ.Θ. 10148 έως τη Χ.Θ. 10640.

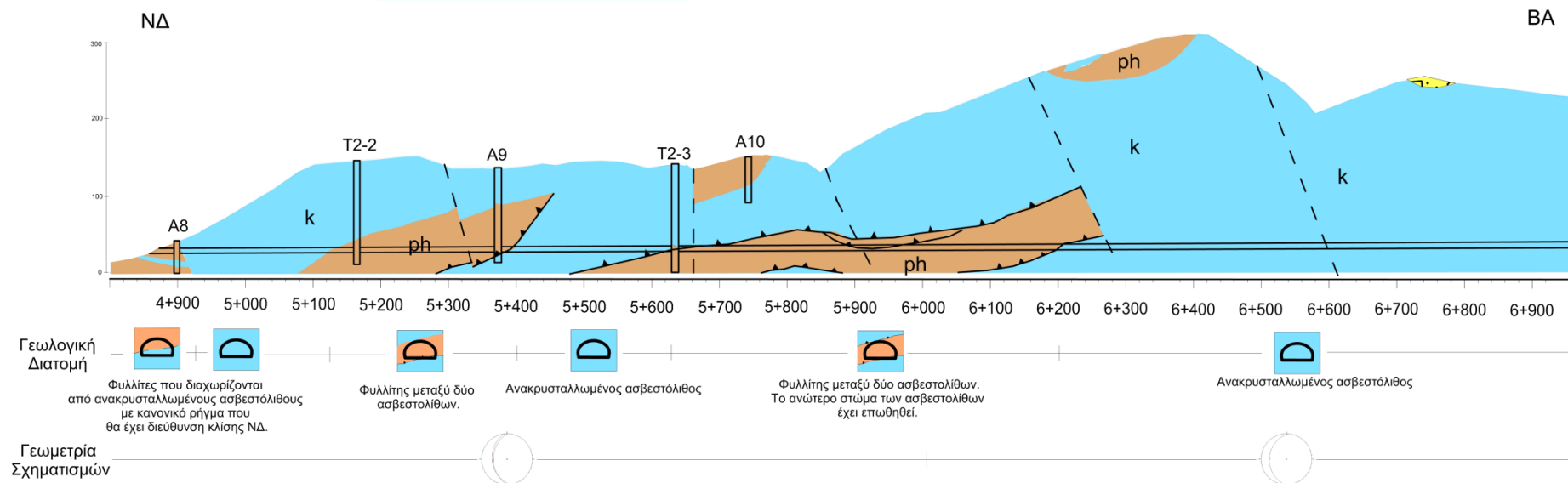
Από τη Χ.Θ. 5133 έως τη Χ.Θ 5390 εντοπίζεται φυλλίτης που έχει επωθηθεί πάνω στον ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο. Πάνω από τον φυλλίτη υπάρχει στρώμα ασβεστολίθου. Από την Χ.Θ. 5635 έως τη Χ.Θ. 6200 εντοπίζεται πάλι φυλλίτης ανάμεσα σε δύο ασβεστολιθικά στρώματα όπου οι επαφή του με αυτά είναι επωθήσεις. Όπως και στις Χ.Θ. από 5635 έως τη 6200 ο φυλλίτης έχει αξιόλογο πάχος με αποτέλεσμα σε κάποια μεγάλα κομμάτια να εντοπίζεται εντός της σήραγγας μόνο φυλλίτης. Στις Χ.Θ. 8475 έως 8915 και από τη Χ.Θ. 9805 έως 10148 εντοπίζεται ένα μικρό στρώμα φυλλίτη πτυχωμένο που βρίσκεται ένθετο ανάμεσα σε ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο. Λόγω της πτύχωσης η σήραγγα συναντάει εναλλαγές φυλλίτη και ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου.

Γενικά όπως και προαναφέρθηκε οι δύο σήραγγες παρουσιάζουν όμοια γεωλογικά χαρακτηριστικά. Η κύρια διαφορά είναι ότι στον Βόρειο κλάδο στη Χ.Θ. 9460 εισχωρεί μέσα στην σήραγγα το στρώμα του φυλλίτη, κάτι που δεν συμβαίνει στον Νότιο κλάδο.



Σχήμα 40: Νότιος κλάδος της σήραγγας T2 σε όλο το μήκος της, με βάση τα στοιχεία της κατασκευής.

Υπόμνημα	
Σχηματισμοί	
	Κώνιοι κορημάτων, cs-br: Σχηματισμός γωνιωδών ασβεστολιθικών θραυσμάτων, με αμμόδες υλικό και κατα θέσεις συγκολλημένο.
	Φυλλίτες, ph: Ημιβραχώδης σχηματισμός μετα-φλυσικής ακολουθίας, αποτελούμενη από φυλλίτες και σχιστολίθους. Μέσα στον σχηματισμό παρατηρούνται ολισθοστρώματα ασβεστολιθικά.
	Ασβεστόλιθος, k: Βραχώδης σχηματισμός μέσο έως λεπτο-στρωματώδης ασβεστόλιθος ανακρυσταλλωμένος. Κατα θέσεις παρατηρείται έντονη τεκτονική καταπόνηση και κρυστικοποίηση.
Τεκτονικά στοιχεία	
	Κανονικό ρήγμα.
	Επώθηση (ανάστροφο ρήγμα)



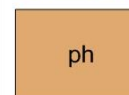
Σχήμα 41: Γεωλογική τομή του Νότιου κλάδου της σήραγγας T2 από τη Χ.Θ 4888 έως τη Χ.Θ. 6960 με την χρήση και των στοιχείων της κατασκευής.

Υπόμνημα

Σχηματισμοί



Κώνιοι κορημάτων, cs-br: Σχηματισμός γωνιωδών ασβεστολιθικών θραυσμάτων, με αμμώδες υλικό και κατα θέσεις συγκολλημένο.



Φυλλίτες, ph: Ημιβραχώδης σχηματισμός μετα-φλυσικής ακολουθίας, αποτελούμενης από φυλλίτες και σχιστολίθους. Μέσα στον σχηματισμό παρατηρούνται ολισθοστρώματα ασβεστολιθικά.



Ασβεστόλιθος, k: Βραχώδης σχηματισμός μέσο έως λεπτο-στρωματώδης ασβεστόλιθος ανακρυσταλλωμένος. Κατα θέσεις παρατηρείται έντονη τεκτονική καταπόνηση και, κρυστικοποίηση.

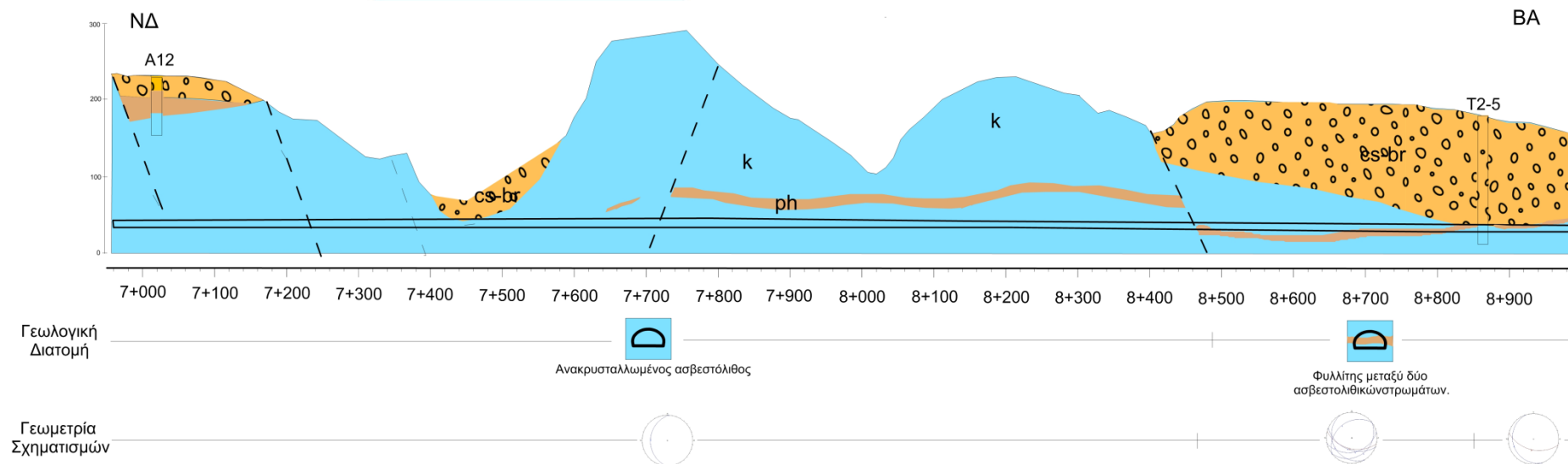
Τεκτονικά στοιχεία



Κανονικό ρήγμα.



Επώθηση (ανάστροφο ρήγμα)



Σχήμα 42: Γεωλογική τομή του Νότιου κλάδου της σήραγγας T2 από τη Χ.Θ 6960 έως τη Χ.Θ. 9000 με την χρήση και των στοιχείων της κατασκευής.

Υπόμνημα

Σχηματισμοί

cs-br **Κώνιοι κορημάτων, cs-br:** Σχηματισμός γωνιωδών ασβεστολιθικών θραυσμάτων, με αμμώδες υλικό και κατα θέσεις συγκολλημένο.

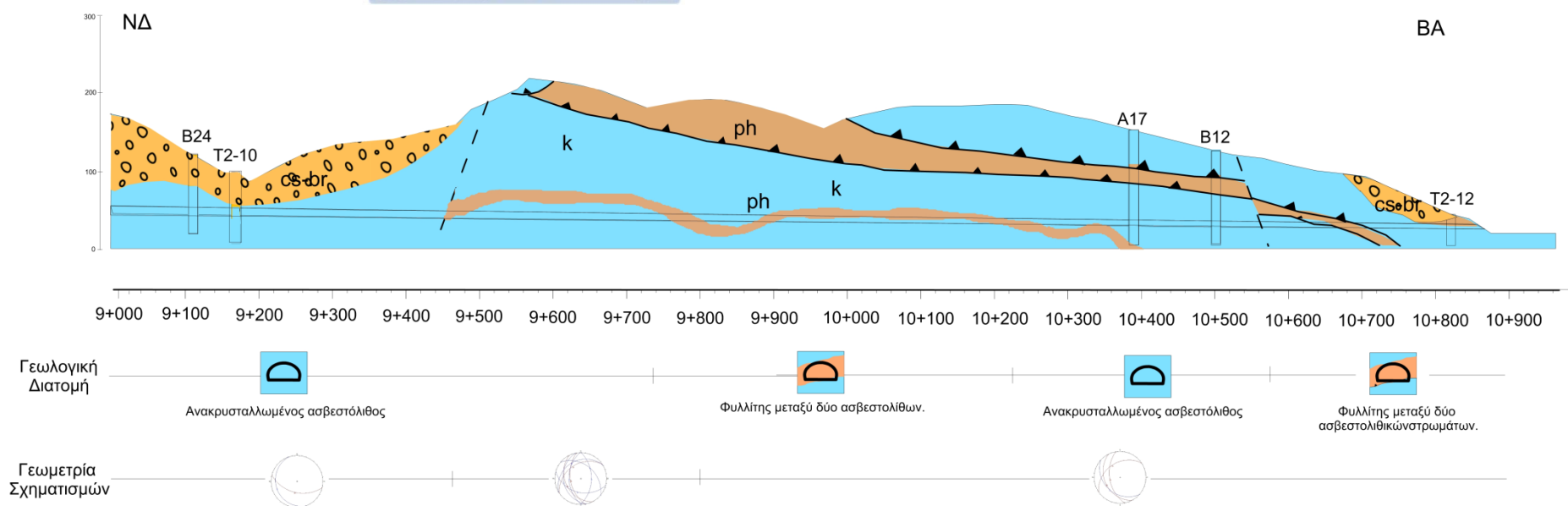
ph **Φυλλίτες, ph:** Ημιβραχώδης σχηματισμός μετα-φλυσικής ακολουθίας, αποτελούμενης από φυλλίτες και σχιστολίθους. Μέσα στον σχηματισμό παρατηρούνται ολισθοστρώματα ασβεστολιθικά.

k **Ασβεστόλιθος, k:** Βραχώδης σχηματισμός μέσο έως λεπτο-στρωματώδης ασβεστόλιθος ανακρυσταλλωμένος. Κατα θέσεις παρατηρείται έντονη τεκτονική καταπόνηση και κρυστικοποίηση.

Τεκτονικά στοιχεία

----- Κανονικό ρήγμα.

————— Επώθηση (ανάστροφο ρήγμα)



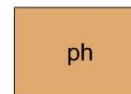
Σχήμα 43: Γεωλογική τομή του Νότιου κλάδου της σήραγγας T2 από τη Χ.Θ. 9000 έως τη Χ.Θ. 10860 με την χρήση και των στοιχείων της κατασκευής.

Υπόμνημα

Σχηματισμοί



Κώνιοι κορημάτων, cs-br: Σχηματισμός γωνιωδών ασβεστολιθικών θραυσμάτων, με αμμόδες υλικό και κατα θέσεις συγκολλημένο.



Φυλλίτες, ph: Ημιβραχώδης σχηματισμός μετα-φλυσικής ακολουθίας, αποτελούμενης από φυλλίτες και σχιστολίθους. Μέσα στον σχηματισμό παρατηρούνται ολισθοστρώματα ασβεστολιθικά.



Ασβεστόλιθος, k: Βραχώδης σχηματισμός μέσο έως λεπτο-στρωματώδης ασβεστόλιθος ανακρυσταλλωμένος. Κατα θέσεις παρατηρείται έντονη τεκτονική καταπόνηση και, κρυστικοποίηση.

Τεκτονικά στοιχεία



Κανονικό ρήγμα.



Επώθηση (ανάστροφο ρήγμα)

3.3.2 Στοιχεία γεωμετρίας των σχηματισμών

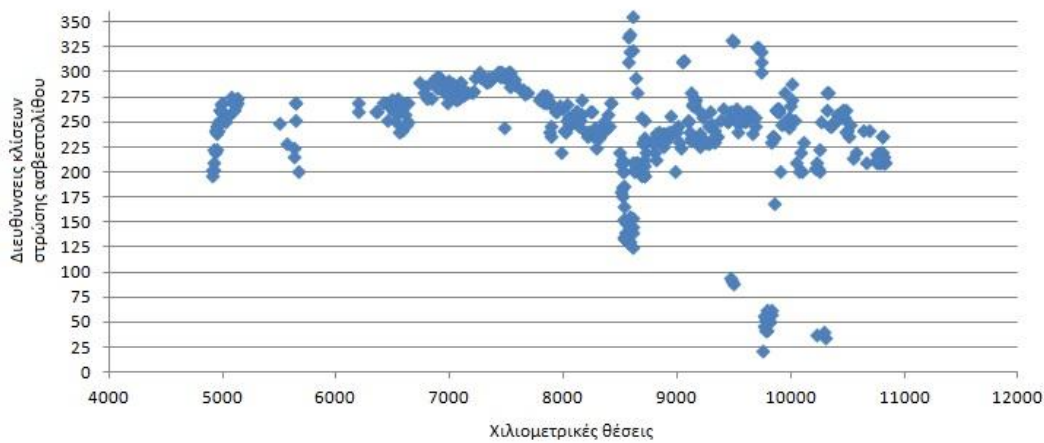
Κατά τη χαρτογράφηση των μετώπων έγινε συλλογή μετρήσεων των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των ασυνεχειών, δηλαδή της στρώσης/σχιστότητας και των διακλάσεων/ρηγμάτων. Στο παρόν υποκεφάλαιο γίνεται αναφορά στις μετρήσεις πάνω στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών όπου έχουν συλλεχθεί αυτές. Στη συνέχεια γίνεται παράθεση των στοιχείων και για τις δύο σήραγγες, για τους ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους και τους φυλλίτες.

Νότιος κλάδος

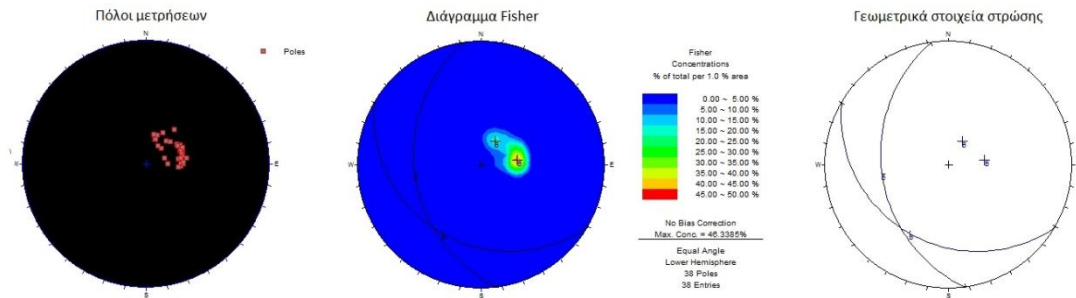
Για το Νότιο κλάδο πραγματοποιήθηκαν 443 μετρήσεις για την εύρεση της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου, 167 μετρήσεις για την εύρεση της σχιστότητας στους φυλλίτες και 1547 μετρήσεις για την εύρεση των γεωμετρικών στοιχείων των διακλάσεων. Αυτές καταγράφηκαν σε φύλλο Excel και πραγματοποιήθηκε η κατασκευή τεκτονικού στερεοδιαγράμματος στο οποίο φαίνεται η κατανομή των διευθύνσεων κλίσεων της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου (Σχήμα 44) και της σχιστότητας του φυλλίτη (Σχήμα 52). Η κατασκευή αυτών των διαγραμμάτων έχει ως στόχο την εύρεση διαφοροποιήσεων στην κατανομή των διευθύνσεων κλίσεων στις περιοχές των χιλιομετρικών θέσεων, ώστε να ομαδοποιηθούν και να εξεταστούν ξεχωριστά. Το κριτήριο είναι η μεγάλη διαφοροποίηση του εύρους τιμών της. Τα δεδομένα από την κάθε ομαδοποίηση τοποθετήθηκαν στο πρόγραμμα Dips, όπου παρατηρήθηκε η κατανομή των πόλων, η συγκέντρωση πυκνών σημείων τους και εύρεση των αντιπροσωπευτικών γεωμετρικών στοιχείων.

Από την έναρξη της σήραγγας έως την χιλιομετρική θέση 6000 παρατηρείται ότι η διεύθυνση κλίσης της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου περιορίζεται στις τιμές 200° έως 300° , όπου συσσωρεύσεις των πόλων των μετρήσεων, οδηγούν στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου 210° - $262^\circ/25^\circ$ - 32° (Σχήμα 45). Στις χιλιομετρικές θέσεις 6200 έως 8500, η γεωμετρία που επικρατεί είναι $278^\circ/23^\circ$ (Σχήμα 46). Στις χιλιομετρικές θέσεις 8500 έως 8800 το εύρος της διεύθυνσης κλίσης κυμαίνεται από 350° έως 100° . Το εύρος διευρύνεται αρκετά λόγω της πτύχωσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου, γεγονός που παρατηρείται και στο υπόλοιπο τμήμα της σήραγγας. Σ' αυτό το τμήμα οι συσσωρεύσεις που συγκεντρώνονται οδήγησαν στις ακόλουθες τιμές για τη γεωμετρία του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου 140° - $327^\circ/11^\circ$ - 39° (Σχήμα 47).

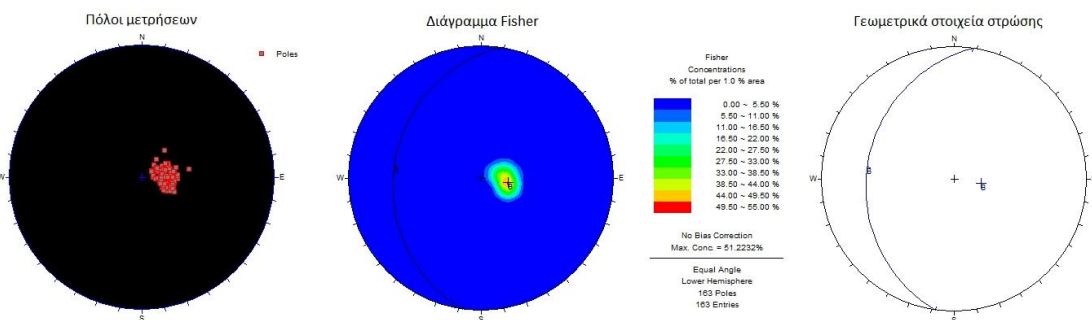
Κατανομή των διευθύνσεων κλίσεων ανά χιλιομετρικών θέσεων



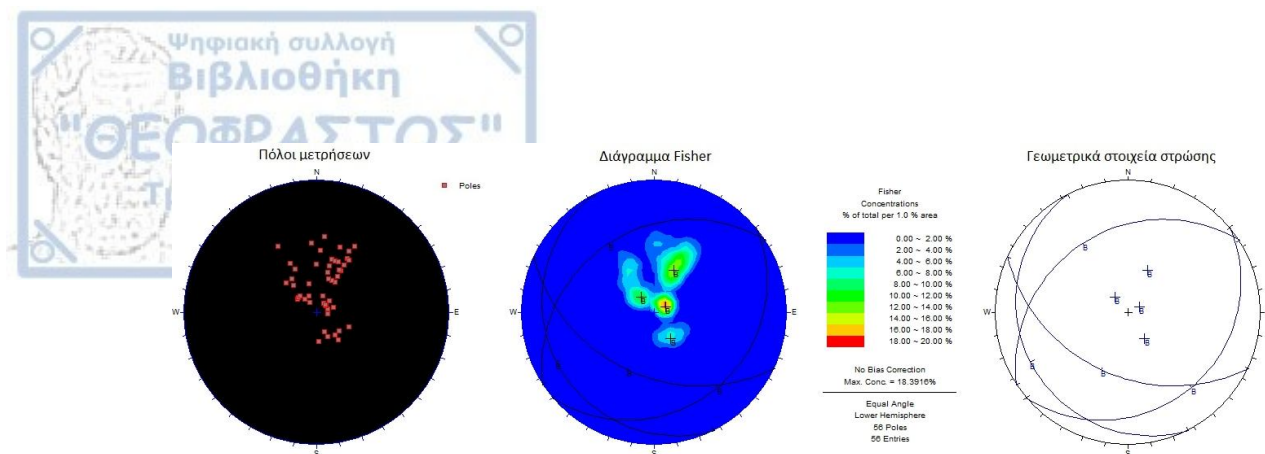
Σχήμα 44: Κατανομή διευθύνσεων κλίσεων της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με τις χιλιομετρικές θέσεις του Νότιου κλάδου της T2 σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.



Σχήμα 45: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης $210^{\circ}/25^{\circ}$ ($210^{\circ}/25^{\circ}$ και $262^{\circ}/32^{\circ}$) για τις χιλιομετρικές θέσεις 4870 έως 6000 του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.

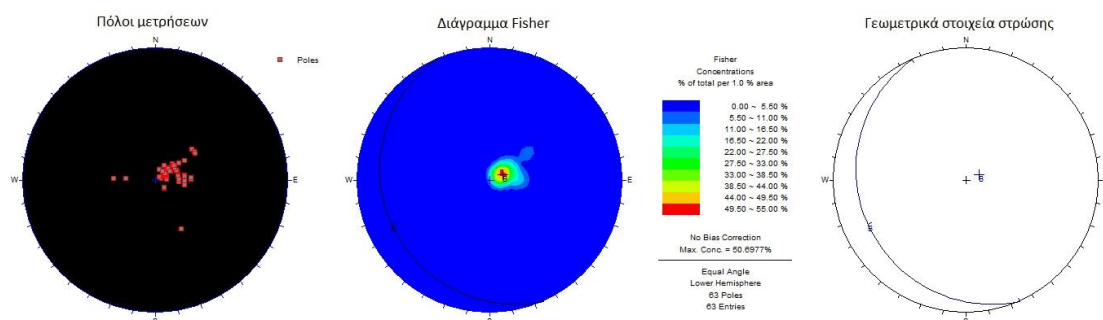


Σχήμα 46: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης $278^{\circ}/23^{\circ}$ για τις χιλιομετρικές θέσεις 6200 έως 8500 του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.

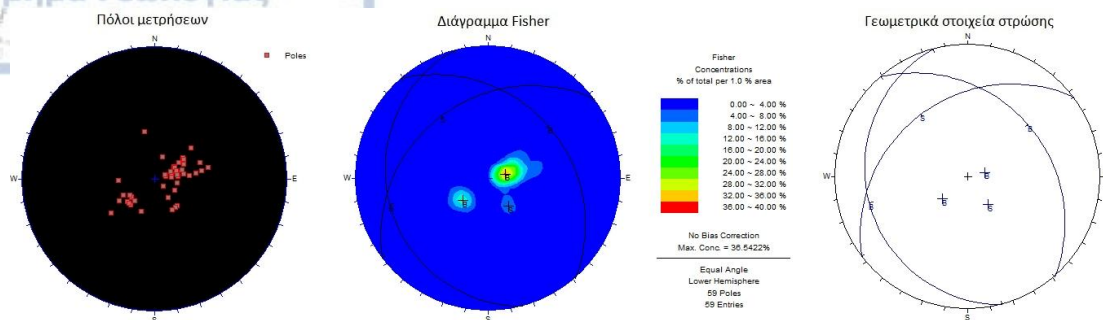


Σχήμα 47: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης 140° - $327^{\circ}/11^{\circ}$ - 39° ($205^{\circ}/39^{\circ}$, $243^{\circ}/11^{\circ}$, $327^{\circ}/26^{\circ}$, $140^{\circ}/17^{\circ}$) για τις χιλιομετρικές θέσεις 8500 έως 8800 του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.

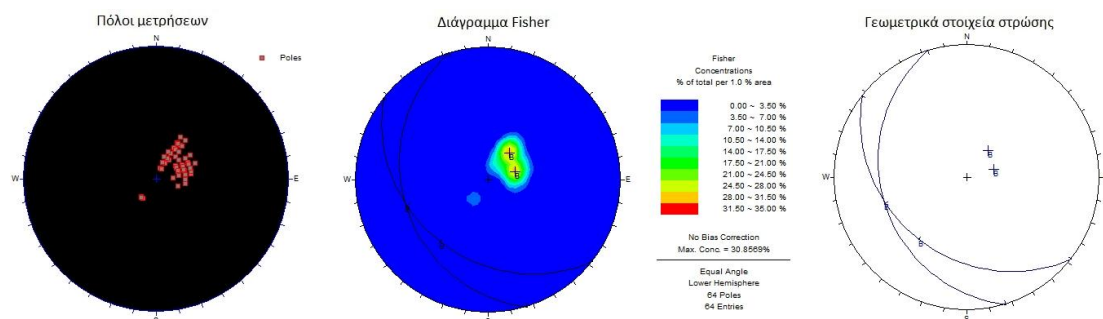
Στις χιλιομετρικές θέσεις 8800 έως 9500 οι τιμές της διεύθυνσης κλίσης έχουν μικρότερη διακύμανση από αυτές στις χιλιομετρικές θέσεις 8500 έως 8800. Σε αυτή την περιοχή οι τιμές της διεύθυνσης κλίσης έχουν τιμές από 315° έως 200° , αλλά έχει αρκετά καλή πυκνότητα πόλων με στρώση $246^{\circ}/12^{\circ}$ (Σχήμα 48). Στις χιλιομετρικές θέσεις από 9500 έως 10000 όπου εντοπίζεται ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος. Σε αυτήν την περίπτωση το εύρος των πόλων διευρύνεται αρκετά, με οριακές τιμές διεύθυνσης κλίσης 20° έως 330° . Από την επεξεργασία στο πρόγραμμα Dips προέκυψε η εξής γεωμετρία με τιμές 049° - $323^{\circ}/15^{\circ}$ - 29° (Σχήμα 49). Τέλος στις χιλιομετρικές θέσεις από 10000 έως 10860 η τιμές πάλι έχουν μικρότερο εύρος και από την ανάλυση προκύπτει η διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης 218° - $253^{\circ}/24^{\circ}$ - 29° $218^{\circ}/29^{\circ}$ (Σχήμα 50). Η γεωμετρία του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου συνοψίζονται στον πίνακα 7 και όλα τα δίκτυα Schmidt ανά χιλιομετρική θέση στο Σχήμα 51.



Σχήμα 48: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης $246^{\circ}/12^{\circ}$ για τις χιλιομετρικές θέσεις από 8800 έως 9500 του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.



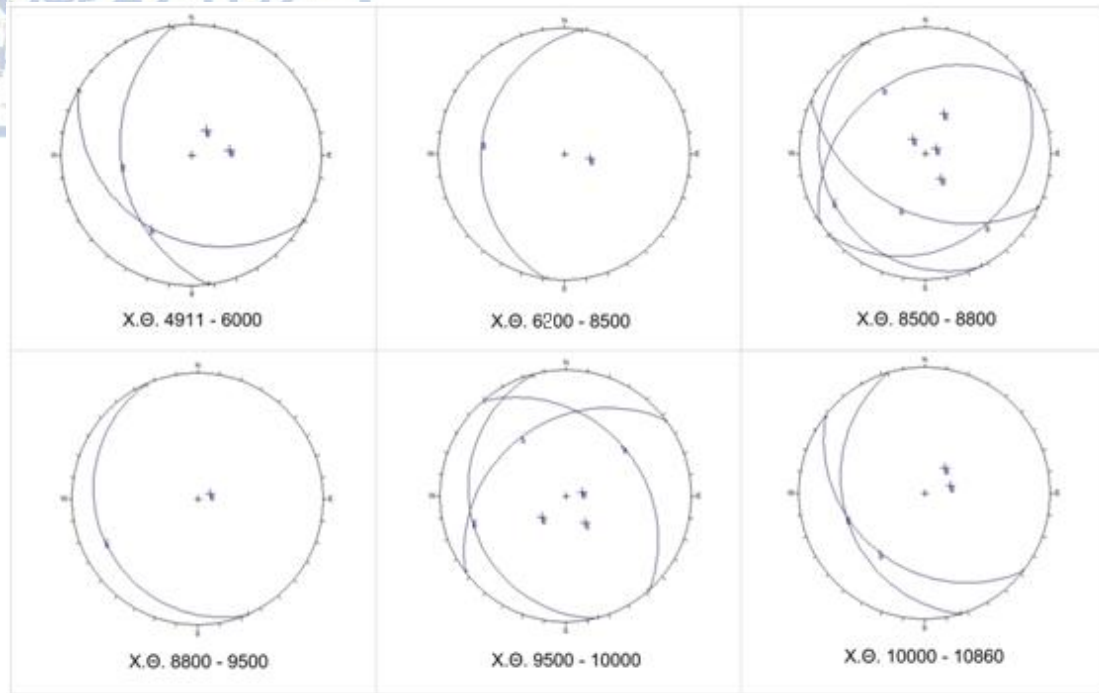
Σχήμα 49: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις των γεωμετρικών στοιχείων της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης 049°-323°/15°-29° (255°/15°, 049°/28°, 323°/29°) για τις χιλιομετρικές θέσεις από 9500 έως 10000 του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.



Σχήμα 50: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης 218°-253°/24°-29° (218°/29° και 253°/24°) για τις χιλιομετρικές θέσεις από 10000 έως 10860 του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.

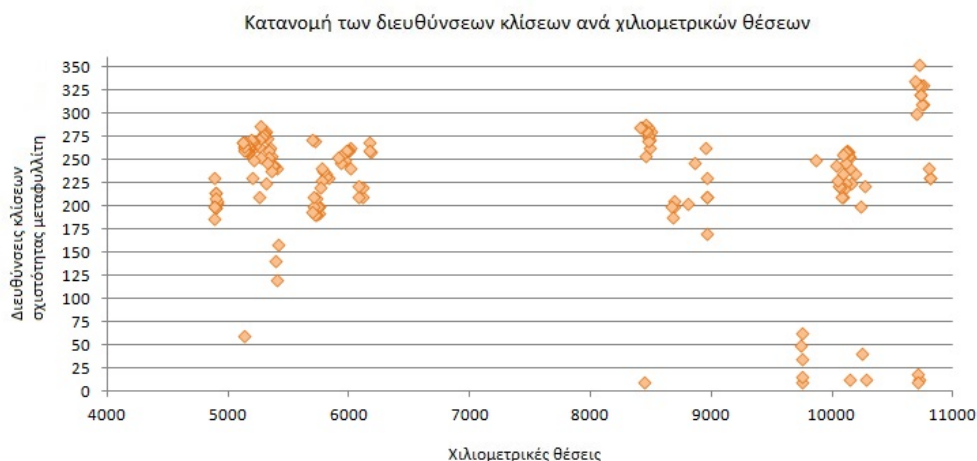
Πίνακας 7: Η στρώση του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου ανά περιοχές χιλιομετρικών θέσεων του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.

Χιλιομετρική Θέση	Στρώση του Ανακρυσταλλωμένου Ασβεστολίθου (Διεύθυνση κλίσης/κλίση)
4888 - 6000	210°-262°/25°-32°
6200 - 8500	278°/23°
8500 - 8800	140°-327°/11°-39°
8800 - 9500	246°/12°
9500 - 10000	049°-323°/15°-29°
10000 - 10860	218°-253°/24°-29°



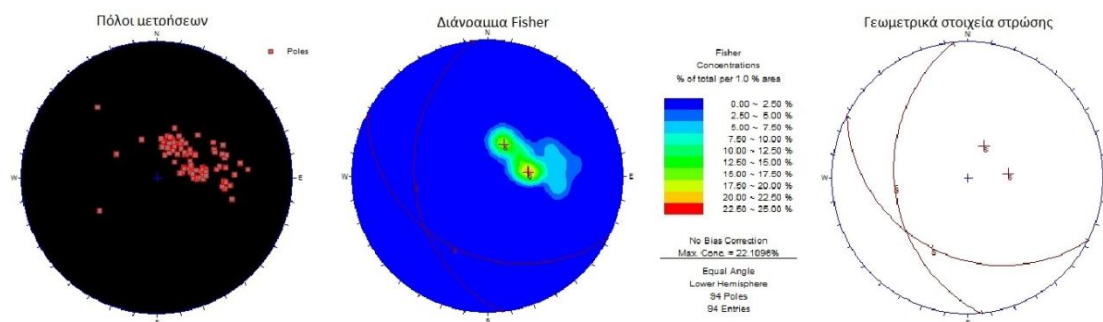
Σχήμα 51: Δίκτυα Schmidt της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου, ανά χιλιομετρικές θέσεις στον Νότιο κλάδο της σήραγγας T2 σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.

Όσον αφορά την σχιστότητα του φυλλίτη, πραγματοποιήθηκε η ίδια διαδικασία. Κατασκευάστηκε η κατανομή των διευθύνσεων κλίσεων με τις χιλιομετρικές θέσεις (Σχήμα 52) και έγινε ομαδοποίηση σε τρία τμήματα της σήραγγας. Όπως φαίνεται και στο σχήμα υπάρχουν οι τρεις διακριτές περιοχές: α) από την χιλιομετρική θέση 4888 έως 6500, β) από την χιλιομετρική θέση 8000 έως 9000, γ) από την χιλιομετρική θέση 9000 έως 10860.

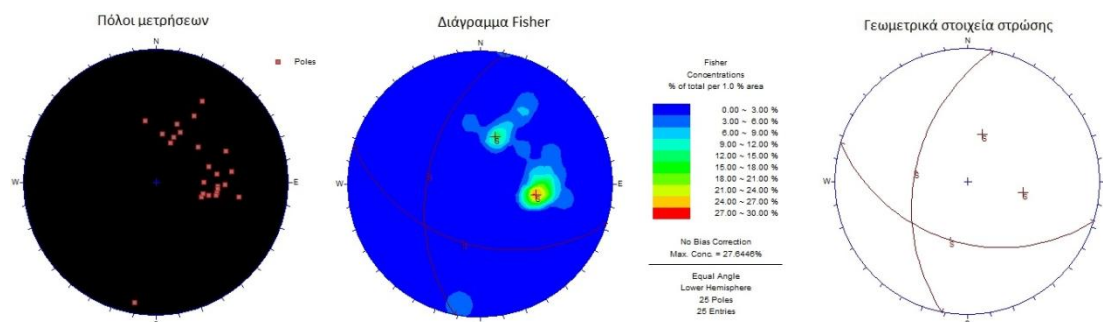


Σχήμα 52: Κατανομή διευθύνσεων κλίσεων της σχιστότητας του φυλλίτη με τις χιλιομετρικές θέσεις του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.

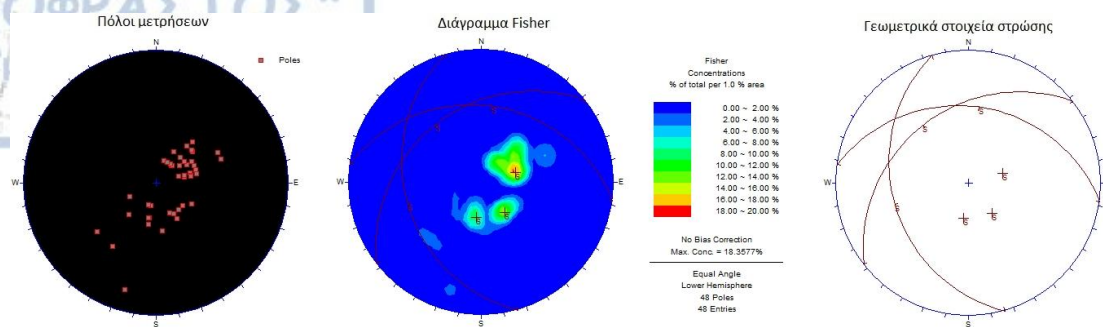
Από την χιλιομετρική θέση 4888 έως την χιλιομετρική θέση 6194 το εύρος τιμών της διεύθυνσης κλίσης, εκτός μιας τιμής, κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 115° έως 300°. Με την επεξεργασία των στοιχείων στο πρόγραμμα Dips η γεωμετρία του φυλλίτη παίρνει τιμές διεύθυνσης κλίσης/γωνίας κλίσης 207°-264°/30°-33° (Σχήμα 53). Στις χιλιομετρικές θέσεις από 8460 έως 9500 οι τιμές που παίρνει είναι 197°-281°/41°-56° (Σχήμα 54). Στις χιλιομετρικές θέσεις από 9500 έως 10860 οι τιμές της διεύθυνσης κλίσης είναι αρκετά διευρυμένες, και η γεωμετρία του φυλλίτη είναι 008°-322°/30°-32° (Σχήμα 55). Η γεωμετρία του φυλλίτη ανά χιλιομετρική θέση συνοψίζεται στον Πίνακα 8 και στο Σχήμα 56. Στον Πίνακα 10 και στον Πίνακα 11 παρουσιάζονται οι στρώση του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου και η σχιστότητα του φυλλίτη ανά χιλιομετρικές θέσεις τόσο από τα στοιχεία της κατασκευής, όσο και από αυτά της μελέτης.



Σχήμα 53: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της σχιστότητας του φυλλίτη με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης 207°-264°/30°-33° (264°/33° και 207°/30°) για τις χιλιομετρικές θέσεις από 4888 έως 6194 του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.



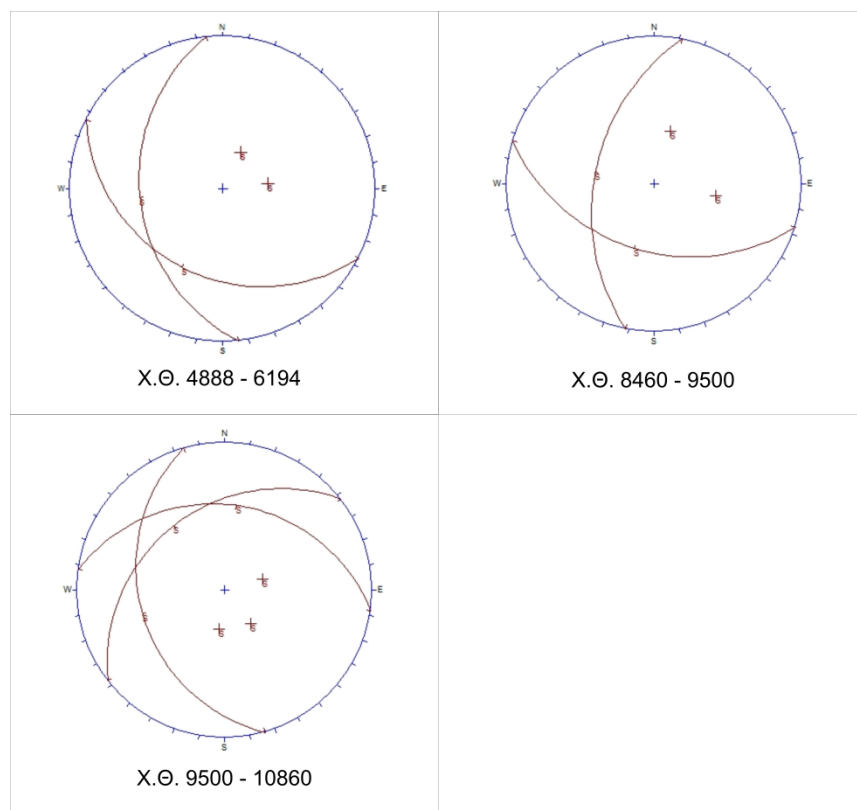
Σχήμα 54: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της σχιστότητας του φυλλίτη με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης 197°-281°/51°-56° (197°/51° και 281°/56°) για τις χιλιομετρικές θέσεις από 8460 έως 9500 του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.



Σχήμα 55: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της σχιστότητας του φυλλίτη με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης 008°/30°-32° (008°/30°, 254°/30° και 322°/32°) για τις χιλιομετρικές θέσεις από 9500 έως 10860 του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.

Πίνακας 8: Η σχιστότητα του φυλλίτη ανά περιοχές χιλιομετρικών θέσεων του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.

Χιλιομετρική Θέση	Σχιστότητα Φυλλίτη (Διεύθυνση κλίσης/κλίση)
4888 - 6194	207°-264°/30°-33°
8460 - 9500	197°-281°/51°-56°
9500 - 10860	008°-322°/30°-32°

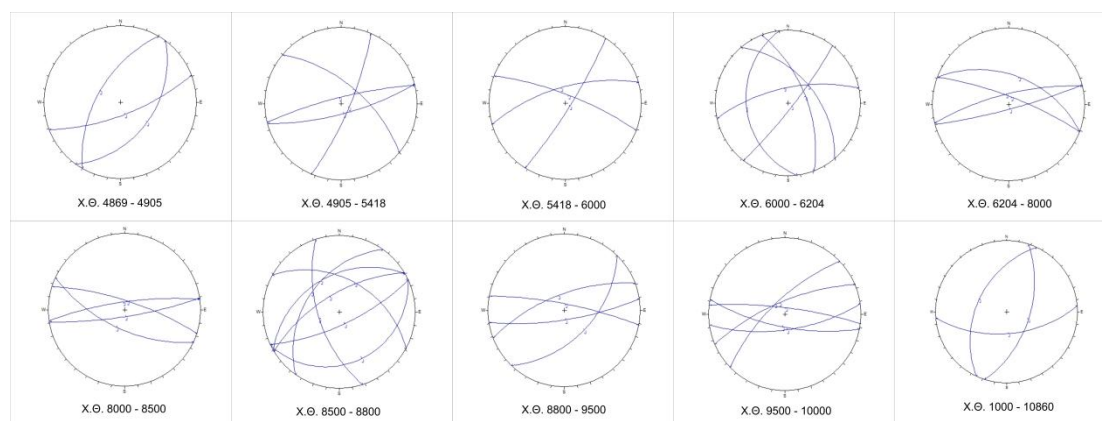


Σχήμα 56: Δίκτυα Schmidt της σχιστότητας του φυλλίτη, ανά χιλιομετρικές θέσεις στον Νότιο κλάδο της σήραγγας T2 σήραγγας με βάση των στοιχείων κατασκευής.

Εκτός της γεωμετρίας των σχηματισμών, πραγματοποιήθηκε και τμηματική μελέτη των γεωμετρικών στοιχείων των διακλάσεων που καταγράφηκαν από την ανάδοχο. Τα τμήματα χωρίστηκαν με βάση την διαφοροποίηση των γεωμετρικών στοιχείων της γεωμετρίας του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου και του φυλλίτη και με βάση την σειρά που συναντούσε τους σχηματισμούς η σήραγγα. Τα κυρίαρχα συστήματα διακλάσεων παρουσιάζονται στον πίνακα 9 και στο Σχήμα 57.

Πίνακας 9: Συστήματα διακλάσεων ανά περιοχές χιλιομετρικών θέσεων του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.

Χιλιομετρική Θέση	Συστήματα Διακλάσεων (Διεύθυνση κλίσης/κλίση)
488-4905	56°/300°, 43°/126°, 71°/159°
4905-5418	75°/165°, 77°/021°, 66°/344°
5418-6000	82°/122°, 77°/021°, 66°/344°
6000-6204	82°/128°, 30°/263°, 66°/348°, 49°/050°, 61°/069°
6204-8000	83°/165°, 74°/346°, 78°/352°, 80°/171°, 62°/205°
8000-8500	76°/018°, 78°/352°, 80°/171°, 62°/205°
8500-8800	39°/330°, 59°/252°, 42°/305°, 71°/155°, 43°/029°, 22°/154°, 63°/329°
8800-9500	76°/171°, 50°/134°, 66°/339°, 80°/011°
9500-10000	67°/172°, 71°/191°, 69°/316°, 71°/337°, 80°/007°
10000-10860	56°/175°, 54°/108°, 44°/295°



Σχήμα 57: Δίκτυα Schmidt των συστημάτων διακλάσεων, ανά χιλιομετρικές θέσεις στον Νότιο κλάδο της σήραγγας του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.

Πίνακας 10: Η στρώση του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου ανά περιοχές χιλιομετρικών θέσεων του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.

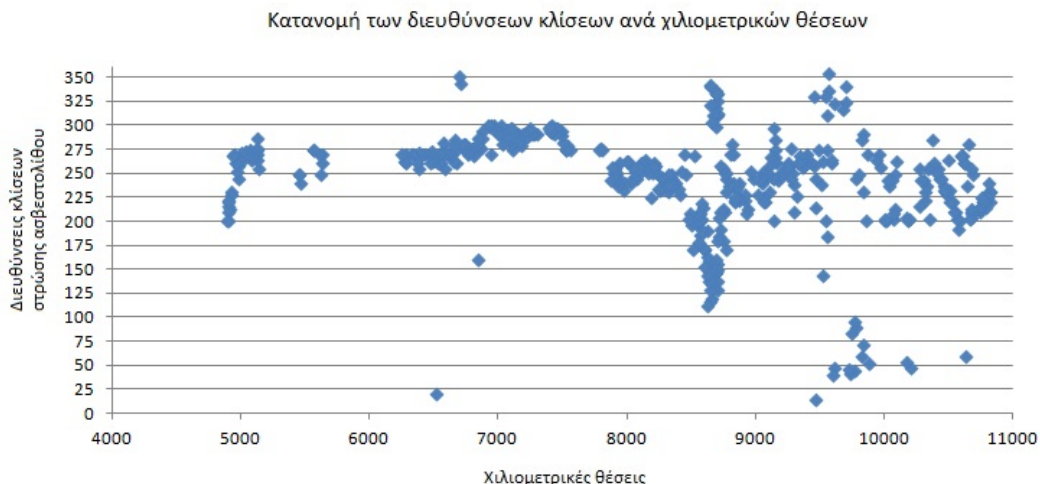
Χιλιομετρική Θέση	Στρώση του Ανακρυσταλλωμένου Ασβεστόλιθου (Διεύθυνση κλίσης/κλίση) με βάση τα στοιχεία κατασκευής	Στρώση του Ανακρυσταλλωμένου Ασβεστόλιθου (Διεύθυνση κλίσης/κλίση) με βάση την μελέτη
4888 - 6000	210°-262°/25°-32°	225°-270°/25°-30°
6200 - 8500	278°/23°	225°-270°/20°-25°
8500 - 8800	140°-327°/11°-39°	225°-270°/25°
8800 - 9500	246°/12°	225°-270°/25°
9500 - 10000	049°-323°/15°-29°	125°/30°
10000 - 10200	218°-253°/24°-29°	125°/30°
10200 - 10860	218°-253°/24°-29°	218°/18°

Πίνακας 11: Η σχιστότητα του φυλλίτη ανά περιοχές χιλιομετρικών θέσεων του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής και της μελέτης.

Χιλιομετρική Θέση	Σχιστότητα Φυλλίτη (Διεύθυνση κλίσης/κλίση) με βάση τα στοιχεία κατασκευής	Σχιστότητα του Φυλλίτη (Διεύθυνση κλίσης/κλίση) με βάση την μελέτη
4888 - 4925	207°-264°/30°-33°	180°/40°
4925-6194		--/--
8460 - 9500	197°-281°/51°-56°	--/--
9500 - 10690	008°-322°/30°-32°	--/--
10690-10860		325°/24°

Βόρειος κλάδος.

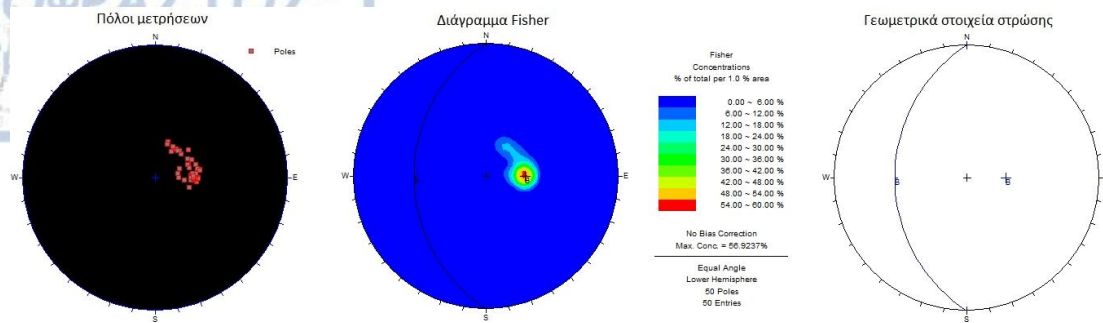
Για το Βόρειο κλάδο πραγματοποιήθηκαν 500 μετρήσεις για την εύρεση της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου, 221 μετρήσεις για την εύρεση της σχιστότητας στους φυλλίτες και 1582 μετρήσεις για την εύρεση των γεωμετρικών στοιχείων των διακλάσεων. Στο Βόρειο κλάδο πραγματοποιήθηκε η ίδια διαδικασία. Συγκεκριμένα, τοποθετήθηκαν οι μετρήσεις της γεωμετρίας της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου και της σχιστότητας του φυλλίτη σε φύλλο Excel με σκοπό την επεξεργασία τους και την εύρεση των αντιπροσωπευτικών τιμών της γεωμετρίας τους με την χρήση του προγράμματος Dips. Ο ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος στο διάγραμμα διευθύνσεων κλίσεων με τις χιλιομετρικές θέσεις παρουσιάζει παρόμοια περίπου κατανομή με την κατανομή του στην δίδυμη σήραγγα. Η κατανομή φαίνεται στο Σχήμα 58.



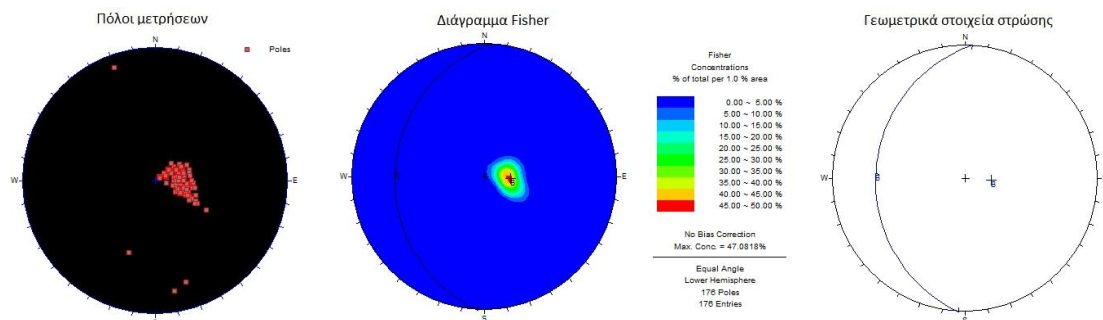
Σχήμα 58: Κατανομή διευθύνσεων κλίσεων της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με τις χιλιομετρικές θέσεις, του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.

Με την ίδια λογική που αναφέρθηκε προηγουμένως, πραγματοποιήθηκε ομαδοποίηση των μετρήσεων της στρώσης και επεξεργασία τους στο πρόγραμμα Dips. Από την χιλιομετρική θέση 4888 έως την χιλιομετρική θέση 6000, όπου εντοπίζεται ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος και υπάρχουν μετρήσεις, η διεύθυνση κλίσης παίρνει τιμές με εύρος από 200 έως 300. Μετά από την τοποθέτηση των πόλων και την εύρεση των πυκνοτήτων, η τιμή της γεωμετρίας της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου που προέκυψε είναι $270^{\circ}/33^{\circ}$ (Σχήμα 59). Στις χιλιομετρικές από 6200 έως 8440 οι διευθύνσεις κλίσης στο μεγαλύτερο μέρος τους συσσωρεύονται σε μικρότερο εύρος τιμών. Από την επεξεργασία των μετρήσεων η στρώση του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου που προέκυψε είναι $273^{\circ}/22^{\circ}$ (Σχήμα 60).

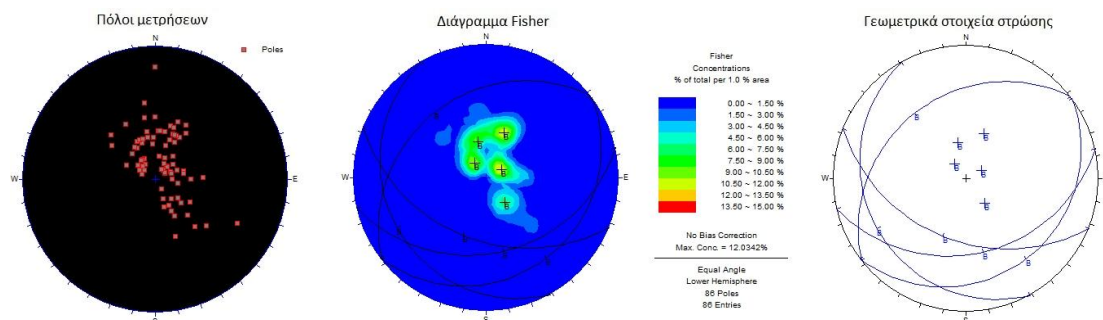
Από την χιλιομετρική θέση 8440 έως την χιλιομετρική θέση 8850 πραγματοποιείται απότομη διεύρυνση του εύρους τιμών των διευθύνσεων κλίσεων κάτι που οφείλεται και στην τεκτονική καταπόνηση και πτύχωση του υλικού σε αυτές τις χιλιομετρικές θέσεις. Η στρώση παίρνει τιμές $143^{\circ}-322^{\circ}/15^{\circ}-40^{\circ}$ (Σχήμα 61). Στις θέσεις από 8850 έως 9450 η πυκνότητα των μετρήσεων συσσωρεύεται στο ζεύγος τιμών διεύθυνσης κλίσης/ γωνίας κλίσης $251^{\circ}/11^{\circ}$ (Σχήμα 62), με φανερή μείωση του εύρους τιμών της διεύθυνσης κλίσης. Στις χιλιομετρικές θέσεις 9450 έως 9800 οι μετρήσεις των διευθύνσεων κλίσεων είναι διευρυμένες και προκύπτει η γεωμετρία $040^{\circ}-268^{\circ}/22^{\circ}-41^{\circ}$ (Σχήμα 63). Στις χιλιομετρικές θέσεις 9800 έως 10860 οι μετρήσεις της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου συσσωρεύονται στη διεύθυνση κλίσης/ γωνία κλίσης $221^{\circ}/26^{\circ}$ (Σχήμα 64). Η στρώση του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου συνοψίζονται στον Πίνακα 12 και στο Σχήμα 65.



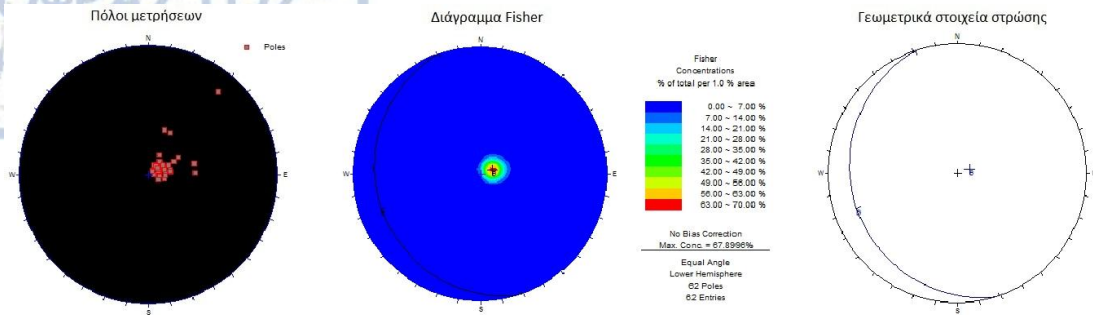
Σχήμα 59: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης 270/33 για τις χιλιομετρικές θέσεις 4888 έως 6000 του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.



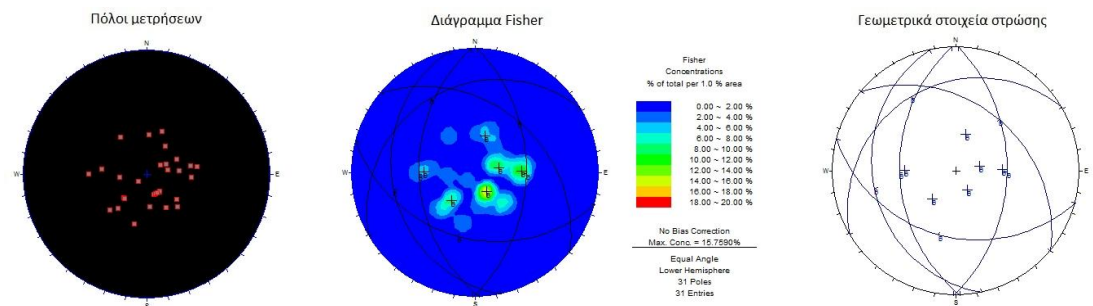
Σχήμα 60: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης 273/22 για τις χιλιομετρικές θέσεις 6200 έως 8440 του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.



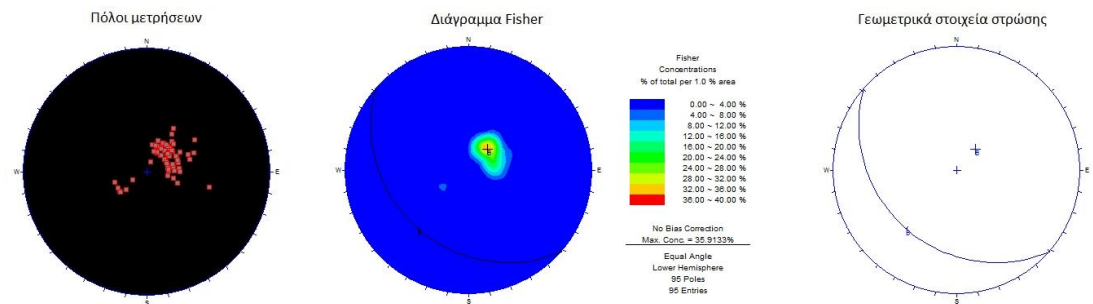
Σχήμα 61: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης 143-322/15-40 (202/40, 143/26, 241/15, 322/26, 167/31) για τις χιλιομετρικές θέσεις 8440 έως 8850 του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.



Σχήμα 62: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης 251/11 για τις χιλιομετρικές θέσεις 8850 έως 9450 του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.



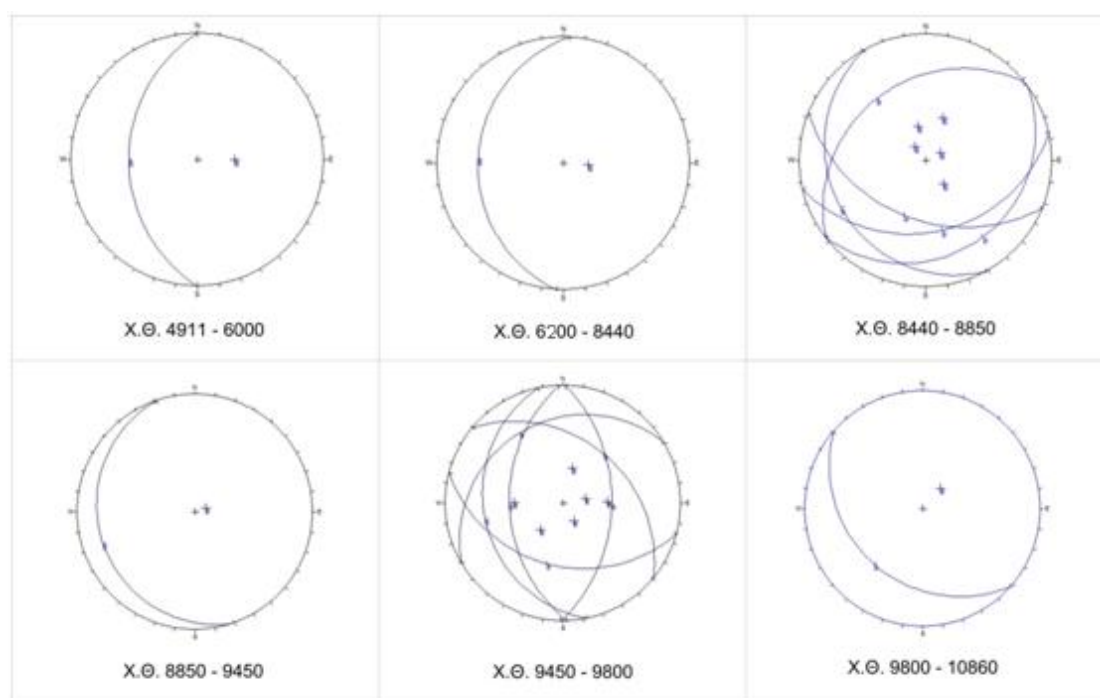
Σχήμα 63: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης 040-268/22-45 (258/22, 268/41, 229/20, 040/33, 91/45 και 195/34) για τις χιλιομετρικές θέσεις 9450 έως 9800 του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.



Σχήμα 64: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης 221/26 για τις χιλιομετρικές θέσεις 9800 έως 10860 του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.

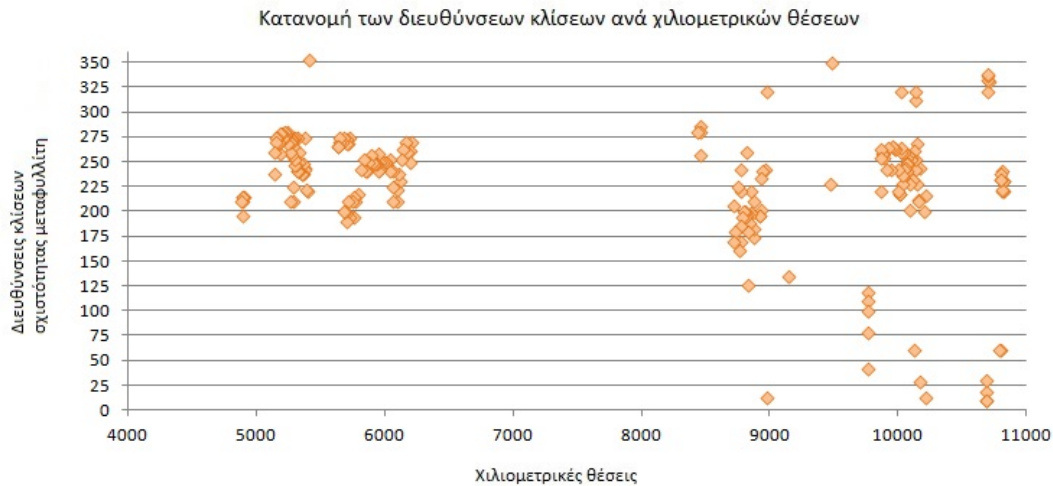
Πίνακας 12: Η στρώση του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου ανά περιοχές χιλιομετρικών θέσεων του Βόρειου κλάδου της Τ2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.

Χιλιομετρική Θέση	Στρώση του Ανακρυσταλλωμένου Ασβεστολίθου (Διεύθυνση κλίσης/κλίση)
4888 - 6000	270°/33°
6200 - 8440	273°/22°
8440 - 8850	143°-322°/15°-40°
8850 - 9450	251°/11°
9450 - 9800	040°-268°/22°-41°
9800 - 10860	221°/26°



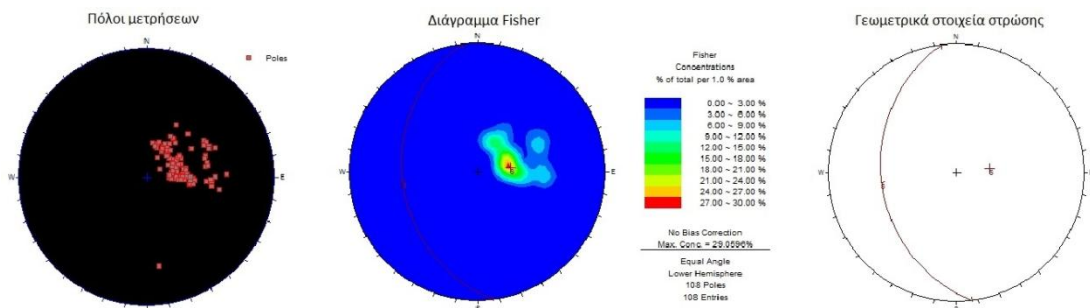
Σχήμα 65: Δίκτυα Schmidt της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου, ανά χιλιομετρικές θέσεις στον Βόρειο κλάδο της σήραγγας Τ2 σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.

Στην σήραγγα με κατεύθυνση προς τα Νότια, οι μετρήσεις της γεωμετρίας του φυλλίτη, επίσης, υποβλήθηκαν σε ανάλογη επεξεργασία. Κατασκευάστηκε διάγραμμα της κατανομής της διεύθυνσης κλίσης με τις χιλιομετρικές θέσεις (Σχήμα 66). Η μελέτη των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε σε τρία διακριτά τμήματα. Το πρώτο είναι από τη χιλιομετρική θέση 4888 έως τη χιλιομετρική θέση 6221, το δεύτερο εντοπίζεται από τη χιλιομετρική θέση 8450 έως 9300 και το τρίτο από τη χιλιομετρική θέση 9300 έως τη χιλιομετρική θέση 10860.

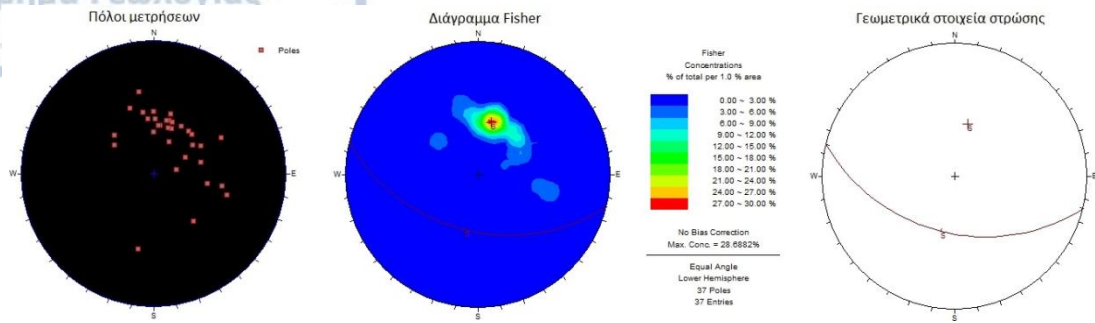


Σχήμα 66: Κατανομή διευθύνσεων κλίσεων της σχιστότητας του φυλλίτη για τις χιλιομετρικές θέσεις του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.

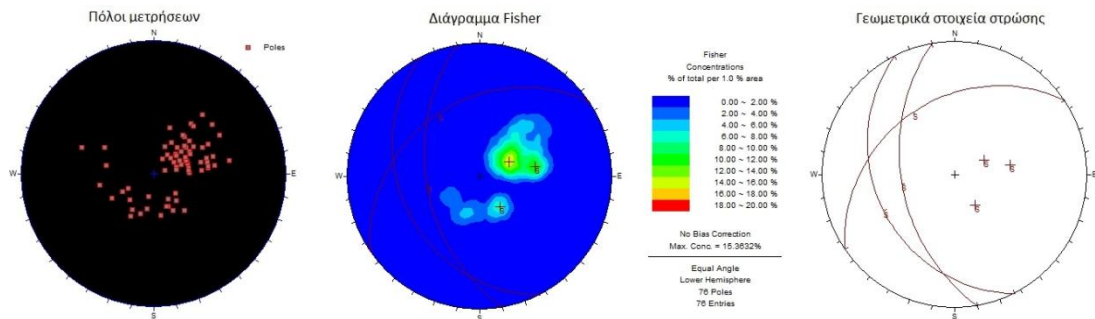
Από την χιλιομετρική θέση 4888 έως 6500 το εύρος των τιμών των διευθύνσεων κλίσεων είναι περιορισμένο, κατά την πλειοψηφία του, μεταξύ των τιμών 180 και 285. Από την επεξεργασία των μετρήσεων στο πρόγραμμα Dips προκύπτει ότι σε αυτό το τμήμα η διεύθυνση κλίσης/γωνίας κλίσης της γεωμετρίας του φυλλίτη είναι $263/29^\circ$ (Σχήμα 67). Από τη χιλιομετρική θέση 8450 έως τη χιλιομετρική θέση 9300 ο φυλλίτης παρουσιάζει γεωμετρία $194/57^\circ$ (Σχήμα 68). Από τη χιλιομετρική θέση 9300 έως τη χιλιομετρική θέση 10860 οι διευθύνσεις κλίσεις είναι αρκετά διευρυμένες όπως και στο προηγούμενο τμήμα χιλιομετρικών θέσεων. Η γεωμετρία που προκύπτει είναι $242-326/8-36^\circ$ (Σχήμα 69). Η γεωμετρία της σχιστότητας του φυλλίτη συνοψίζεται στον Πίνακα 13 και στο Σχήμα 70. Στον Πίνακα 15 και στον Πίνακα 16 παρουσιάζονται οι στρώση του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου και η σχιστότητα του φυλλίτη ανά χιλιομετρικές θέσεις τόσο από τα στοιχεία της κατασκευής, όσο και από αυτά της μελέτης.



Σχήμα 67: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της σχιστότητας του φυλλίτη με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης $263/29^\circ$ για τις χιλιομετρικές θέσεις 4888 έως 6221 του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.



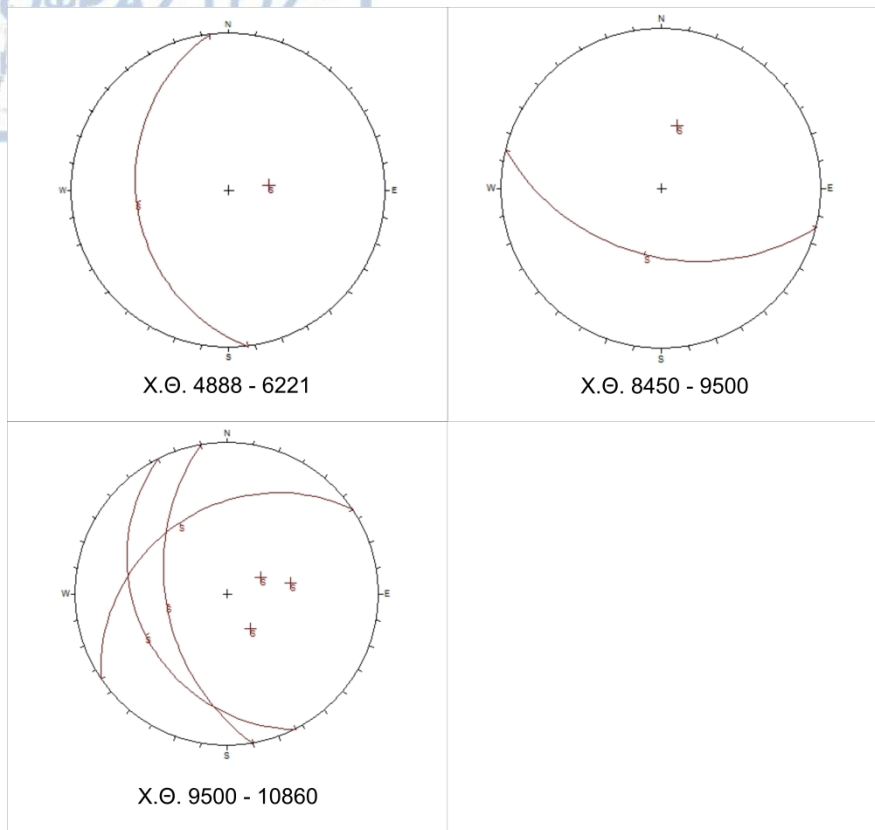
Σχήμα 68: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της σχιστότητας του φυλλίτη με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης 194/57 για τις χιλιομετρικές θέσεις 8450 έως 9300 του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.



Σχήμα 69: Διάγραμμα πόλων, πυκνοτήτων και Schmidt για τις μετρήσεις της σχιστότητας του φυλλίτη με διεύθυνση κλίσης/γωνία κλίσης 242-326/8-36 (326/31, 242/28, 260/36) για τις χιλιομετρικές θέσεις 9300 έως 10860 του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.

Πίνακας 13: Η σχιστότητα του φυλλίτη ανά περιοχές χιλιομετρικών θέσεων του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας.

Χιλιομετρική Θέση	Σχιστότητα Φυλλίτη (Διεύθυνση κλίσης/κλίση)
4888 - 6221	263°/29°
8000 - 9500	194°/57°
9500 - 10860	242°-326°/8°-36°



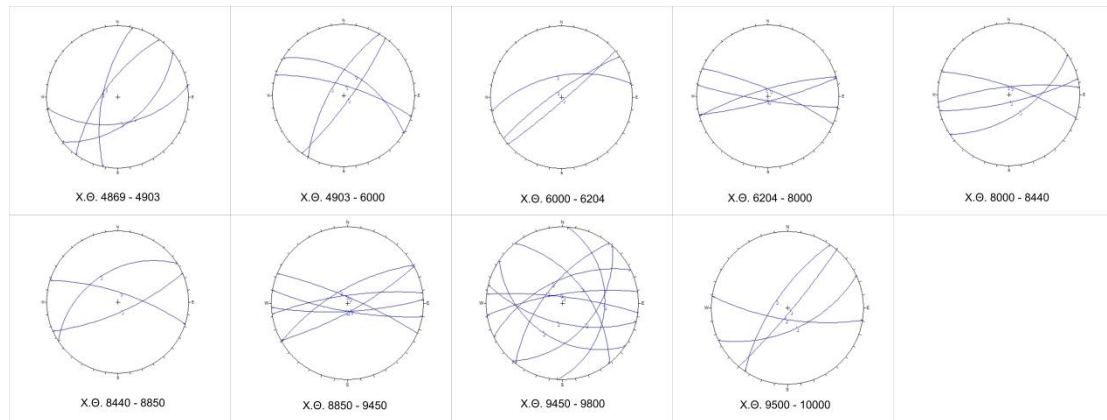
Σχήμα 70: Δίκτυα Schmidt της γεωμετρίας του φυλλίτη, ανά χιλιομετρικές θέσεις στον Βόρειο κλάδο της σήραγγας του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.

Πίνακας 14: Συστήματα διακλάσεων ανά περιοχές χιλιομετρικών θέσεων του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας.

Χιλιομετρική Θέση	Συστήματα Διακλάσεων (Διεύθυνση κλίσης/κλίση)
4888-4903	49°/141°, 49°/171°, 66°/282°, 67°/306°
4903-6000	80°/126°, 54°/032°, 68°/300°, 74°/017°, 54°/032°
6000-6204	79°/325°, 85°/139°, 56°/349°
6204-8000	82°/165°, 83°/189°, 78°/344°, 79°/023°
8000-8440	77°/354°, 78°/167°, 58°/146°, 77°/019°
8440-8850	43°/327°, 74°/018°, 74°/156°
8850-9450	78°/177°, 78°/190°, 78°/151°, 69°/330°, 78°/352°, 81°/023°
9450-9800	32°/094°, 41°/214°, 61°/194°, 45°/131°, 57°/334°, 76°/351°, 80°/007°, 54°/052°, 63°/308°
9800-10860	58°/155°, 70°/304°, 73°/189°, 84°/130°

Εκτός της γεωμετρίας των σχηματισμών, πραγματοποιήθηκε και τμηματική μελέτη των γεωμετρικών στοιχείων των διακλάσεων που καταγράφηκαν από την ανάδοχο. Τα τμήματα χωρίστηκαν με βάση την διαφοροποίηση των γεωμετρικών στοιχείων της γεωμετρίας του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου και του φυλλίτη και την σειρά που συναντούσε τους

σχηματισμούς η σήραγγα. Τα κυρίαρχα συστήματα διακλάσεων παρουσιάζονται στον πίνακα 14 και στο 71.



Σχήμα 71: Δίκτυα Schmidt των συστημάτων διακλάσεων, ανά χιλιομετρικές θέσεις στον Βόρειο κλάδο της σήραγγας T2 σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής.

Πίνακας 15: Η στρώση του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου ανά περιοχές χιλιομετρικών θέσεων του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής και της μελέτης.

Χιλιομετρική Θέση	Στρώση του Ανακρυσταλλωμένου Ασβεστολίθου (Διεύθυνση κλίσης/κλίση) με βάση τα στοιχεία κατασκευής	Στρώση του Ανακρυσταλλωμένου Ασβεστολίθου (Διεύθυνση κλίσης/κλίση) με βάση την μελέτη
4888 - 6000	270°/33°	225°-270°/25°-30°
6200 - 8440	273°/22°	225°-270°/20°-25°
8440 - 8850	143°-322°/15°-40°	225°-270°/25°
8850 - 9450	251°/11°	225°-270°/25°
9450 - 9800	040°-268°/22°-41°	125°/30°
9800 - 10200	221°/26°	125°/30°
10200 - 10860	221°/26°	218°/18°

Πίνακας 16: Η στρώση του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου ανά περιοχές χιλιομετρικών θέσεων του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής και της μελέτης.

Χιλιομετρική Θέση	Σχιστότητα Φυλλίτη (Διεύθυνση κλίσης/κλίση) με βάση τα στοιχεία κατασκευής	Σχιστότητα του Φυλλίτη (Διεύθυνση κλίσης/κλίση) με βάση την μελέτη
4888 - 4925	263°/29°	180°/40°
4925-6221		--/--
8000 - 9500	194°/57°	--/--
9500 - 10690	242°-326°/8°-36°	--/--
10690-10860		325°/24°

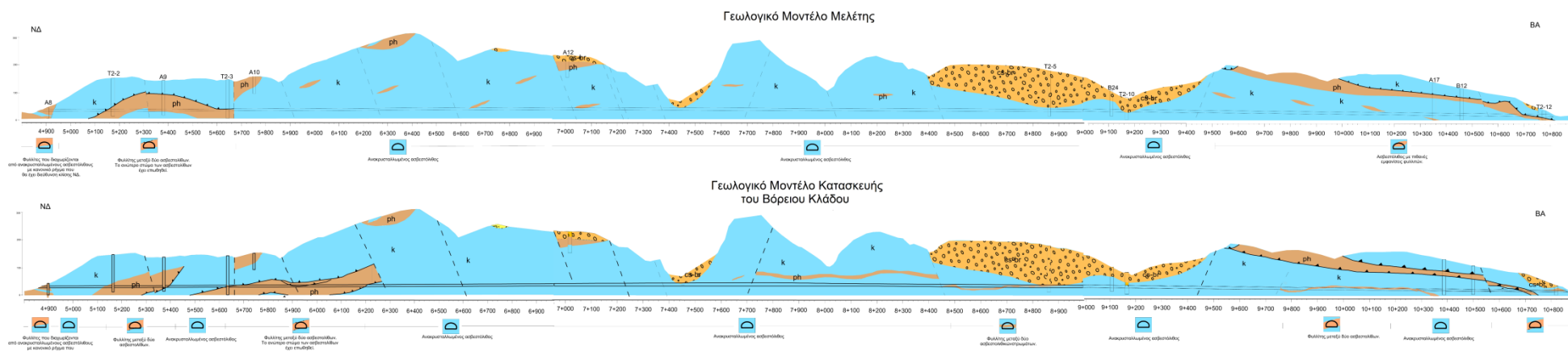
3.4 Σύγκριση των μοντέλων.

Το γεωλογικό μοντέλο που κατασκευάστηκε κατά την διάρκεια της μελέτης έχει αρκετές ομοιότητες με το μοντέλο που προέκυψε και με την χρήση των δεδομένων της χαρτογράφησης των μετώπων. Στις πρώτες χιλιομετρικές θέσεις από 4888 έως 5125 το μοντέλο της μελέτης και το μοντέλο των δύο σηράγγων που προέκυψαν από τα στοιχεία κατασκευής είναι ίδια. Διαφοροποίηση επικρατεί στο κομμάτι από τη Χ.Θ. 5125 έως τη Χ.Θ. 6270 όπου στην γεωλογικές τομές των σηράγγων επικρατεί φυλλίτης ανάμεσα σε ανακρυσταλλωμένους ασβεστολίθους ενώ στην μελέτη αναμένονταν έως τη Χ.Θ. 5670. Από τη Χ.Θ. 5670 έως τη Χ.Θ. 7720 στην μελέτη όπως και στις γεωλογικές τομές που προέκυψαν από την επεξεργασία των στοιχείων των σηράγγων, είναι παρόμοια η γεωλογία με την επικράτηση του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου.

Μεγάλη διαφοροποίηση παρατηρείται μετά τη Χ.Θ. 7720 όπου στο γεωλογικό μοντέλο της μελέτης αναμένονταν ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος με κατά τόπους φακούς φυλλίτη και ένα στρώμα του τελευταίου στις χιλιομετρικές θέσεις 10690 έως 10750 μέτρα. Αντίθετα στα μοντέλα που προέκυψαν μετά την επεξεργασία υπάρχει ένα στρώμα φυλλίτη, είτε άνω της σήραγγας είτε εντός αυτής το οποίο είναι συνεχές και λεπτό. Το μοντέλο της μελέτης θεωρεί ότι μπορεί να εντοπίζονταν φυλλίτης σε αυτό το τμήμα αλλά όχι με την συνεχή μορφή του στρώματος. Το συμπέρασμα ότι ο φυλλίτης είναι σε στρώμα ενισχύθηκε από το γεγονός ότι είτε φαινόταν καθαρά αυτή η δομή μέσα στην σήραγγα είτε επειδή η σήραγγα διαπερνούσε διαδοχικά φυλλίτες και ανακρυσταλλωμένους ασβεστολίθους, όπου οι φυλλίτες παρουσίαζαν αντικλινική ή συγκλινική δομή. Αυτή η διαφοροποίηση τελικά ήταν σημαντική καθώς η συμπεριφορά του φυλλίτη στην σήραγγα είναι διαφορετική από αυτή του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου και απαιτεί πιο βαριά μέτρα

υποστήριξης. Αυτό οφείλεται στο ότι ο φυλλίτης έχει πιο πτωχά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τον ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται και η συμπεριφορά της βραχομάζας κατά την διάνοιξη της σήραγγας όπως θα αναφερθεί και στο 6^ο Κεφάλαιο.

Υπάρχουν διαφορές στο γεωλογικό μοντέλο που προέκυψε από την μελέτη, με αυτό που προέκυψε και από τα δεδομένα της κατασκευής. Στο μοντέλο της μελέτης από την έναρξη της σήραγγας έως τη χιλιομετρική θέση 9510m ο ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος έχει διεύθυνση κλίσης Δυτική και Νοτιοδυτική. Στο υπόλοιπο τμήμα της σήραγγας έχει διεύθυνση κλίσης προς τα Νοτιοανατολικά. Στις δύο σήραγγες η διεύθυνση κλίσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου κλίνει προς τα Δυτικά-Νοτιοδυτικά σε όλο το τμήμα της. Εξαίρεση αποτελούν οι χιλιομετρικές θέσεις 8500 έως 8800 στο Νότιο κλάδο και οι χιλιομετρικές θέσεις 8440 έως 8850 και 9450 έως 9800 στο Βόρειο κλάδο που λόγω τεκτονικής καταπόνησης και πτύχωσης παρουσιάζουν μεγάλα εύρη διεύθυνσης κλίσης. Ως προς την γεωμετρία του φυλλίτη στο τμήμα 4869 έως 4552m του μοντέλου της μελέτης ο φυλλίτης έχει διεύθυνση κλίσης προς τα Νότια, ενώ στο αντίστοιχο τμήμα των μοντέλων με την χρήση των στοιχείων κατασκευής έχει διεύθυνση κλίσης Δυτικά-Νοτιοδυτικά. Στο Σχήμα 72 και στο Σχήμα 73 παρατίθενται το γεωλογικό μοντέλο της μελέτης με τα αντίστοιχα γεωλογικά μοντέλα σύμφωνα με τα στοιχεία κατασκευής του Βόρειου και του Νότιου κλάδου αντίστοιχα.



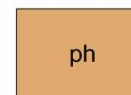
Σχήμα 72: Γεωλογικό μοντέλο της μελέτης της σήραγγας T2 (άνω) και το γεωλογικό μοντέλο του Βόρειου κλάδου της σήραγγας T2 σύμφωνα με τα στοιχεία κατασκευής (κάτω).

Υπόμνημα

Σχηματισμοί



Κώνιοι κορημάτων, cs-br: Σχηματισμός γωνιωδών ασβεστολιθικών θραυσμάτων, με αμμόδες υλικό και κατα θέσεις συγκολλημένο.



Φυλλίτες, ph: Ημιβραχώδης σχηματισμός μετα-φλυσικής ακολουθίας, αποτελούμενης από φυλλίτες και σχιστολίθους. Μέσα στον σχηματισμό παρατηρούνται και ολισθοστώματα ασβεστολιθικά.



Ασβεστόλιθος, k: Βραχώδης σχηματισμός μέσο έως λεπτο-στρωματώδης ασβεστόλιθος ανακρυσταλλωμένος. Κατα θέσεις παρατηρείται έντονη τεκτονική καταπόνηση και κρυστικοποίηση.

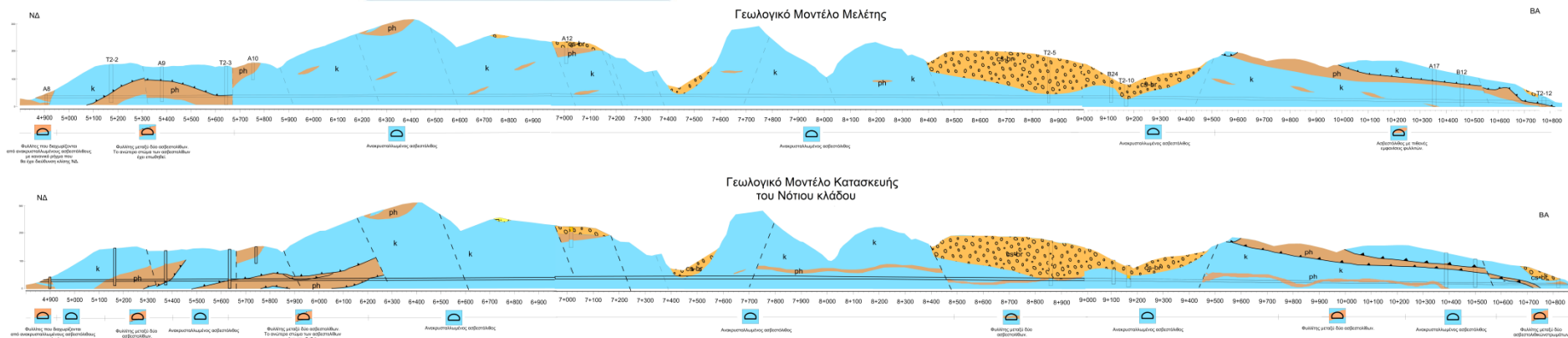
Τεκτονικά στοιχεία



Κανονικό ρήγμα.



Επώθηση (ανάστροφο ρήγμα)



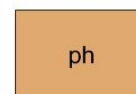
Σχήμα 73: Γεωλογικό μοντέλο της μελέτης της σήραγγας T2 (άνω) και το γεωλογικό μοντέλο του Νότιου κλάδου της σήραγγας T2 σύμφωνα με τα στοιχεία κατασκευής (κάτω).

Υπόμνημα

Σχηματισμοί



Κώνιοι κορημάτων, cs-br: Σχηματισμός γωνιωδών ασβεστολιθικών θραυσμάτων, με αμμώδες υλικό και κατά θέσεις συγκολλημένο.



Φυλλίτες, ph: Ημιβραχώδης σχηματισμός μετα-φλυσικής ακολουθίας, αποτελούμενης από φυλλίτες και σχιστολίθους. Μέσα στον σχηματισμό παρατηρούνται ολισθοστρώματα ασβεστολιθικά.



Ασβεστόλιθος, k: Βραχώδης σχηματισμός μέσο έως λεπτο-στρωματώδης ασβεστόλιθος ανακρυσταλλωμένος. Κατά θέσεις παρατηρείται έντονη τεκτονική καταπόνηση και κρυστικοποίηση.

Τεκτονικά στοιχεία



Κανονικό ρήγμα.



Επώθηση (ανάστροφο ρήγμα)

4^ο Κεφάλαιο: Τεχνική γεωλογία περιοχής

4.1 Τεχνικογεωλογικές ενότητες σύμφωνα με την μελέτη.

Η μελέτη του έργου χωρίζει τους σχηματισμούς σε τρεις γενικές κατηγορίες με βάση τις τεχνικογεωλογικές τους ιδιότητες. Στην πρώτη ανήκει ο ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος που παρουσιάζει καλές τεχνικογεωλογικές ιδιότητες. Στη δεύτερη ο φυλλίτης με δομή βράχου και χαμηλές τεχνικογεωλογικές ιδιότητες και στην τρίτη ο φυλλοποιημένος και κατακερματισμένος φυλλίτης (Giannatos et. all, 2008).

Εντός της μελέτης αναφέρεται η κατανομή αυτών των σχηματισμών καθώς και οι επιμέρους υποκατηγορίες που πιθανολογούνταν ότι θα συναντηθούν κατά μήκος της σήραγγας. Για τις διάφορες χιλιομετρικές θέσεις γίνεται η περιγραφή του υλικού και γίνεται εκτίμηση του RQD. Από τις τιμές του RQD και από τις περιγραφές εκτιμάται εδώ η ταξινόμηση GSI ώστε να είναι συγκρίσιμα τα στοιχεία με τις τεχνικογεωλογικές ενότητες που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της χαρτογράφησης των μετώπων από την ανάδοχο εταιρεία.

Από τη Χ.Θ. 4869 έως τη Χ.Θ. 4925 επικρατεί φυλλίτης, ο οποίος είναι αποσασθρωμένος και έχει εκτιμηθεί RQD από δειγματοληπτική γεώτρηση μικρότερο από 10%. Απ' αυτό εξάγεται το συμπέρασμα ότι πρόκειται για ένα φυλλοποιημένο σχηματισμό με GSI 10-20. Από τη Χ.Θ. 4925 έως τη Χ.Θ. 5670 αναμένεται ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος με χαμηλή αποσάθρωση αλλά με μεγάλο εύρος RQD με τιμές από 23-100%. Έτσι εκτιμάται ότι είναι τεμαχώδης έως πολύ τεμαχώδης με GSI 45-65. Σε αυτή την περιοχή ο φυλλίτης που εντοπίζεται ανάμεσα στους ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους παρουσιάζει πτωχά χαρακτηριστικά. Λόγω της ύπαρξης ασβεστοπικού υλικού μπορεί να έχει καλύτερα χαρακτηριστικά από τους φυλλίτες των χιλιομετρικών θέσεων 4869 με την χιλιομετρική θέση 4925. Σε γενικότερο πλαίσιο οι φυλλίτες όταν αναμένονται στην σήραγγα επηρεάζουν και τις υδατικές συνθήκες, αφού εμποδίζουν την κατείσδυση του νερού. Αντίθετα, στους ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους αναμένονται μόνο περιοδικά νερά.

Από τη Χ.Θ. 5670 έως Χ.Θ. 7400 αναμενόταν ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος. Οι γεωτρήσεις εμφανίζουν στην πλειοψηφία RQD 100%, κάτι που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι αναμενόταν άρρηκτος έως τεμαχώδης με GSI 70-80. Από τη Χ.Θ. 7400 έως τη Χ.Θ. 7627 αναμενόταν πιο φτωχής ποιότητας ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος, λόγω του μικρό πάχους των υπερκειμένων και εκτιμάται GSI 45-65. Από τη Χ.Θ. 7627 έως τη Χ.Θ. 8410

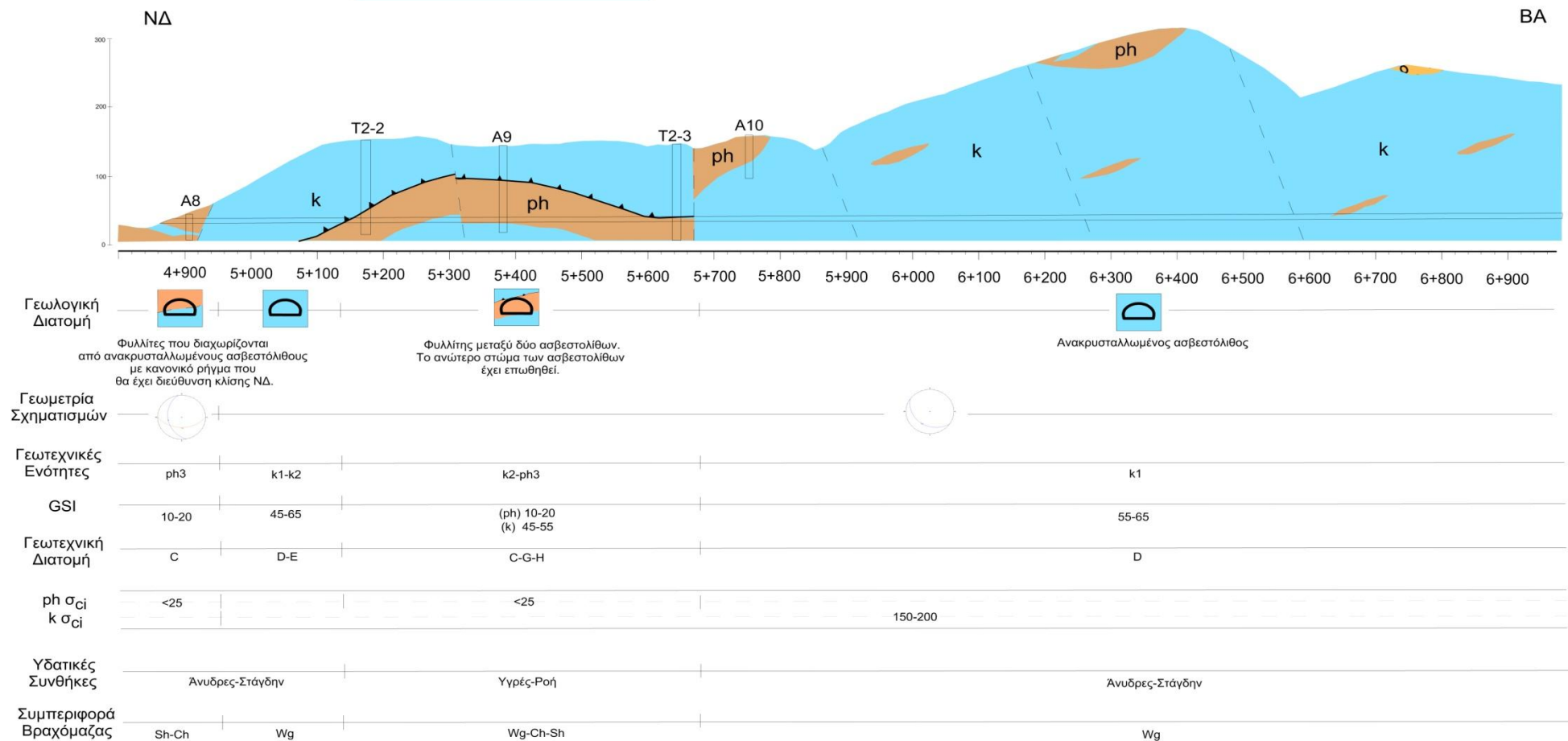
συνεχίζει να αναμένεται ο ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος με τα προηγούμενα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά.

Από τη Χ.Θ. 8410 έως τη Χ.Θ. 9510 αναμένεται ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος με καλή ποιότητα. Η τιμή του RQD σε αυτή την περιοχή είναι 85 και μόνο στο σημείο που είναι πάνω από την σήραγγα ο κώνος κορημάτων Talus, όπου έχει RQD 60%. Στην προκειμένη περίπτωση εκτιμάται η ταξινόμηση GSI 60-70. Από τη Χ.Θ. 9510 έως τη Χ.Θ. 10849 ο ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος που αναμένεται σύμφωνα με την μελέτη έχει RQD 85% και καλά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά με εκτιμώμενο GSI 60-70. Οι δε φυλλίτες αναμένονται φυλλοποιημένοι με εκτιμώμενο RQD 10-20.

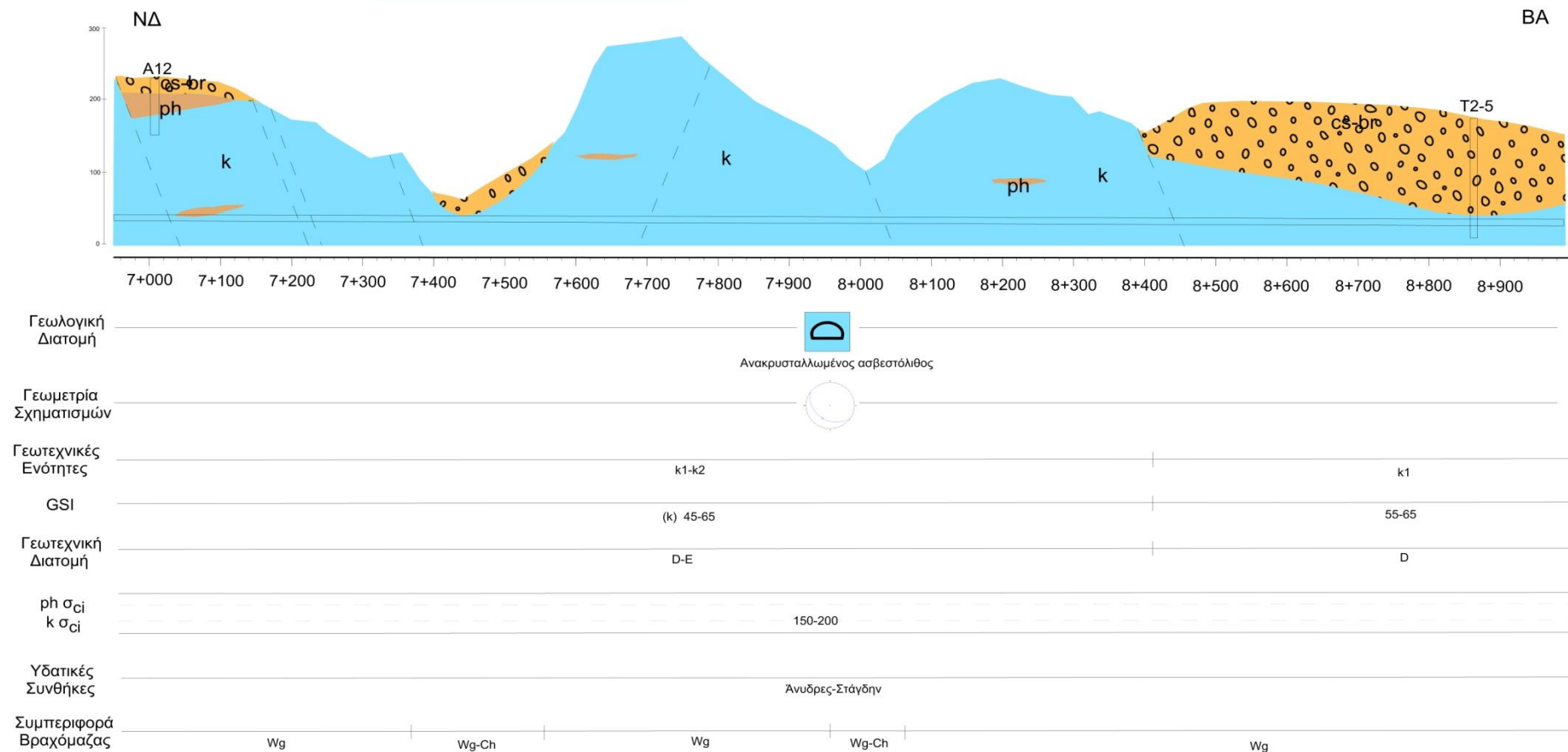
Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που προκύπτουν από τα στοιχεία της μελέτης (Πίνακας 17) είναι παρόμοιες με αυτές που προκύπτουν από τα στοιχεία της κατασκευής. Στο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν τα χαρακτηριστικά των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων με βάση τα στοιχεία της κατασκευής ως προς τη μονοαξονική θλιπτική αντοχή σ_{ci} και την αντοχή της βραχομάζας. Το τεχνικογεωλογικό μοντέλο που προκύπτει από τα στοιχεία της μελέτης παρουσιάζεται στο Σχήμα 74, στο Σχήμα 75 και στο Σχήμα 76.

Πίνακας 17: Τεχνικογεωλογικές ενότητες με βάση τα στοιχεία της μελέτης

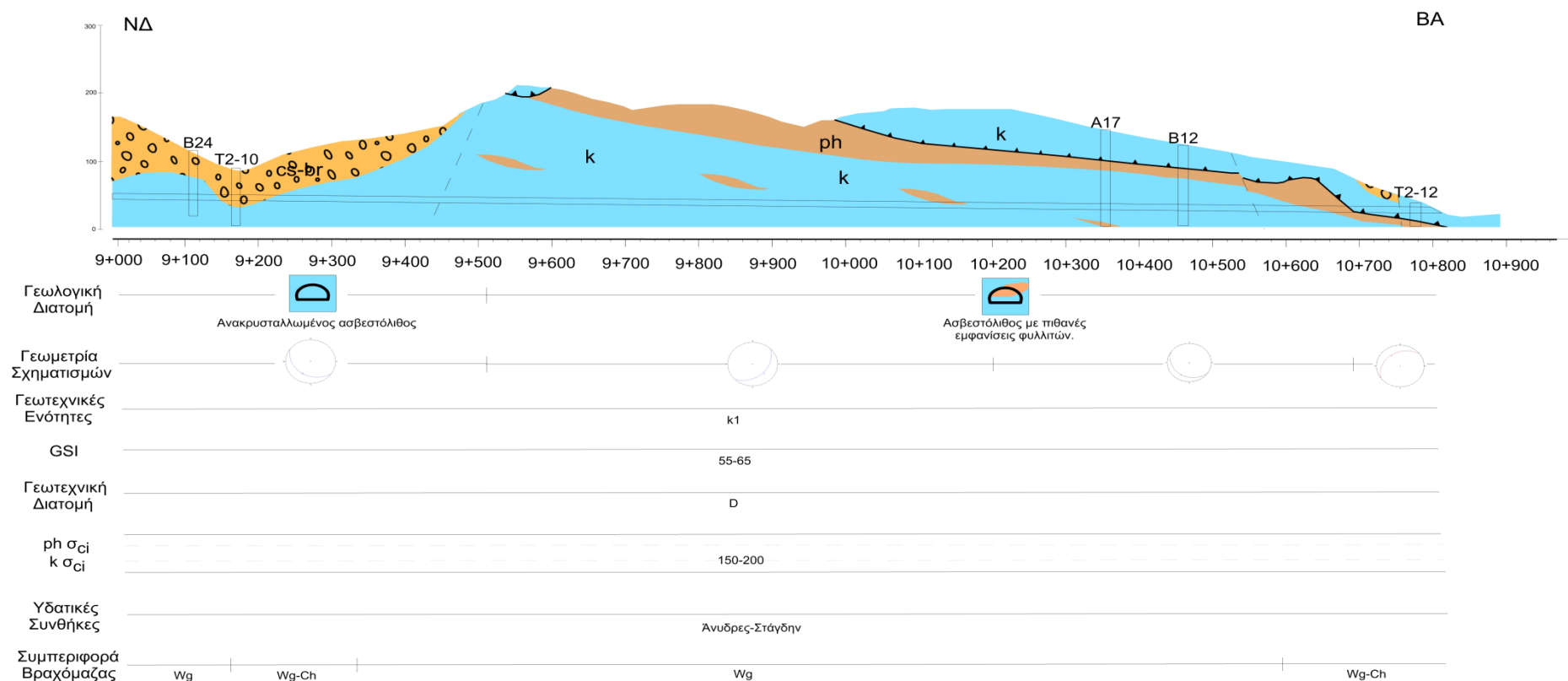
ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΝΟΤΗΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ		
Όνομα	Περιγραφή	GSI
ph3	Διατομή με φυλλίτη, με φυλλοποιημένη δομή. Παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης έως και εδαφοποίηση του υλικού.	10-20
k1	Διατομή με ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο. Δομή που κυμαίνεται από τεμαχώδης έως πολύ τεμαχώδης. Παρουσιάζει μικρό βαθμό αποσάθρωσης.	60-80
k2	Διατομή με ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο. Δομή που κυμαίνεται από πολύ τεμαχώδης έως στρωματώδης, πτυχωμένη. Παρουσιάζει μικρό έως μέτριο βαθμό αποσάθρωσης.	45-55



Σχήμα 74: Γεωλογική τομή της σήραγγας T2 με βάση την μελέτη από την Χ.Θ 4888 έως την Χ.Θ. 6960. Δίνονται πληροφορίες σχετικά με την γεωμετρία των σχηματισμών, τις τεχνικογεωλογικές ενότητες και διατομές, το GSI και σ_{ci} , τις υδατικές συνθήκες και την συμπεριφορά της βραχομάζας. Το GSI εκτιμήθηκε από την παρούσα μελέτη όπως και το σ_{ci} και η συμπεριφορά της βραχομάζας. Το υπόμνημα των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων παρουσιάζεται στο Σχήμα 93 και το υπόμνημα τεχνικογεωλογικών διατομών στο Σχήμα 94.



Σχήμα 75: Γεωλογική τομή της σήραγγας T2 με βάση την μελέτη από την Χ.Θ. 6960 έως την Χ.Θ. 9000. Δίνονται πληροφορίες σχετικά με την γεωμετρία των σχηματισμών, τις τεχνικογεωλογικές ενότητες και διατομές, το GSI και σ_{ci} , τις υδατικές συνθήκες και την συμπεριφορά της βραχομάζας. Το GSI εκτιμήθηκε από την παρούσα μελέτη όπως και το σ_{ci} και η συμπεριφορά της βραχομάζας. Το GSI εκτιμήθηκε από την παρούσα μελέτη όπως και το σ_{ci} και η συμπεριφορά της βραχομάζας. Το υπόμνημα τεχνικογεωλογικών ενοτήτων παρουσιάζεται στο Σχήμα 93 και το υπόμνημα τεχνικογεωλογικών διατομών στο Σχήμα 94.



Σχήμα 76: Γεωλογική τομή της σήραγγας T2 με βάση την μελέτη από την Χ.Θ 9000 έως την Χ.Θ. 10860. Δίνονται πληροφορίες σχετικά με την γεωμετρία των σχηματισμών, τις τεχνικογεωλογικές ενότητες και διατομές, το GSI και σ_{ci} , τις υδατικές συνθήκες και την συμπεριφορά της βραχομάζας. Το GSI εκτιμήθηκε από την παρούσα μελέτη όπως και το σ_{ci} και η συμπεριφορά της βραχομάζας. Το GSI εκτιμήθηκε από την παρούσα μελέτη όπως και το σ_{ci} και η συμπεριφορά της βραχομάζας. Το υπόμνημα τεχνικογεωλογικών ενότητων παρουσιάζεται στο Σχήμα 93 και το υπόμνημα τεχνικογεωλογικών διατομών στο Σχήμα 94.

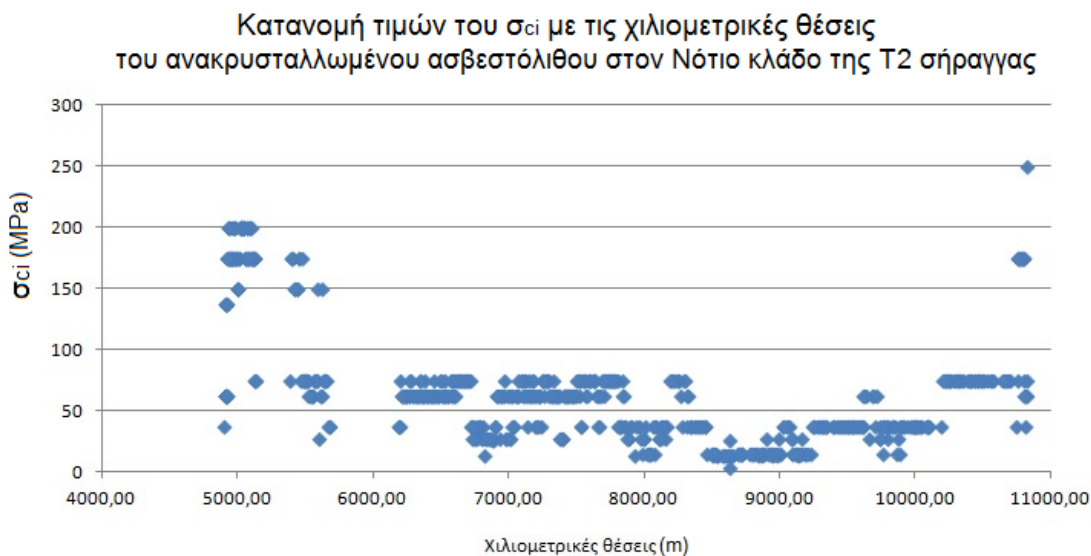
4.2 Τεχνικογεωλογικές ενότητες από την κατασκευή των σηράγγων (χαρτογράφηση των μετώπων).

Κατά την χαρτογράφηση των μετώπων πραγματοποιήθηκε εκτίμηση του GSI , του βαθμού αποσάθρωσης και της αντοχής του άρρηκτου βράχου σε μονοαξονική θλίψη σ_{ci} . Αρχικά θα γίνει επεξεργασία και κατανομή των δεδομένων των τιμών σ_{ci} που εκτιμήθηκαν επιτόπου από την ανάδοχο και έπειτα από την επεξεργασία και κατανομή των δεδομένων της ταξινόμησης GSI και του βαθμού αποσάθρωσης. Από την επεξεργασία αυτή προέκυψαν έξι τεχνικογεωλογικές ενότητες.

Τα δεδομένα, από τις εκτιμήσεις του αναδόχου, της αντοχής του άρρηκτου βράχου σε μονοαξονική θλίψη σ_{ci} ήταν σε μορφή εύρους, δηλαδή μέγιστο και ελάχιστο. Τα δεδομένα καταγράφηκαν σε φύλλο excel με την παραπάνω μορφή αλλά και με την καταχώρηση του μέσου όρου του εύρους. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά για τον ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο και τον φυλλίτη για την κάθε σήραγγα. Αυτές οι καταχωρήσεις χρησιμοποιήθηκαν στην εύρεση της κατανομής με τις χιλιομετρικές θέσεις.

Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη άρρηκτου βράχου του Νότιου κλάδου

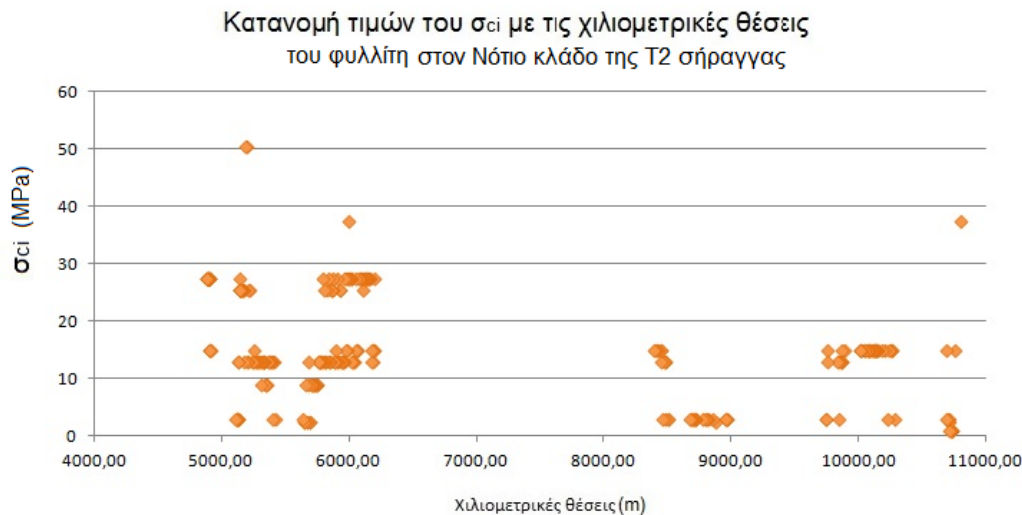
Η κατανομή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη, που εκτιμήθηκε από την ανάδοχο του έργου κατά την χαρτογράφηση των μετώπων, με τις χιλιομετρικές θέσεις μας επιτρέπει να ομαδοποιήσουμε τα στοιχεία σε πιο γενικές ομάδες. Από την κατανομή και τις τιμές που επικρατούσαν διαχωρίστηκε η σήραγγα σε 13 περιοχές με βάση το σ_{ci} του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου και 11 για τον φυλλίτη. Ο διαχωρισμός αυτός έγινε σε ζώνες και παρουσιάζεται στον Πίνακα 18 για τον ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο και στον Πίνακα 19 για τον φυλλίτη. Τα διαγράμματα των κατανομών παρουσιάζονται στο Σχήμα 77 και Σχήμα 78 αντίστοιχα.



Σχήμα 77: Κατανομή των τιμών σ_{ci} του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου, με τις χιλιομετρικές θέσεις του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας.

Πίνακας 18: Μέση τιμή της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής σε άρρηκτο βράχο και εύρος αυτής ανά τμήματα χιλιομετρικών θέσεων του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου στο Νότιο κλάδο της T2 σήραγγας.

Από τη Χ.Θ.	Έως τη Χ.Θ.	Μέση τιμή σ_{ci} (MPa)	Min–Max (MPa)
4905	4921	85	25--250
4922	5133	180	25--250
5391	5455	155	50--250
5467	5681	75	25--250
6188	6717	65	25--100
6718	6907	30	1--50
6907	7043	52	5--100
7044	7802	65	5--100
7803	8165	32	5--100
8197	8324	67	25--100
8339	8457	38	25--50
8464	9231	17	1--50
9240	10191	38	5--100
10209	10755	75	25--100
10757	10828	140	25--250



Σχήμα 78: Κατανομή των τιμών σ_{ci} του φυλλίτη, με τις χιλιομετρικές θέσεις στην σήραγγα στο Νότιο κλάδο της T2 σήραγγας με βάση τα στοιχεία κατασκευής.

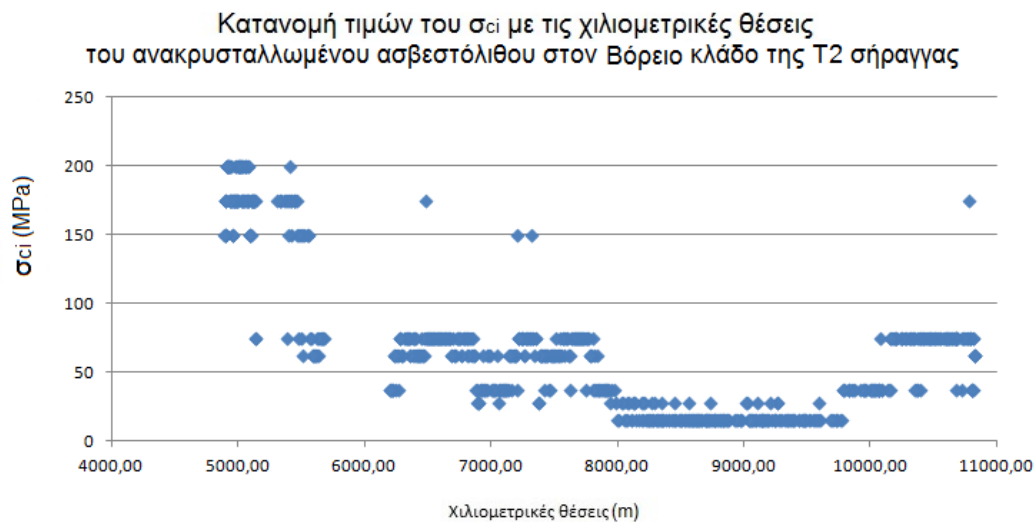
Πίνακας 19: Μέση τιμή της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής σε άρρηκτο βράχο και εύρος αυτής ανά τμήματα χιλιομετρικών θέσεων του φυλλίτη του Νότιου κλάδου της T2 σήραγγας με βάση τα στοιχεία κατασκευής.

Από τη Χ.Θ.	Έως τη Χ.Θ.	Μέση τιμή σ_{ci} (MPa)	Min–Max (MPa)
4885	4905	28	5--50
4906	4921	15	5--25
5109	5134	5	1--25
5137	5224	26	1--100
5228	5418	12	1--25
5640	5792	8	1--25
5797	6066	20	1--50
6076	6167	28	5--50
6171	6204	16	1--50
8498	8966	12	1--25
9744	9846	4	1--25
9848	10264	14	1--25
10265	10737	3	1--25
10738	10805	26	5--50

Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη άρρηκτου βράχου του Βόρειου κλάδου

Για τις τιμές της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής πραγματοποιήθηκε παρόμοια διαδικασία και στην σήραγγα στον Βόρειο κλάδο. Η σήραγγα με βάση την μονοαξονική θλιπτική αντοχή του άρρηκτου ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου χωρίστηκε σε 11 τμήματα και με βάση την μονοαξονική θλιπτική αντοχή του άρρηκτου φυλλίτη σε 8 τμήματα. Οι κατανομές παρουσιάζονται στο Σχήμα 79 και τον

Πίνακα 20 για τον ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο και στο Σχήμα 80 και τον πίνακα 21 για τον φυλλίτη.

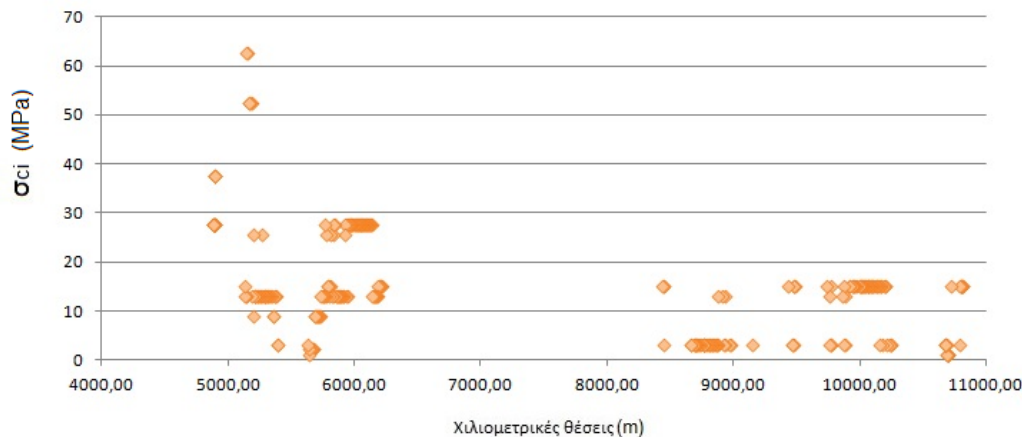


Σχήμα 79: Κατανομή των τιμών σ_{ci} του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου, με τις χιλιομετρικές θέσεις στο Βόρειο κλάδο της T2 σήραγγας με βάση τα στοιχεία κατασκευής.

Πίνακας 20: Μέση τιμή της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής σε άρρηκτο βράχο και εύρος αυτής ανά τμήματα χιλιομετρικών θέσεων του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου στο Βόρειο κλάδο της T2 σήραγγας με βάση τα στοιχεία κατασκευής.

Από τη Χ.Θ.	Έως τη Χ.Θ.	Μέση τιμή σ_{ci} (MPa)	Min–Max (MPa)
4895	5144	178	50--250
5370	5562	154	25--250
5571	5681	70	25--100
6200	6265	46	25--100
6272	6873	72	25--250
6880	7135	40	5--100
7141	7835	70	5--250
7843	7989	36	5--50
8001	8295	20	5--50
8308	9775	16	5--50
9780	10155	38	25--50
10156	10826	71	25-250

Κατανομή τιμών του σ_{ci} με τις χιλιομετρικές θέσεις
του φυλλίτη στον Βόρειο κλάδο της T2 σήραγγας



Σχήμα 80: Κατανομή των τιμών σ_{ci} του φυλλίτη, με τις χιλιομετρικές θέσεις στο Βόρειο κλάδο της T2 σήραγγας με βάση τα στοιχεία κατασκευής.

Πίνακας 21: Μέση τιμή της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής σε άρρηκτο βράχο και εύρος αυτής ανά τμήματα χιλιομετρικών θέσεων του φυλλίτη στο Βόρειο κλάδο της T2 σήραγγας.

Από τη Χ.Θ.	Έως τη Χ.Θ.	Μέση τιμή σ_{ci} (MPa)	Min–Max (MPa)
4886	4902	30	5--50
5133	5395	19	1--100
5636	5945	13	1--50
5951	6144	27	1--50
6153	6221	14	1--25
8442	8454	12	1--25
8647	8873	3	1--5
8875	8981	7	1--25
9436	9494	9	1--25
9743	10206	13	1--25
10209	10246	3	1--5
10680	10706	2	1--5
10707	10817	14	1--25

Τεχνικογεωλογικές Ενότητες

Με βάση τα στοιχεία του GSI και του βαθμού αποσάθρωσης που προέκυψαν από την χαρτογράφηση των μετώπων από την ανάδοχο, χωρίστηκαν οι σχηματισμοί σε επτά διακριτές τεχνικογεωλογικές ενότητες από τις οποίες εντοπίστηκαν τρεις τεχνικογεωλογικές ενότητες φυλλίτη και τέσσερις τεχνικογεωλογικές ενότητες ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου. Στην κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα αναφέρονται ενδεικτικές τιμές της μονοαξονικής

αντοχής του άρρηκτου βράχου σ_{ci} και της σταθεράς m_i του άρρηκτου βράχου που καταχωρήθηκε με βάση την βιβλιογραφία. Επίσης για ενδεικτικά βάθη στα οποία διαπερνά η σήραγγα τους αντίστοιχους σχηματισμούς υπολογίστηκε η συνοχή της ενότητας c και η γωνία τριβής ϕ , με την χρήση του προγράμματος RockLab. Τα αποτελέσματα του RockLab συνοψίζονται στο παράρτημα. Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες συνοψίζονται στον Πίνακα 22. Οι τιμές της αξιολόγησης GSI παρουσιάζονται στο Σχήμα 81 για τις επιμέρους τεχνικογεωλογικές ενότητες του φυλλίτη, ενώ οι αντίστοιχες τιμές για τον ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο στο Σχήμα 82.

Πιο συγκεκριμένα οι τεχνικογεωλογικές ενότητες του φυλλίτη είναι οι εξής:

- Φυλλίτης, με κωδικό όνομα rh1 (Σχήμα 83). Παρουσιάζει στρωματώδη, πτυχωμένη δομή και μέτριο βαθμό αποσάθρωσης. Η εκτίμηση της ταξινόμησης GSI βρίσκεται μεταξύ των τιμών 35 έως 45. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή σε άρρηκτο βράχο αξιολογήθηκε στα μέτωπα από την ανάδοχο 1 έως 25MPa. Η συγκεκριμένη ενότητα σε πάχος υπερκείμενων 100 μέτρων παρουσιάζει συνοχή c ίση με 0,232MPa και γωνία τριβής ϕ ίση με 31° , σε πάχος υπερκείμενων 250 μέτρων παρουσιάζει συνοχή c ίση με 0,399MPa και γωνία τριβής ϕ ίση με 24° .
- Φυλλίτης, με κωδικό όνομα rh2. Παρουσιάζει στρωματώδη, πτυχωμένη δομή και μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης. Η εκτίμηση της ταξινόμησης GSI είναι μεταξύ των τιμών 20 έως 30. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή σε άρρηκτο βράχο αξιολογήθηκε στα μέτωπα από την ανάδοχο, 1 έως 25MPa. Η συγκεκριμένη ενότητα σε πάχος υπερκείμενων 100 μέτρων παρουσιάζει συνοχή c ίση με 0,165MPa και γωνία τριβής ϕ ίση 2° . Στο πάχος υπερκείμενων 150 μέτρων παρουσιάζει συνοχή c ίση με 0,211MPa και γωνία τριβής ϕ ίση με 23° .
- Φυλλίτης, με κωδικό όνομα rh3 (Σχήμα 84). Παρουσιάζει φυλλοποιημένη δομή και μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης έως το σημείο της εδαφοποίησης του υλικού. Η εκτίμηση της ταξινόμησης GSI είναι μεταξύ των τιμών 10 έως 20. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή σε άρρηκτο βράχο αξιολογείται στα μέτωπα από την ανάδοχο, μικρότερη από 5MPa. Η συγκεκριμένη ενότητα σε πάχος υπερκείμενων 25 μέτρων παρουσιάζει συνοχή c ίση με 0,021MPa και γωνία τριβής ϕ ίση με 16° . Σε πάχος υπερκείμενων 150 μέτρων παρουσιάζει συνοχή c ίση με 0,061MPa και γωνία τριβής ϕ ίση με 9° .

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) (Ε. Hoek, Π. Μαρίνος, 2000)		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ				
Βασίζομενοι στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχειών της βραχόμαζας εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI από τις καμπύλες. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 έως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι το GSI = 35. Ο καθορισμός της δομής καθώς και της ποιότητας των ασυνεχειών μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ δύο γειτονικών πεδίων. Τονίζεται ιδιαίτερα ότι το κριτήριο Hoek - Brown δεν εφαρμόζεται σε αστάθειες που ελέγχονται από συγκεκριμένες ασυνέχειες όταν οι ασθενείς επίπεδες επιφάνειες (όπως διατμημένα επίπεδα στρώσης) έχουν δυσμενή προσανατολισμό σε σχέση με την εκσκαφή. Τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχόμαζας. Η αντοχή ορισμένων βραχομαζών μειώνεται από την παρουσία του υπόγειου νερού και αυτό μπορεί να ληφθεί υπόψη με μικρή μετακίνηση προς τα δεξιά στις στήλες της μέτρησης, πτωχής και πολύ πτωχής κατάστασης ασυνεχειών. Η πίεση του νερού δεν μεταβάλλει την τιμή του GSI και λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων στους υπολογισμούς.		ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες, υγείες, μη αποσπασθωμένες επιφάνειες ΚΑΛΗ Τραχείες, ελαφρά αποσπασθωμένες και οξειδωμένες επιφάνειες ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσπασθωμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με συμπαγή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσπασθωμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης ή επιφλοιώσης				
ΔΟΜΗ		ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ				
 ΑΡΡΗΚΤΗ Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση		90				N/A
 ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ/ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ Αδιατάρακτη βραχόμαζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών		80				
 ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ Μερικώς διαταραγμένη βραχόμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών		70				
 ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας		60				
 ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ Ισχυρά κερματισμένη βραχόμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιών και αποστραγγυλωμένων τεμαχίων		50				
 ΦΥΛΛΩΔΗΣ/ ΔΙΑΤΜΗΜΕΝΗ Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχόμαζα. Η φύλλωση επικρατεί έναντι οποιαδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιών τεμαχίων (η κλίμακα σε αυτό το εικονίδιο δεν συγκρίνεται με αυτή των άλλων εικονιδίων)		40	ph1		ph2	
		30				
		20				
		10			ph3	
		N/A	N/A			

Σχήμα 81: Διάγραμμα GSI για τις τεχνικογεωλογικές ενότητες του φυλλίτη με βάση τα στοιχεία κατασκευής.

Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου είναι οι εξής:

- Ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος, με κωδικό όνομα k1 (Σχήμα 85). Παρουσιάζει τεμαχώδη έως πολύ τεμαχώδη δομή και μικρό βαθμό αποσάθρωσης. Η εκτίμηση της ταξινόμησης GSI είναι μεταξύ των τιμών 55 έως 65. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή σε άρρηκτο βράχο αξιολογείται στα μέτωπα από την ανάδοχο, 150 έως 200MPa. Η συγκεκριμένη ενότητα σε πάχος υπερκείμενων 25 μέτρων παρουσιάζει συνοχή c ίση με 2,156MPa και γωνία τριβής ίση με 63° . Σε πάχος υπερκείμενων 250 μέτρων παρουσιάζει συνοχή c ίση με 2,915MPa και γωνία τριβής ϕ ίση με 55° .
- Ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος, με κωδικό όνομα k2 (Σχήμα 86). Παρουσιάζει στρωματώδη, πτυχωμένη δομή και μικρό έως μέτριο βαθμό αποσάθρωσης. Η εκτίμηση της ταξινόμησης GSI είναι μεταξύ των τιμών 40 έως 50. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή σε άρρηκτο βράχο αξιολογείται στα μέτωπα από την ανάδοχο, 40 έως 70MPa. Η συγκεκριμένη τεχνικογεωλογική ενότητα σε πάχος υπερκείμενων 25 μέτρων παρουσιάζει συνοχή c ίση με 0,343MPa και γωνία τριβής ίση με 58° . Σε πάχος υπερκείμενων 250 μέτρων παρουσιάζει συνοχή c ίση με 1,025MPa και γωνία τριβής ϕ ίση με 43° .
- Ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος, με κωδικό όνομα k3. Παρουσιάζει στρωματώδη, πτυχωμένη δομή και μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης. Η εκτίμηση της ταξινόμησης GSI είναι μεταξύ των τιμών 25 έως 35. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή σε άρρηκτο βράχο αξιολογείται στα μέτωπα από την ανάδοχο, 40 έως 70MPa. Η συγκεκριμένη τεχνικογεωλογική ενότητα σε πάχος υπερκείμενων 25 μέτρων παρουσιάζει συνοχή c ίση με 0,193MPa και γωνία τριβής ίση με 55° . Σε πάχος υπερκείμενων 250 μέτρων παρουσιάζει συνοχή c ίση με 0,753MPa και γωνία τριβής ϕ ίση με 33° .
- Ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος, με κωδικό όνομα k4. Παρουσιάζει κατακερματισμένη δομή και μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης. Η εκτίμηση της ταξινόμησης GSI είναι μεταξύ των τιμών 15 έως 25. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή σε άρρηκτο βράχο αξιολογείται στα μέτωπα από την ανάδοχο, 40 έως 70MPa. Η συγκεκριμένη τεχνικογεωλογική ενότητα σε πάχος υπερκείμενων 25 μέτρων παρουσιάζει συνοχή c ίση με 0,134MPa και γωνία τριβής ίση με 50° . Σε πάχος υπερκείμενων 250 μέτρων παρουσιάζει συνοχή c ίση με 0,579MPa και γωνία τριβής ϕ ίση με 34° .

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) (E. Hoek, Π. Μαρίνος, 2000)		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ				
Βασίζομενοι στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχειών της βραχώμαζας εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI από τις καμπύλες. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 έως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι το GSI = 35. Ο καθορισμός της δομής καθώς και της ποιότητας των ασυνεχειών μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ δύο γειτονικών πεδίων. Τονίζεται ιδιαίτερα ότι το κριτήριο Hoek - Brown δεν εφαρμόζεται σε αστάθειες που ελέγχονται από συγκεκριμένες ασυνέχειες όταν οι ασθενείς επιπέδες επιφάνειες (όπως διατμημένα επίπεδα στρώσης) έχουν δυσμενή προσανατολισμό σε σχέση με την εκσκαφή. Τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχώμαζας. Η αντοχή ορισμένων βραχομαζών μειώνεται από την παρουσία του υπόγειου νερού και αυτό μπορεί να ληφθεί υπόψη με μικρή μετακίνηση προς τα δεξιά στις στήλες της μέτρησης, πτώχης και πολύ πτώχης κατάστασης ασυνεχειών. Η πίεση του νερού δεν μεταβάλλει την τιμή του GSI και λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων στους υπολογισμούς.		ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχιές, υγρές, μη αποσπασθριμένες επιφάνειες ΚΑΛΗ Τραχιές, ελαφρά αποσπασθριμένες και οξείδωμένες επιφάνειες ΜΕΤΡΙΣΙΑ Λείες, μετρίως αποσπασθριμένες και εξολλωμένες επιφάνειες ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με συμπαγή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσπασθριμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης ή επιφλοιώσης				
ΔΟΜΗ		ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ				
 ΑΡΡΗΚΤΗ Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση		90			N/A	N/A
 ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ / ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ Αδιατάρακτη βραχώμαζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών		80	70	60 (k1)		
 ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ Μερικώς διαταραγμένη βραχώμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών			50	40 (k2)	30 (k3)	
 ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμόνη στρώσης ή σχιστότητας					20 (k4)	
 ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ Ισχυρά κερματισμένη βραχώμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιώδων και αποστραγγυλωμένων τεμαχίων						10
 ΦΥΛΛΩΔΗΣ / ΔΙΑΤΜΗΜΕΝΗ Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχώμαζα. Η φύλλωση επικρατεί έναντι οποιαδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιώδων τεμαχίων (η κλίμακα σε αυτό το εικονίδιο δεν συγκρίνεται με αυτή των άλλων εικονιδίων)		N/A	N/A			

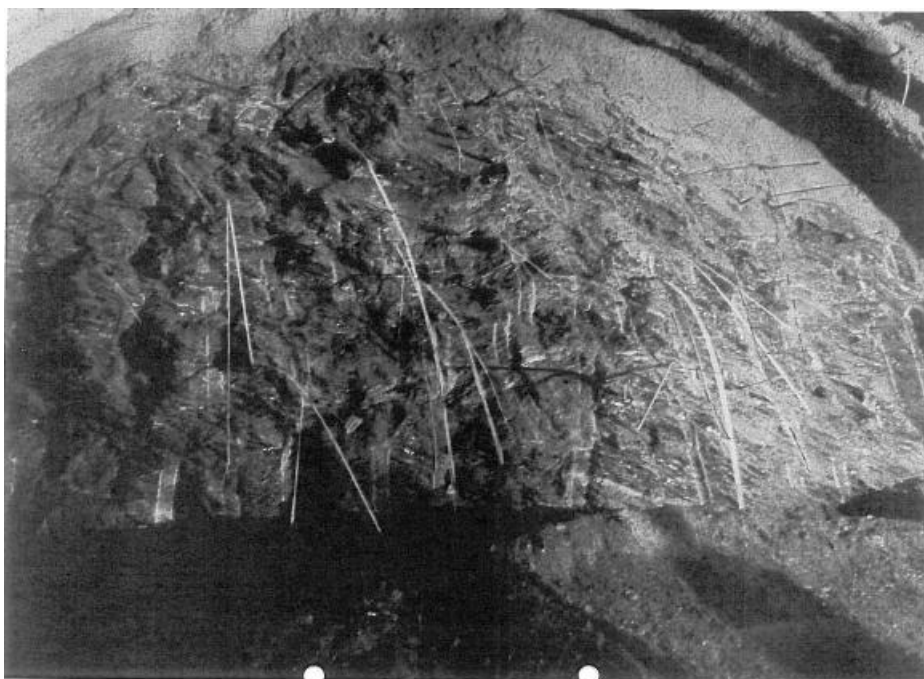
Σχήμα 82: Διάγραμμα GSI για τις τεchnικογεωλογικές ενότητες του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με βάση τα στοιχεία κατασκευής.

Πίνακας 22: Τεχνικογεωλογικές ενότητες που προέκυψαν από την χαρτογράφηση των μετώπων με βάση τα στοιχεία κατασκευής.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΝΟΤΗΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ								
Όνομα	Περιγραφή	GSI	σ _{ci}	mi	c	φ	E	Πάχος υπερκειμένων
ph1	Διατομή με φυλλίτη, με δομή στρωματώδη και πτυχωμένη. Παρουσιάζει μικρό έως μέτριο βαθμό αποσάθρωσης.	35-45	1-25	7	0,232-0,399	24-31	1778	100-240
ph2	Διατομή με φυλλίτη, με δομή στρωματώδη και πτυχωμένη. Παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης.	20-30	1-25	7	0,165-0,211	23-26	750	100-150
ph3	Διατομή με φυλλίτη, με φυλλοποιημένη δομή. Παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης έως και την εδαφοποίηση του υλικού.	10-20	<5	7	0,021-0,061	9-16	134	25-150
k1	Διατομή με ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο, δομή που κυμαίνεται από τεμαχώδης έως πολύ τεμαχώδης. Παρουσιάζει μικρό βαθμό αποσάθρωσης.	55-65	150-200	12	2,156-2,915	55-63	17783	25-250
k2	Διατομή με ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο, δομή που κυμαίνεται από πολύ τεμαχώδης έως στρωματώδης, πτυχωμένη. Παρουσιάζει μικρό έως μέτριο βαθμό αποσάθρωσης.	40-50	40-70	12	0,343-1,025	43-58	5561	25-250
k3	Διατομή με ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο, δομή που κυμαίνεται από πολύ τεμαχώδης έως στρωματώδης, πτυχωμένη. Παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης.	25-35	40-70	12	0,193-0,753	38-55	2345	25-250
k4	Διατομή με ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο, δομή αποδιοργανωμένη. Παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης.	15-25	40-70	12	0,134-0,579	34-50	1759	25-250



Σχήμα 83: Φυλλίτης τύπου rh1 σε μέτωπο του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας στην χιλιομετρική θέση 10702.2m (από Δελτίο Χαρτογράφησης Μετώπου).



Σχήμα 84: Φυλλίτης τύπου rh3 σε μέτωπο του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας στην χιλιομετρική θέση 10702.2m (από Δελτίο Χαρτογράφησης Μετώπου).



Σχήμα 85: Ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος τύπου k1 σε μέτωπο του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας στην χιλιομετρική θέση 9279,6m (από Δελτίο Χαρτογράφησης Μετώπου).



Σχήμα 86: Ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος τύπου k2 σε μέτωπο του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας στην χιλιομετρική θέση 8631,6m (από Δελτίο Χαρτογράφησης Μετώπου).

Οι τεχνικογεωλογικές διατομές έχουν αρίθμηση από το γράμμα Α έως το γράμμα J. Οι πρώτες έξι διατομές ταυτίζονται με τις πρώτες έξι τεχνικογεωλογικές ενότητες ενώ οι επόμενες τέσσερις είναι ουσιαστικά μεικτά μέτωπα. Πιο αναλυτικά είναι οι εξής:

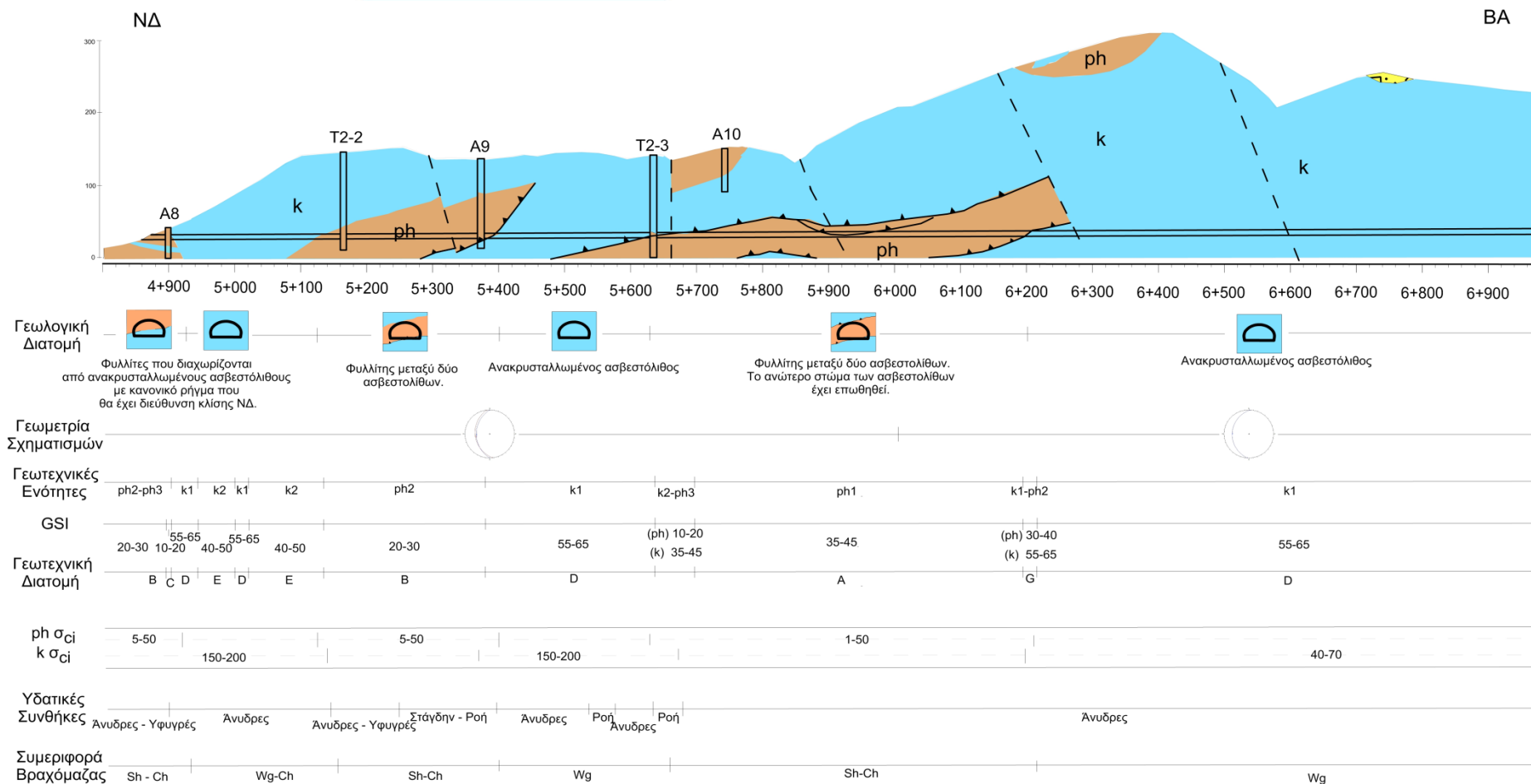
- A. Διατομή με φυλλίτη που παρουσιάζει στρωματώδη και πτυχωμένη δομή. Ο φυλλίτης παρουσιάζει μικρό έως μέτριο βαθμό αποσάθρωσης. Το GSI κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 35 έως 45.
- B. Διατομή με φυλλίτη που παρουσιάζει στρωματώδη και πτυχωμένη δομή. Παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης. Το GSI κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 20 έως 30.
- C. Διατομή με φυλλίτη, που παρουσιάζει φυλλοποιημένη δομή. Παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης έως και την εδαφοποίηση του υλικού. Το GSI κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 10 έως 20.
- D. Διατομή με ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο που παρουσιάζει δομή που κυμαίνεται από τεμαχώδης έως πολύ τεμαχώδης. Παρουσιάζει μικρό βαθμό αποσάθρωσης. Το GSI κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 55 έως 65.
- E. Διατομή με ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο που παρουσιάζει δομή που κυμαίνεται από πολύ τεμαχώδης έως στρωματώδης, πτυχωμένη. Παρουσιάζει μικρό έως μέτριο βαθμό αποσάθρωσης. Το GSI κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 40 έως 50.
- F. Διατομή με ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο που παρουσιάζει δομή που κυμαίνεται από πολύ τεμαχώδης έως στρωματώδης, πτυχωμένη. Παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης. Το GSI κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 25 έως 35.
- G. Διατομή όπου το άνω τμήμα της καλύπτεται από φυλλίτη, με στρωματώδη, πτυχωμένη δομή. Στο κατώτερο τμήμα της καλύπτεται από ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο με τεμαχώδη δομή. Ο βαθμός αποσάθρωσης είναι μικρός και στις δύο βραχομάζες. Το GSI στον φυλλίτη κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 20 έως 30 και για τον ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο 55 έως 65.
- H. Διατομή που το κατώτερο τμήμα της καλύπτεται από φυλλίτη με δομή φυλλοποιημένη και μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης. Στο ανώτερο τμήμα καλύπτεται από ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο, με στρωματώδη, πτυχωμένη δομή και μέτριο βαθμό αποσάθρωσης. Το GSI στον φυλλίτη κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 10 έως 20 και στον ασβεστόλιθο μεταξύ των τιμών 35 έως 45.
- I. Διατομή που το κατώτερο τμήμα της καλύπτεται από φυλλίτη με δομή φυλλοποιημένη και μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης. Στο ανώτερο τμήμα καλύπτεται από ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο, με τεμαχώδη έως πολύ τεμαχώδη δομή και μικρό βαθμό αποσάθρωσης. Το GSI στον φυλλίτη κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 10 έως 20 και στον ασβεστόλιθο μεταξύ των τιμών 40 έως 50.

Ζ. Διατομή που το κεντρικό τμήμα της καλύπτεται από φυλλίτη με φυλλοποιημένη δομή και μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης. Στο κατώτερο και στο ανώτερο τμήμα καλύπτεται από ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο, με στρωματώδη, πτυχωμένη δομή και μέτριο βαθμό αποσάθρωσης. Το GSI στον φυλλίτη κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 10 έως 20 και στον ασβεστόλιθο μεταξύ των τιμών 35 έως 45.

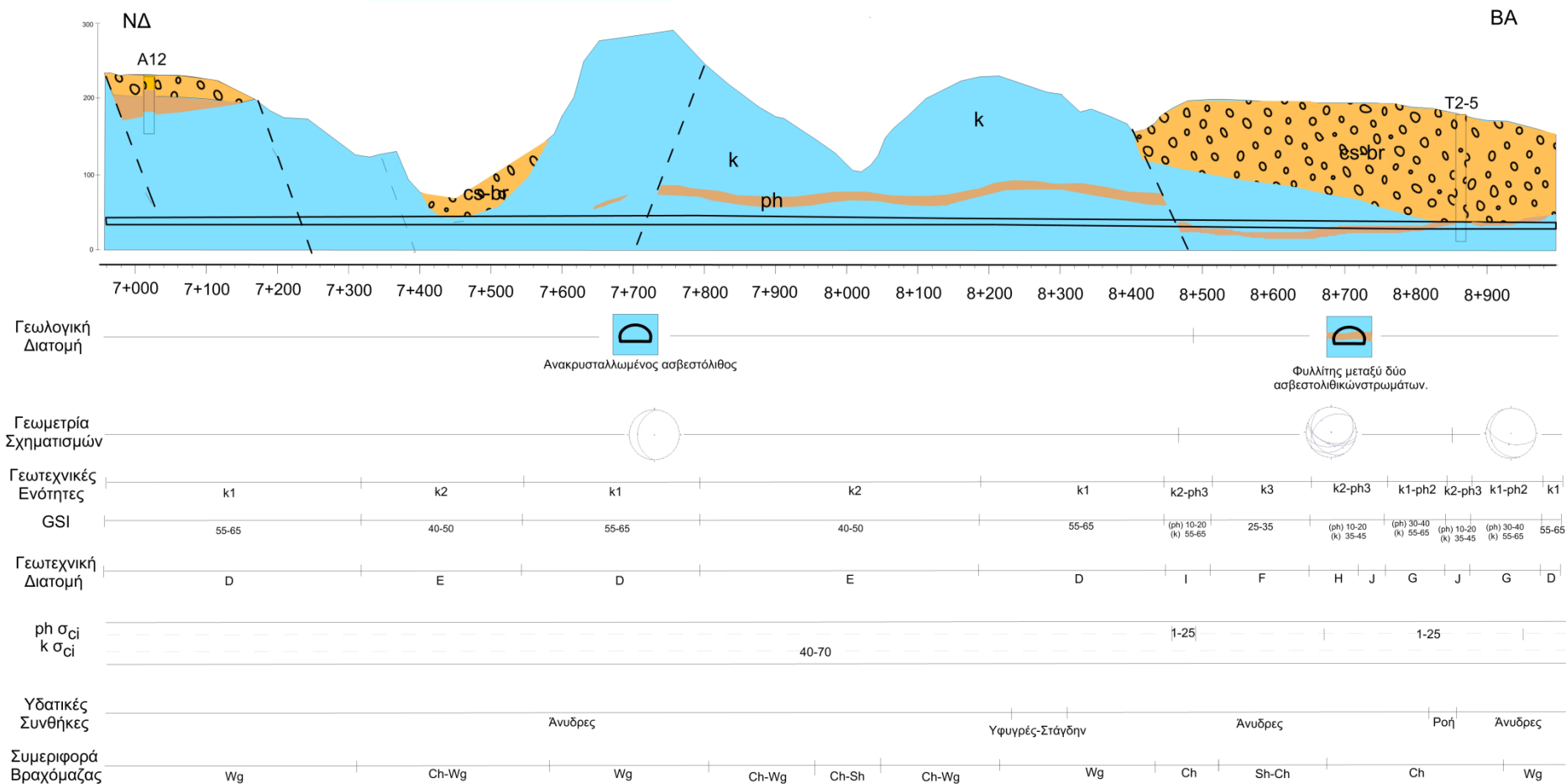
Το τεχνικογεωλογικό μοντέλο του Νότιου κλάδου παρουσιάζεται στο Σχήμα 87, Σχήμα 88 και στο Σχήμα 89 για τις χιλιομετρικές θέσεις 4885 έως 6960m, 6960 έως 9000m και 9000 έως 10860m αντίστοιχα. Το τεχνικογεωλογικό μοντέλο του Βόρειου κλάδου παρουσιάζεται στο Σχήμα 90, Σχήμα 91 και στο Σχήμα 92 για τις χιλιομετρικές θέσεις 4885 έως 6960m, 6960 έως 9000m και 9000 έως 10860m αντίστοιχα. Το υπόμνημα των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων εντοπίζεται στο Σχήμα 93 και των τεχνικογεωλογικών διατομών στο Σχήμα 94. Στον Πίνακα 23 παρουσιάζονται οι τεχνικογεωλογικές ενότητες με βάση την κωδικοποίηση τους ανά χιλιομετρική θέση για τον κάθε κλάδο.

Πίνακας 23: Τεχνικογεωλογικές ενότητες ανά χιλιομετρικές θέσεις με τα στοιχεία κατασκευής και για τους δύο κλάδους.

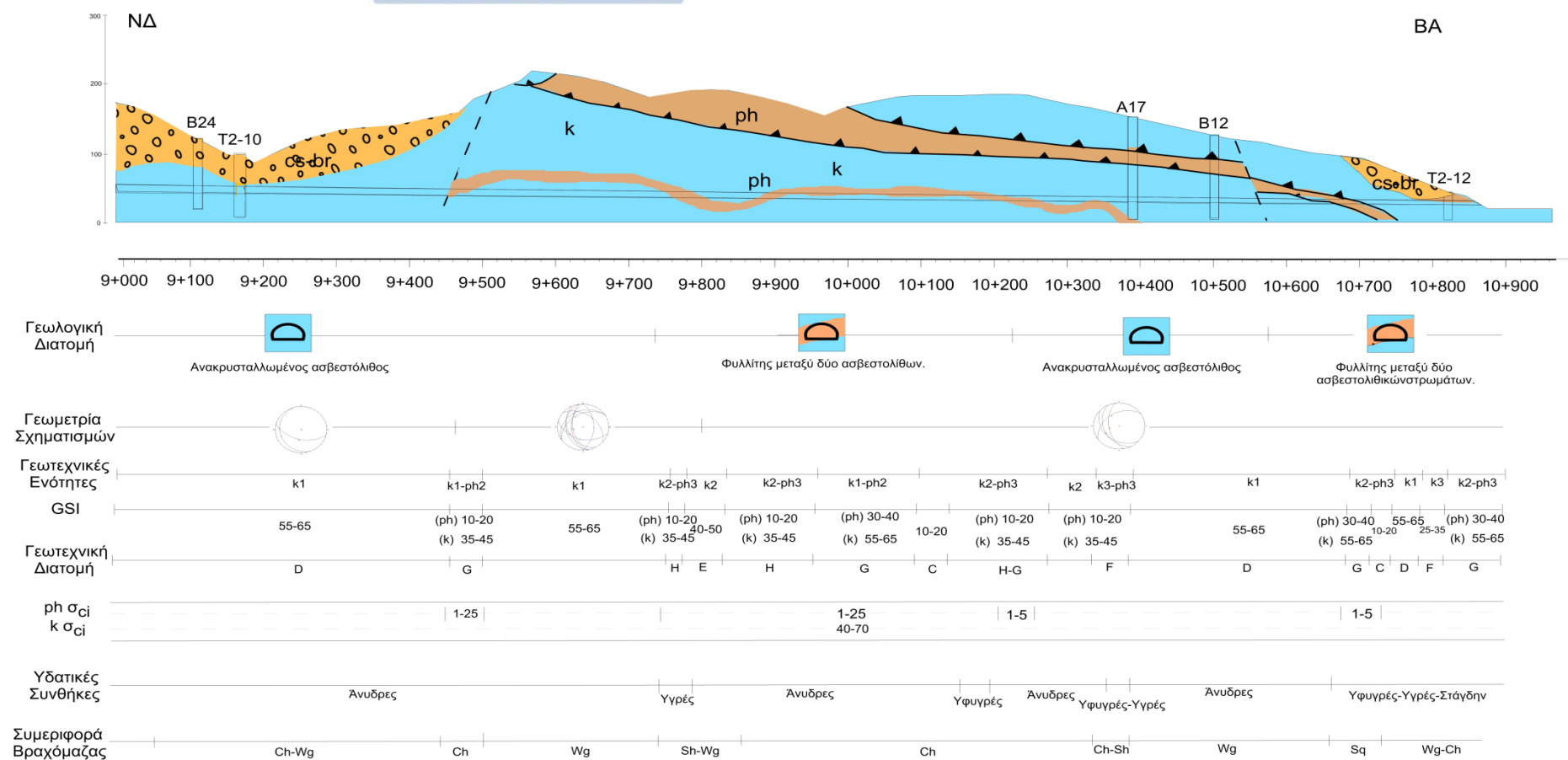
Νότιος Κλάδος της σήραγγας T2		Βόρειος Κλάδος της σήραγγας T2	
Χιλιομετρικές Θέσεις	Τεχνικογεωλογικές Ενότητες	Χιλιομετρικές Θέσεις	Τεχνικογεωλογικές Ενότητες
4885-4922	ph2-ph3	4885-4895	ph3
4922-5110	k1-k2	4895-5133	k1
5110-5403	ph2	5133-5390	ph2
5403-5640	k1	5390-5540	k1
5640-6194	ph1	5540-5634	k2
6194-7285	k1	5634-6200	ph1
7285-7594	k2	6200-6221	ph1-k1
7594-7788	k1	6221-7612	k1
7788-8164	k2	7612-8080	k2
8164-8360	k1	8080-8450	k1-k2
8360-8508	k2-ph2	8450-8480	k2-ph2
8508-8660	k3	8480-8659	k2
8660-8940	k1-k2-ph3	8659-8981	ph3
8940-9743	k1	8981-9735	k1
9743-9764	p2-ph3	9735-9855	k2-ph2
9764-9831	k1	9855-10280	k2-ph3
9831-10284	k3-ph3	10280-10680	k1
10284-10680	k1	10680-10728	ph3
10680-10754	ph3	10728-10793	k1
10754-10802	k1	10793-10825	ph2
10802-10827	ph3		



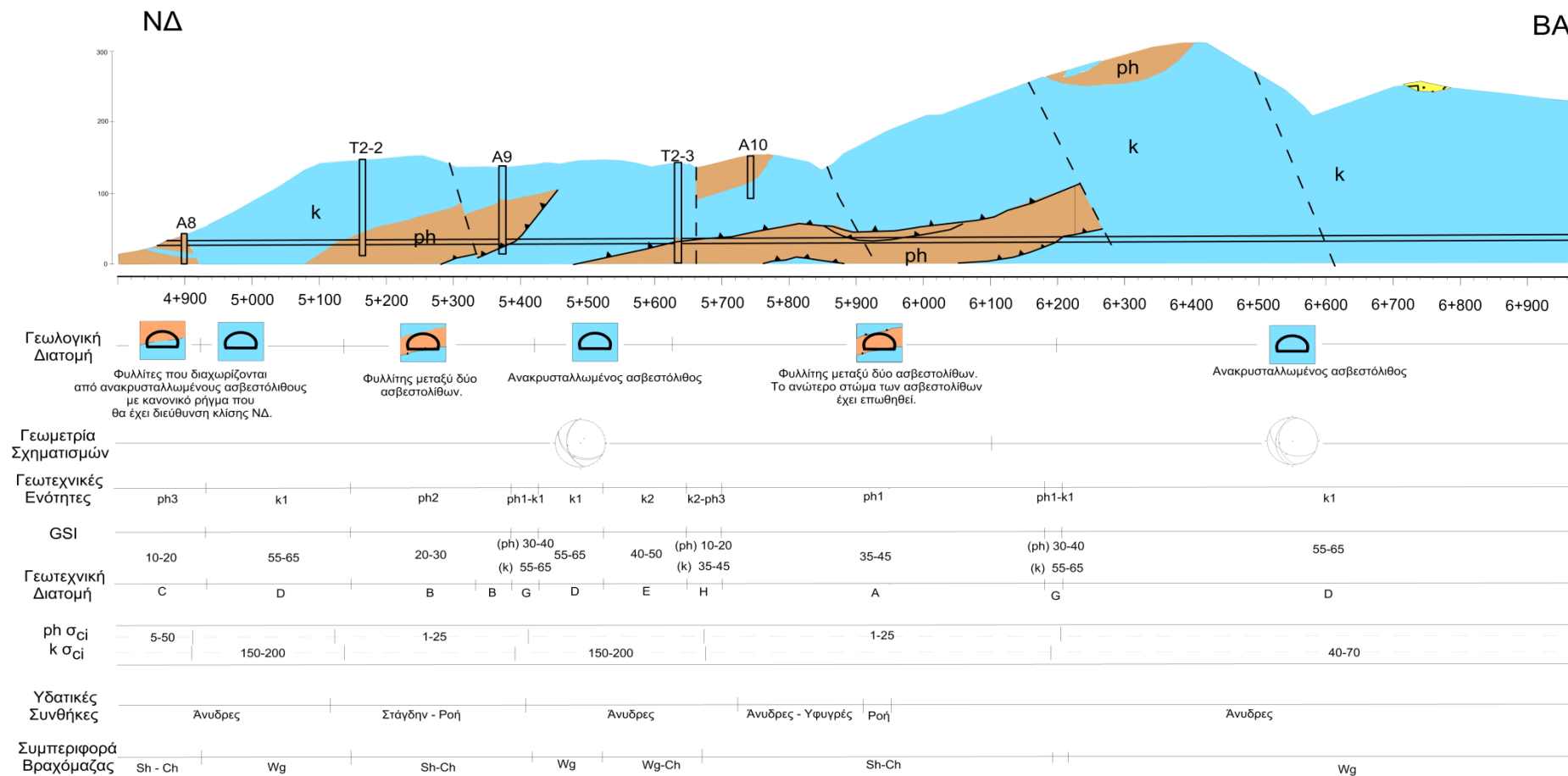
Σχήμα 87: Γεωλογική τομή του Νότιου κλάδου της σήραγγας T2 από τη Χ.Θ 4888 έως τη Χ.Θ. 6960 με τη χρήση και των στοιχείων της κατασκευής. Δίνονται πληροφορίες σχετικά με τη γεωμετρία των σχηματισμών, τις τεχνικογεωλογικές ενότητες και διατομές, το GSI και σ_{ci} , τις υδατικές συνθήκες και τη συμπεριφορά της βραχομάζας.



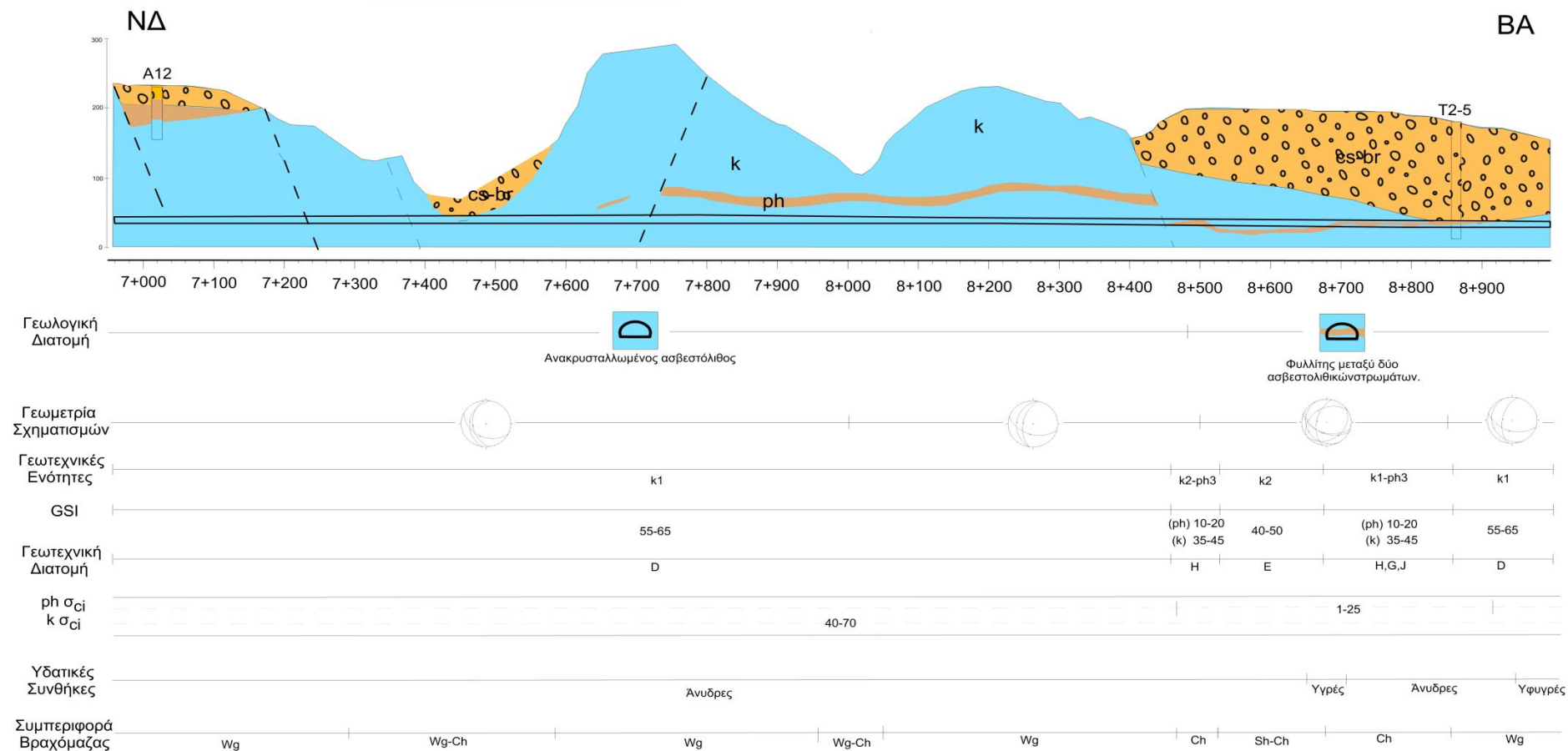
Σχήμα 88: Γεωλογική τομή του Νότιου κλάδου της σήραγγας T2 από τη Χ.Θ 6960 έως τη Χ.Θ. 9000 με τη χρήση και των στοιχείων της κατασκευής. Δίνονται πληροφορίες σχετικά με τη γεωμετρία των σχηματισμών, τις τεχνικογεωλογικές ενότητες και διατομές, το GSI και σ_{ci} , τις υδατικές συνθήκες και τη συμπεριφορά της βραχομάζας.



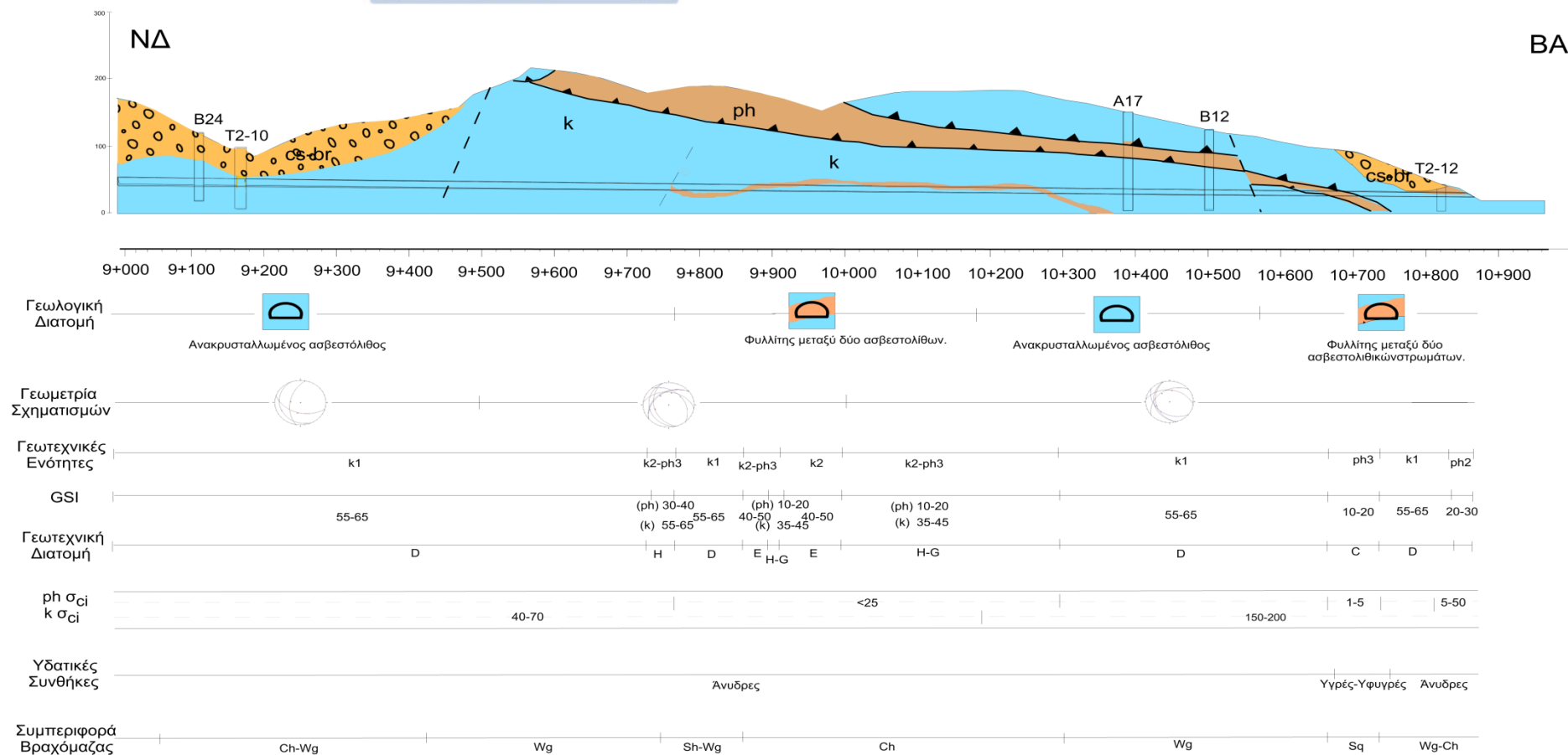
Σχήμα 89: Γεωλογική τομή του Νότιου κλάδου της σήραγγας T2 από τη Χ.Θ 9000 έως τη Χ.Θ. 10860 με τη χρήση και των στοιχείων της κατασκευής. Δίνονται πληροφορίες σχετικά με τη γεωμετρία των σχηματισμών, τις τεχνικογεωλογικές ενότητες και διατομές, το GSI και σ_{ci} , τις υδατικές συνθήκες και τη συμπεριφορά της βραχομάζας.



Σχήμα 90: Γεωλογική τομή του Βόρειου κλάδου της σήραγγας T2 από τη Χ.Θ 4888 έως τη Χ.Θ. 6960 με τη χρήση και των στοιχείων της κατασκευής. Δίνονται πληροφορίες σχετικά με τη γεωμετρία των σχηματισμών, τις τεχνικογεωλογικές ενότητες και διατομές, το GSI και σ_{ci}, τις υδατικές συνθήκες και τη συμπεριφορά της βραχομάζας.



Σχήμα 91: Γεωλογική τομή του Βόρειου κλάδου της σήραγγας T2 από τη Χ.Θ 6960 έως τη Χ.Θ. 9000 με τη χρήση και των στοιχείων της κατασκευής. Δίνονται πληροφορίες σχετικά με τη γεωμετρία των σχηματισμών, τις τεχνικογεωλογικές ενότητες και διατομές, το GSI και σ_{ci} , τις υδατικές συνθήκες και τη συμπεριφορά της βραχομάζας.



Σχήμα 92: Γεωλογική τομή του Βόρειου κλάδου της σήραγγας T2 από τη Χ.Θ 9000 έως τη Χ.Θ. 10860 με τη χρήση και των στοιχείων της κατασκευής. Δίνονται πληροφορίες σχετικά με τη γεωμετρία των σχηματισμών, τις τεχνικογεωλογικές ενότητες και διατομές, το GSI και σ_{ci} , τις υδατικές συνθήκες και τη συμπεριφορά της βραχομάζας.

Γεωτεχνικοί Σχηματισμοί		
ph1		Φυλλίτης με δομή στρωματώδη και πτυχωμένη. Παρουσιάζει μικρό έως μέτριο βαθμό αποσάθρωσης. Το GSI κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 35 έως 45. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή του άρρηκτου βράχου αξιολογείται στα μέτωπα ανάμεσα στο 1-25.
ph2		Φυλλίτης με δομή στρωματώδη και πτυχωμένη. Παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης. Το GSI κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 20 έως 30. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή του άρρηκτου βράχου αξιολογείται στα μέτωπα ανάμεσα στο 1-25.
ph3		Φυλλίτης με φυλλοποιημένη δομή. Παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης έως και την εδαφοποίηση του υλικού. Το GSI κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 10 έως 20. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή του άρρηκτου βράχου αξιολογείται στα μέτωπα μικρότερο του 5.
k1		Ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος δομή που κυμαίνεται από τεμαχώδης έως πολύ τεμαχώδης. Παρουσιάζει μικρό βαθμό αποσάθρωσης. Το GSI κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 55 έως 65. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή του άρρηκτου βράχου αξιολογείται στα μέτωπα ανάμεσα στο 150-200.
k2		Ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος δομή που κυμαίνεται από πολύ τεμαχώδης έως στρωματώδης, πτυχωμένη. Παρουσιάζει μικρό έως μέτριο βαθμό αποσάθρωσης. Το GSI κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 40 έως 50. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή του άρρηκτου βράχου αξιολογείται στα μέτωπα ανάμεσα στο 40-70.
k3		Ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος δομή που κυμαίνεται από πολύ τεμαχώδης έως στρωματώδης, πτυχωμένη. Παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης. Το GSI κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 25 έως 35. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή του άρρηκτου βράχου αξιολογείται στα μέτωπα ανάμεσα στο 40-70.
k4		Ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος, δομή αποδιωργανωμένη. Παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης. Ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος δομή που κυμαίνεται από πολύ τεμαχώδης έως στρωματώδης, πτυχωμένη. Παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης. Το GSI κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 15 έως 25. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή του άρρηκτου βράχου αξιολογείται στα μέτωπα ανάμεσα στο 40-70.

Σχήμα 93: Υπόμνημα τεχνικογεωλογικών ενοτήτων με βάση τα στοιχεία κατασκευής.

Υπόμνημα τεχνικογεωλογικών διατομών		
A		Διατομή με φυλλίτη, με δομή στρωματώδη και πτυχωμένη. Παρουσιάζει μικρό έως μέτριο βαθμό αποσάθρωσης. Το GSI κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 35 έως 45. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή του άρρηκτου βράχου αξιολογείται στα μέτωπα ανάμεσα στο 1-25.
B		Διατομή με φυλλίτη, με δομή στρωματώδη και πτυχωμένη. Παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης. Το GSI κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 20 έως 30. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή του άρρηκτου βράχου αξιολογείται στα μέτωπα ανάμεσα στο 1-25.
C		Διατομή με φυλλίτη, με φυλλοποιημένη δομή. Παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης έως και την εδαφοποίηση του υλικού. Το GSI κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 10 έως 20. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή του άρρηκτου βράχου αξιολογείται στα μέτωπα μικρότερο του 5.
D		Διατομή με ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο, δομή που κυμαίνεται από τεμαχώδης έως πολύ τεμαχώδης. Παρουσιάζει μικρό βαθμό αποσάθρωσης. Το GSI κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 55 έως 65. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή του άρρηκτου βράχου αξιολογείται στα μέτωπα ανάμεσα στο 150-200.
E		Διατομή με ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο, δομή που κυμαίνεται από πολύ τεμαχώδης έως στρωματώδης, πτυχωμένη. Παρουσιάζει μικρό έως μέτριο βαθμό αποσάθρωσης. Το GSI κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 40 έως 50. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή του άρρηκτου βράχου αξιολογείται στα μέτωπα ανάμεσα στο 40-70.
F		Διατομή με ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο, δομή που κυμαίνεται από πολύ τεμαχώδης έως στρωματώδης, πτυχωμένη. Παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης. Το GSI κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 25 έως 35. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή του άρρηκτου βράχου αξιολογείται στα μέτωπα ανάμεσα στο 40-70.
G		Διατομή όπου το ανώτερο τμήμα της καλύπτεται από φυλλίτη, με δομή στρωματώδη, πτυχωμένη. Στο κατώτερο τμήμα της καλύπτεται από ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο, με τεμαχώδη δομή. Ο βαθμός αποσάθρωσης είναι μικρός και στις δύο βραχώδεις. Το GSI στον φυλλίτη κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 20 έως 30 και για τον ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο 55 έως 65. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή του άρρηκτου βράχου αξιολογείται στα μέτωπα ανάμεσα στο 150-200 και 1-25 για τον ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο και τον φυλλίτη αντίστοιχα.
H		Διατομή που το κατώτερο τμήμα της καλύπτεται από φυλλίτη με δομή φυλλοποιημένη και μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης. Στο ανώτερο τμήμα καλύπτεται από ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο, με δομή στρωματώδης, πτυχωμένη και βαθμό αποσάθρωσης μέτριο. Το GSI στον φυλλίτη κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 10 έως 20 και στον ασβεστόλιθο μεταξύ των τιμών 35 έως 45. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή του άρρηκτου βράχου αξιολογείται στα μέτωπα ανάμεσα στο 40-70 και μικρότερο του 5 για τον ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο και τον φυλλίτη αντίστοιχα.
I		Διατομή που το κατώτερο τμήμα της καλύπτεται από φυλλίτη με δομή φυλλοποιημένη και μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης. Στο ανώτερο τμήμα καλύπτεται από ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο, με δομή τεμαχώδης έως πολύ τεμαχώδης και βαθμό αποσάθρωσης μικρό. Το GSI στον φυλλίτη κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 10 έως 20 και στον ασβεστόλιθο μεταξύ των τιμών 40 έως 50. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή του άρρηκτου βράχου αξιολογείται στα μέτωπα ανάμεσα στο 40-70 και μικρότερο του 5 για τον ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο και τον φυλλίτη αντίστοιχα.
J		Διατομή που το κεντρικό τμήμα της καλύπτεται από φυλλίτη με δομή φυλλοποιημένη και μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης. Στο ανώτερο και στο κατώτερο τμήμα καλύπτεται από ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο, με δομή στρωματώδης, πτυχωμένη και βαθμό αποσάθρωσης μέτριο. Το GSI στον φυλλίτη κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 10 έως 20 και στον ασβεστόλιθο μεταξύ των τιμών 35 έως 45. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή του άρρηκτου βράχου αξιολογείται στα μέτωπα ανάμεσα στο 40-70 και μικρότερο του 5 για τον ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο και τον φυλλίτη αντίστοιχα.

Σχήμα 94: Υπόμνημα τεχνικογεωλογικών διατομών με βάση τα στοιχεία κατασκευής.

4.3 Σύγκριση των μοντέλων

Το τεχνικογεωλογικό μοντέλο της μελέτης έχει διαφοροποιήσει με το μοντέλο που κατασκευάστηκε με τα στοιχεία της χαρτογράφησης των μετώπων. Το μοντέλο που προέκυψε με στοιχεία της μελέτης παρουσιάζει τους φυλλίτες με πολύ πτωχά χαρακτηριστικά, σε αντίθεση με το μοντέλο της κατασκευής που υπάρχει τμήμα (χιλιομετρική θέση 5110 έως 5403 στο Νότιο κλάδο και 5133 έως 5390 στο Βόρειο κλάδο) που ο φυλλίτης έχει τιμή GSI έως και 40. Έτσι εξηγείται και το γεγονός ότι σ' αυτές τις χιλιομετρικές θέσεις δεν παρουσιάστηκαν έντονα συμπτωστικά φαινόμενα.

Όπως αναφέρεται προηγουμένως σχετικά με τη σύγκριση των δύο μοντέλων και ως προς την γεωλογία, το μοντέλο της μελέτης δεν εξετάζει την ύπαρξη στρώματος φυλλίτη έπειτα της χιλιομετρικής θέσης 8400, εκτός των χιλιομετρικών θέσεων 10690 έως 10750m. Ως αποτέλεσμα, σε ένα μεγάλο τμήμα της σήραγγας εμφανίζονται μόνο ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι και κατά θέσεις φακοί φυλλιτών. Αυτό έχει ως συνέπεια να μην λαμβάνονται υπόψη σε αυτές τις χιλιομετρικές θέσεις οι πτωχές ιδιότητες των φυλλιτών., με αποτέλεσμα να εφαρμοστούν πιο βαριές διατομές άμεσης υποστήριξης.

5^ο Κεφάλαιο: Υδρογεωλογικές συνθήκες

Σε αυτό το κεφάλαιο παρατίθενται στοιχεία της μελέτης σχετικά με την υδροπερατότητα των σχηματισμών και τη συμπεριφορά των σχηματισμών ως προς τον τομέα των υδάτινων ροών, κατά την διάνοιξη των δίδυμων σήραγγων. Σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης ο ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος είναι κατά βάση καρστικοποιημένος και υδροπερατός. Ο δε φυλλίτης παρουσιάζει μικρή περατότητα με συντελεστή υδροπερατότητας k από 10^{-6} έως $2,45 \cdot 10^{-7}$. Για την εύρεση του συντελεστή υδροπερατότητας για τον ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο πραγματοποιήθηκαν και δοκιμές Lugeon σε κάποιες γεωτρήσεις, που τα αποτελέσματά τους αναφέρονται στο Πίνακα 24 όπως τα παρουσιάζει η μελέτη. Για την εύρεση του k στον φυλλίτη πραγματοποιήθηκαν και δοκιμές Maag σε γεωτρήσεις που οι ενδείξεις τους παρουσιάζονται στο Πίνακα 25 (Giannatos et. all, 2008).

Η καρστικοποίηση του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου γίνεται αντιληπτή και από τη δράση πηγών στην περιοχή. Πιο συγκεκριμένα υπάρχουν τέσσερα συστήματα πηγών που εκφορτίζουν στην κοιλάδα των Τεμπών, και μέσω παραποτάμων τα νερά φτάνουν στον Πηνειό ποταμό (Giannatos et. all, 2008). Τα συστήματα πηγών που δρουν στην περιοχή είναι της Αγίας Παρασκευής, της Δάφνης, της Δρυστέλλας και της Αφροδίτης. Σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης οι πηγές της Δάφνης εκφορτίζουν 45 έως 260 lt/s, οι πηγές της Δρυστέλλας 10 έως 25 lt/s ενώ οι πηγές της Αφροδίτης 110 lt/s. Το υδρογεωλογικό μοντέλο της περιοχής παρουσιάζεται στο Σχήμα 95.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης όπως φαίνεται και στο Σχήμα 78 ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται κάτω από το επίπεδο των σήραγγων. Έτσι σύμφωνα με την μελέτη δεν θα εντοπίζονται μόνιμες ροές νερών αλλά παροδικές που θα οφείλονται σε πρόσκαιρα καιρικά φαινόμενα όπως βροχοπτώσεις. Οι φυλλίτες λειτουργούν ως ημιδιαπερατά και αδιαπέρατα στρώματα με αποτέλεσμα να βοηθούν στην δημιουργία μικρών ταμιευτήρων υπόγειου νερού (Giannatos et. all, 2008).

Η θεωρία που αναφέρεται στην μελέτη επιβεβαιώνεται και από τα στοιχεία ροής υδάτων μέσα στη σήραγγα, που κατέγραψε η ανάδοχος του έργου κατά την χαρτογράφηση των μετώπων. Σχεδόν σε όλο το τμήμα της σήραγγας και κυρίως στα τμήματα που επικρατεί ο ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος παρουσιάζονται άνυδρες συνθήκες. Αυτό δείχνει πως όντως ο υδροφόρος είναι πιο κάτω από τις δίδυμες σήραγγες. Στα σημεία που υπάρχουν εναλλαγές των σχηματισμών ή επικρατεί ο φυλλίτης, παρουσιάζονται πιο υγρές συνθήκες. Αυτό οφείλεται στο ότι ο φυλλίτης έχει μικρή διαπερατότητα με αποτέλεσμα να εμπεριέχει εσωτερικά του εγκλωβισμένο νερό. Έτσι με την διατάραξη του εκφορτίζει με μικρό ρυθμό. Αυτό μπορεί να διαπιστωθεί και

από το Σχήμα 87 έως το Σχήμα 92, όπου αναφέρονται και οι υδατικές συνθήκες ανά χιλιομετρική θέση για τον κάθε κλάδο.

Πίνακας 24: Παρουσίαση ενδεικτικών αποτελεσμάτων από δοκιμές Lugeon σε γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά την μελέτη του έργου σε ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο (Giannatos et. all, 2008 τροποποιημένο).

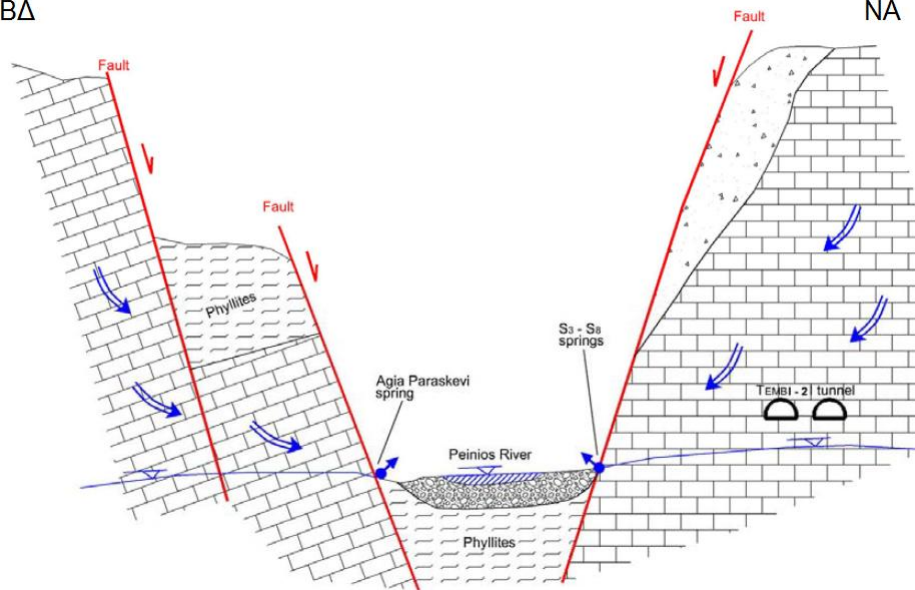
Γεώτρηση	Χιλιομετρική Θέση	Βάθος Δοκιμής (m)	Είδος Δοκιμής	k (m/sec)
A9	5+400	131,8-136,8	Lugeon	$1,09 \times 10^{-4}$
		140,0-145,0		$1,15 \times 10^{-4}$
A17	10+350	134,1-139,1		$1,77 \times 10^{-7}$
		141,7-146,7		$1,36 \times 10^{-7}$
		153,7-161,7		$2,85 \times 10^{-7}$
		159,7-164,7		$5,78 \times 10^{-7}$
T2-11	10+706	41,9-46,9		$1,58 \times 10^{-4}$
		51,2-56,2		ολική απώλεια νερού

Πίνακας 25: Παρουσίαση ενδεικτικών αποτελεσμάτων από δοκιμές Maag σε γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά την μελέτη του έργου σε φυλλίτη (Giannatos et. all, 2008 τροποποιημένο).

Γεώτρηση	Χιλιομετρική Θέση	Βάθος Δοκιμής (m)	Είδος Δοκιμής	k (m/sec)
A8	4+905	15,0-16,5	Maag	$2,45 \times 10^{-7}$
		19,0-20,5		$6,26 \times 10^{-7}$
		23,5-25,0		$1,13 \times 10^{-6}$
		29,5-31,0		$1,02 \times 10^{-6}$
		34,0-35,5		$8,53 \times 10^{-7}$

ΒΔ

ΝΑ

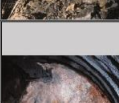
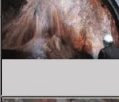
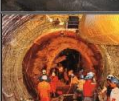


Σχήμα 95: Υδρογεωλογικό μοντέλο μελέτης για την περιοχή κατασκευής της σήραγγας T2 (Giannatos et. all, 2008).

6^ο Κεφάλαιο: Τεχνικογεωλογική συμπεριφορά βραχομαζών στις σήραγγες

6.1 Προβλεπόμενη συμπεριφορά της βραχομάζας από την μελέτη.

Στην μελέτη του έργου γίνεται περιορισμένη αναφορά στον αναμενόμενο τύπο αστοχίας με μεγαλύτερη επικέντρωση στο αν ο ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος είναι καρστικοποιημένος ή όχι και αν υπάρχει ο κίνδυνος εύρεσης φυλλίτη κατά την διάνοιξη. Για να είναι εφικτός ο προσδιορισμός εκτίμησης τύπου αστοχίας πραγματοποιήθηκε συσχέτιση των αναμενόμενων σχηματισμών που θα συναντούσε η σήραγγα με τις τεχνικογεωλογικές ενότητες που προέκυψαν από την χρήση των δεδομένων της κατασκευής. Για την εύρεση των τύπων αστοχίας (Σχήμα 96) χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα Tunnel Behaviour Chart (TBC) σύμφωνα με τον Marinou (2012). Οι τύποι αστοχίας ανά χιλιομετρική θέση συνοψίζονται στον Πίνακα 26.

TUNNEL BEHAVIOUR TYPES			
St	Stable ground: Stable tunnel section with local gravity failures. Rock mass is compact with limited and isolated discontinuities		
Br	Brittle failure: Brittle failure or rock bursting at great depths		
Wg	Wedge failure: Wedge sliding or gravity driven failures. Insignificant strains. The rock mass is blocky to very blocky, blocks can fall or slide. The stability is controlled by the geometrical and mechanical characteristics of the discontinuities. The ratio of rock mass strength to the in situ stress (σ_{cm}/p_0) is high ($>0.5-0.7$) and there are very small strains ($\leq 1\%$)		
Ch	Chimney type failure: Rock mass is highly fractured, maintaining most of the time its structure (or at least that of the surrounding rock mass). Rock mass does not have good interlocking (open structure) and in combination with low confinement (lateral stress) can tend to block falls which develop to larger overbreaks of chimney type. The overbreaks may be stopped and "bridged" by better quality rock masses, depending on the in situ conditions. This type may be applied also in cases of brecciated and disintegrated rock mass in ground with high confinement (high lateral stress)		
Rv	Reveiling ground: The rock mass is brecciated and disintegrated or foliated with practically zero cohesion and depending on the intact rock interlocking (Rv1 case: without infilling) and possible secondary hosted geomaterial (Rv2 case: with infilling, e.g. clay), rock mass can generate immediate rock mass revealing in face and tunnel perimeter. The difference with Ch type lies in the block size, which is very small here, the self support timing, which is very limited here and the failure extension, where it is unrestricted due to the lack of better rock mass quality in the surrounding zone		
Fl	Flowing ground: The rock mass is disintegrated with practically zero cohesion and intense groundwater presence along the discontinuities. Rock fragments flow with water inside the tunnel		
Sh	Shear failure: Minor to medium strains, with the development of shear failures close to the perimeter around the tunnel. Rock mass is characterized by low strength intact rocks ($\sigma_c < 15 \text{ MPa}$) while the rock mass structure reduces the overall rock mass strength. Strains develop either at a small to medium tunnel cover (around 50-70m) in case of poor sheared rock masses, or in larger cover in case of better quality rock masses. The ratio of rock mass strength to the in situ stress (σ_{cm}/p_0) is low ($0.3 < \sigma_{cm}/p_0 < 0.45$) and strains are measured or expected to be medium (1-2.5 %)		
Sq	Squeezing ground: Large strains, due to overstraining with the development of shear failures in an extended zone around the tunnel. Rock mass consists of low strength intact rocks while the rock mass structure reduces the overall rock mass strength. The ratio of rock mass strength to the in situ stress (σ_{cm}/p_0) is very low ($\sigma_{cm}/p_0 < 0.3$) and strains are measured or expected to be $>2.5\%$, and they can be also take place at the face		
Sw	Swelling ground: Rock mass contains a significant amount of swelling minerals (montmorillonite, smectite, anhydrite) which swell and deform in the presence of groundwater. Swelling often occurs in the tunnel floor when the support ring is not fully closed		
San	Anisotropic strains: The rock mass is stratified or schistose or consists of specific weak zones and develops increased strain characteristics along a direction defined by the schistosity		

Σχήμα 96: Τύποι συμπεριφοράς μέσα σε σήραγγα (V. Marinou, 2012)

Πίνακας 26: Εκτιμώμενη συμπεριφορά βραχομάζας κατά την διάνοιξη της σήραγγας ανά χιλιομετρική θέση, με τα στοιχεία της μελέτης.

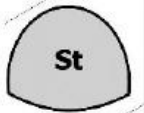
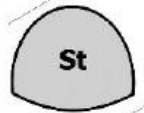
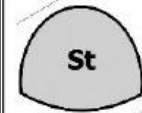
Χιλιομετρικές Θέσεις	Τεχνικογεωλογικές Ενότητες	Πάχος Υπερκείμενων	Εκτιμώμενη Συμπεριφορά από TBC
4869-4925	ph3	<70	Ch-Wg-Sh
4925-5110	k1-k2	70-100	Wg-Ch
5110-5670	k1-k2	100-110	Wg-Ch
5670-7400	k1	110-290	Wg
7400-7627	k1-k2	20-100	Wg-Ch
7627-8410	k1-k2	100-250	Wg-Ch
8410-9065	k1	100-200	Wg
9065-9307	k1	<100	Wg-Ch
9307-9510	k1	100-180	Wg
9510-10849	k1-ph3	<100	Ch

6.2 Συμπεριφορά της βραχομάζας σύμφωνα με τα στοιχεία κατασκευής (χαρτογράφηση μετώπου).

Σ' αυτό το υποκεφάλαιο γίνεται αναφορά στη συμπεριφορά της βραχομάζας που προκύπτει από το διάγραμμα συμπεριφοράς σήραγγας για βραχομάζες (Tunnel Behaviour Chart, TBC) (V. Marinos, 2012) και στην συμπεριφορά που καταγράφηκε από την ανάδοχο του έργου κατά την διάνοιξη της σήραγγας. Το διάγραμμα TBC παρουσιάζεται στο Σχήμα 97 και Σχήμα 98 όπου θα προβληθούν και οι συμπεριφορές των επιμέρους τεχνικογεωλογικών ενοτήτων του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου και του φυλλίτη αντίστοιχα. Στο Σχήμα 96 παρουσιάζονται οι τύποι αστοχιών (V. Marinos, 2012).

Η τεχνικογεωλογική ενότητα k1 έχει δομή τεμαχώδη έως πολύ τεμαχώδη και έχει συντελεστή σ_{ci} 150 έως 200MPa σύμφωνα με την εκτίμηση της ανάδοχου κατά την κατασκευή της σήραγγας. Έτσι η βραχομάζα συμπεριφέρεται, σύμφωνα με το διάγραμμα TBC, με αστοχία σφήνας και καμινάδας για βάθη μικρότερα των 100 μέτρων και αστοχία σφήνας και ευσταθεί για πάχος υπερκείμενων μεγαλύτερα των 100 μέτρων. Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες k2 και k3 έχουν δομή πολύ τεμαχώδη έως στρωματώδη και πτυχωμένη. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή άρρηκτου βράχου σ_{ci} εκτιμάται 40 έως 70MPa. Από το διάγραμμα TBC συμπεραίνουμε ότι η συμπεριφορά που θα παρουσίαζε είναι αστοχία τύπου καμινάδας και αστοχία σφήνας για πάχος υπερκείμενων μικρότερο των 70 μέτρων. Σε θέση με πάχος υπερκείμενων πάνω από 70 μέτρα παρουσιάζει διατμητική αστοχία και αστοχία τύπου καμινάδας. Η τεχνικογεωλογική ενότητα k4 έχει κατακερματισμένη δομή και μονοαξονική θλιπτική αντοχή άρρηκτου βράχου σ_{ci} 40 έως 70MPa βάσει εκτιμήσεων από την ανάδοχο. Σε πάχος υπερκείμενων μικρότερο από 70 μέτρα παρουσιάζει συμπεριφορά καταρροής

εδάφους και σε θέση με πάχος υπερκείμενων μεγαλύτερο των 70 μέτρων παρουσιάζει αστοχία τύπου καμινάδας και διατμητικής.

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_d) Indicative limit: $\sigma_d \sim 15$ Mpa Low σ_d High σ_d		INTACT ROCK STRENGTH (σ_d) Indicative limit: $\sigma_d \sim 15$ Mpa Low σ_d High σ_d		
 INTACT OR MASSIVE Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	 1	 2	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~ 150 m	 3	 4
 BLOCKY Well interlocked undisturbed rock mass consisting of blocks formed by three orthogonal intersecting discontinuity sets	 5	 6		 7	 8
 VERY BLOCKY Interlocked, partially disturbed rock mass with multi-faceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets	 9	 10	H LIMIT: ~ 100 m	 11	 12
 BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity. It is understood that the rock mass is disturbed and anisotropy can be developed	 13	 14		 15	 16
 DISINTEGRATED Poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	 17	 18	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~ 70 m	 19	 20
 LAMINATED/FOLIATED/SHEARED Laminated or foliated and tectonically sheared weak rock mass. Foliation prevails over any other discontinuity set, resulting in complete lack of blockiness (this drawing scale is not compared with the other's drawing scales)	 21	 22		 23	 24
Tunnel rock mass behaviour types (St, Wg, Sh, Sq, Rv, Ch) as defined in figure 3 The engineering geological behaviour may be also controlled by two or three different mechanisms (e.g. Sh-Ch)					

Σχήμα 97: Διάγραμμα συμπεριφοράς βραχομάζας σε σήραγγα με την εκτιμώμενη συμπεριφορά σε μπλε κύκλους των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου που προέκυψαν από τη χαρτογράφηση των μετώπων και την κατασκευή της σήραγγας.

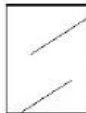
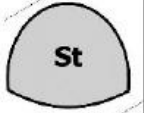
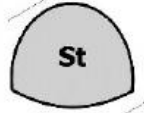
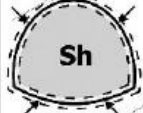
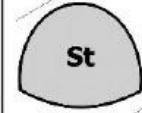
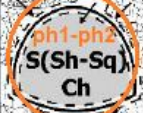
Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες ρh1 έχουν στρωματώδη, πτυχωμένη δομή και εκτιμώμενη μονοαξονική θλιπτική αντοχή άρρηκτου βράχου σ_{ci} από 1 έως

25MPa. Αν θεωρήσουμε για την εκτίμηση συμπεριφοράς ως την τιμή για το σ_{ci} ίση με 13MPa παρατηρούμε ότι είναι κάτω από το όριο των 15MPa που ορίζει αν μια βραχομάζα είναι χαμηλής ή υψηλής μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής στο διάγραμμα TBC. Έτσι σε χιλιομετρικές θέσεις όπου τα υπερκείμενα είναι μικρότερα των 70 μέτρων, εκτιμάται αστοχία σφήνας, αστοχία τύπου καμινάδας και διατμητική αστοχία. Σε χιλιομετρικές θέσεις όπου το πάχος των υπερκείμενων είναι μεγαλύτερο των 70 μέτρων εκτιμάται διατμητική αστοχία έως μεγάλες συμπίεσεις και αστοχία τύπου καμινάδας. Η τεχνικογεωλογική ενότητα rh3 παρουσιάζει έντονα φυλλοποιημένη δομή και η μονοαξονική θλιπτική αντοχή εκτιμάται από την ανάδοχο μικρότερη από 5MPa. Η συμπεριφορά που εκτιμάται σε χιλιομετρικές θέσεις μικρότερες των 70 μέτρων είναι διατμητική αστοχία και αστοχία τύπου καμινάδας. Σε χιλιομετρικές θέσεις με πάχος υπερκείμενων μεγαλύτερο των 70 μέτρων, αναμένεται συμπίεστική αστοχία.

Στον πίνακα 27 και 28 παρουσιάζονται οι εκτιμώμενοι από το διάγραμμα TBC τύποι συμπεριφοράς ανά χιλιομετρική θέση, για το Νότιο και Βόρειο κλάδο αντίστοιχα. Στους πίνακες αυτούς αναγράφονται στοιχεία σχετικά με την τεχνικογεωλογική ενότητα, το πάχος των υπερκείμενων, αλλά και με την συμπεριφορά που καταγράφηκε από την ανάδοχο του έργου.

Πίνακας 27: Συμπεριφορά βραχομάζας ανά χιλιομετρική θέση, για το Νότιο κλάδο, με την χρήση στοιχείων από την κατασκευή του έργου.

Χιλιομετρικές Θέσεις	Τεχνικογεωλογικές Ενότητες	Πάχος Υπερκείμενων	Εκτιμώμενη Συμπεριφορά από TBC	Συμπεριφορά Βραχομάζας από Ανάδοχο
4885-4922	ph2-ph3	<25	Sh-Ch	St
4922-5110	k1-k2	<110	Ch-Wg	St-Wg
5110-5403	ph2	116-136	Sh-Ch	St-Ch
5403-5640	k1	125-136	Ch-Sh	St-Wg-Ch
5640-6194	ph1	125-245	Sh-Ch	St
6194-7285	k1	100-287	Wg	St-Wg
7285-7594	k2	25-100	Ch-Wg	St-Wg
7594-7788	k1	100-255	Wg	St
7788-7971	k2	120-240	Ch-Wg	St-Wg
7971-8053	k2	80-105	Ch-Sh	St-Wg
8053-8164	k2	100-200	Ch-Wg	Wg
8164-8360	k1	170-200	Wg	St-Wg
8360-8508	k2-ph2	150-182	Ch-Wg	Ch-Wg
8508-8660	k3	180-190	Sh-Wg	Wg
8660-8940	k1-k2-ph3	145-182	Ch	St-Wg
8940-9065	k1	123-150	Wg	St
9065-9307	k1	55-105	Ch-Wg	St-Wg
9307-9743	k1	105-195	Wg	St
9743-9764	p2-ph3	160	Ch	St-Ch
9764-9831	k1	160-166	Wg	St
9831-10284	k3-ph3	134-170	Ch	St-Wg-(Ch)
10284-10499	k1	100-150	Wg	St-Wg
10499-10680	k1	80-100	Ch-Wg	St-Wg
10680-10754	ph3	80	Sq	Sq
10754-10802	k1	<80	Wg-Ch	St
10802-10827	ph3	<25	Sh-Ch	Ch

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_d) Indicative limit: $\sigma_d \sim 15$ Mpa Low σ_d High σ_d		INTACT ROCK STRENGTH (σ_d) Indicative limit: $\sigma_d \sim 15$ Mpa Low σ_d High σ_d		
 INTACT OR MASSIVE Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	 1 St	 2 St	 3 Sh	 4 St	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~100 m
 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	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~70 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 ph1-ph2 Ch-Wg Sh	 14 Ch-Wg	 15 ph1-ph2 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	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 ph3 Sh-Ch	 22 Sh-Ch	 23 ph3 Sq	 24 Sq	

Σχήμα 98: Διάγραμμα συμπεριφοράς βραχομάζας σε σήραγγα με την εκτιμώμενη συμπεριφορά σε πορτοκαλί κύκλους των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων του φυλλίτη που προέκυψαν από τη χαρτογράφηση των μετώπων και την κατασκευή της σήραγγας.

Πίνακας 28: Συμπεριφορά βραχομάζας ανά χιλιομετρική θέση, για το Βόρειο κλάδο, με την χρήση στοιχείων από την κατασκευή του έργου.

Χιλιομετρικές Θέσεις	Τεχνικογεωλογικές Ενότητες	Πάχος Υπερκείμενων	Εκτιμώμενη Συμπεριφορά από TBC	Συμπεριφορά Βραχομάζας από Ανάδοχο
4885-4895	ph3	<70	Sh-Ch	St
4895-5133	k1	70-120	Wg	St-Wg
5133-5390	ph2	120-170	Sh-Ch	St-Ch
5390-5540	k1	110-135	Wg	St-Wg
5540-5634	k2	110-125	Wg-Ch	St-Wg
5634-6200	ph1	100-240	Sh-Ch	St
6200-6221	ph1-k1	240	Ch	St
6221-7300	k1	100-300	Wg	St-Wg
7300-7612	k1	20-100	Wg-Ch	St-Wg
7612-8000	k2	100-251	Sh-Ch	St-Wg
8000-8080	k2	20-100	Wg-Ch	Wg
8080-8450	k1-k2	100-200	Wg-Ch	St-Wg
8450-8480	k2-ph2	140-150	Ch	Ch-Sh
8480-8659	k2	150-180	Wg-Ch	Wg
8659-8981	ph3	135-190	Ch-Wg	Wg-Ch
8981-9054	k1	110-135	Wg	St-Wg
9054-9340	k1	50-100	Ch-Wg	St-(Wg)
9340-9735	k1	100-185	Wg	St
9735-9855	k2-ph2	154-160	Sh-Wg	Ch
9855-10280	k2-ph3	125-160	Ch-(Wg)	St-Wg
10280-10680	k1	100-150	Wg	St
10680-10728	ph3	70-80	Sq	Sq
10728-10793	k1	<70	Wg	St-Wg
10793-10825	ph2	<70	Ch-Wg	Ch

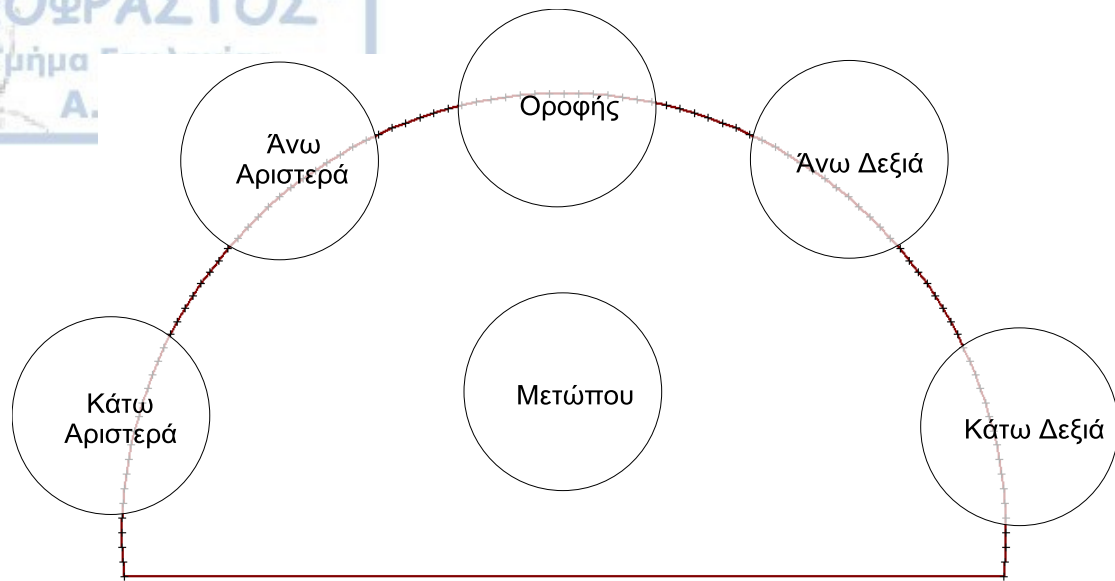
Και στους δύο πίνακες παρατηρείται ότι η συμπεριφορά που προκύπτει από την χρήση του πίνακα TBC με την καταγεγραμμένη συμπεριφορά στα φυλλάδια χαρτογράφησης των μετώπων κατά την διάνοιξη από την ανάδοχο διαφέρουν. Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι στην επεξεργασία TBC δεν ελήφθησαν υπόψη τα μέτρα υποστήριξης. Επίσης, άξιο προσοχής είναι ότι στις χιλιομετρικές θέσεις 5110 έως 5403 στο Νότιο κλάδο και 5133 έως 5390 στο Βόρειο κλάδο όπως και από τη χιλιομετρική θέση 5640 έως 6194 στο Νότιο κλάδο και 5634 έως 6221 στο Βόρειο κλάδο, παρά την ύπαρξη αξιόλογου πάχους υπερκείμενων δεν σημειώνονται έντονες συγκλίσεις. Αυτό οφείλεται στην πολύ καλή ποιότητα του φυλλίτη σε αυτές τις χιλιομετρικές θέσεις.

7^ο Κεφάλαιο: Εξέταση αστοχιών βαρυτικού χαρακτήρα (σφηνοειδείς καταπτώσεις-ολισθήσεις).

Σ' αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η ανάλυση σφηνοειδών καταπτώσεων με το πρόγραμμα Unwedge (Rocscience Corp) σε δύο ενδεικτικές περιοχές. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε πάνω σε μετρήσεις ασυνεχειών και της γεωμετρίας του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου που πραγματοποιήθηκαν κατά την κατασκευή. Ανάλογη επεξεργασία και ανάλυση πραγματοποιήθηκε και στις αναμενόμενες γεωμετρίες με τα στοιχεία της μελέτης στις ίδιες θέσεις. Η επιλογή των δύο θέσεων πραγματοποιήθηκε με βασικά κριτήρια την ύπαρξη μόνο τεμαχώδους ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου και την διαφοροποίηση γεωμετρικών χαρακτηριστικών μεταξύ μελέτης και κατασκευής. Αποφεύχθηκε η ύπαρξη φυλλίτη, λόγω του ότι εντοπίζεται με πτωχά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά και αναμένεται διαφορετική συμπεριφορά απ' αυτή της αστοχίας τύπου σφήνας.

Και στις δύο περιοχές λόγω της διακύμανσης των στοιχείων των ασυνεχειών αλλά και την έλλειψη κάποιων παραμέτρων για την εύρεση της αντοχής c και ϕ θεωρήθηκε ως τιμή για την συνοχή μηδέν και για την γωνία τριβής 40° για την στρώση του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου και 35° για τη γωνία τριβής των ασυνεχειών. Για το βάρος της βραχομάζας χρησιμοποιήθηκε η τιμή των $0,0265 \text{ MN/m}^3$. Επίσης δεν λήφθηκαν υπόψη γεωστατικές τάσεις ούτε προκαθορισμένη εμμονή. Το βήμα προχώρησης λήφθηκε 5 μέτρα και γωνία εκσκαφής ίση με μηδέν. Η πρώτη περιοχή όπου πραγματοποιήθηκε η παρούσα ανάλυση είναι από την χιλιομετρική θέση 7620 έως τη χιλιομετρική θέση 8360 στο Βόρειο κλάδο και η δεύτερη περιοχή εκτείνεται από τη χιλιομετρική θέση 9894 έως τη χιλιομετρική θέση 10000 στο Νότιο κλάδο.

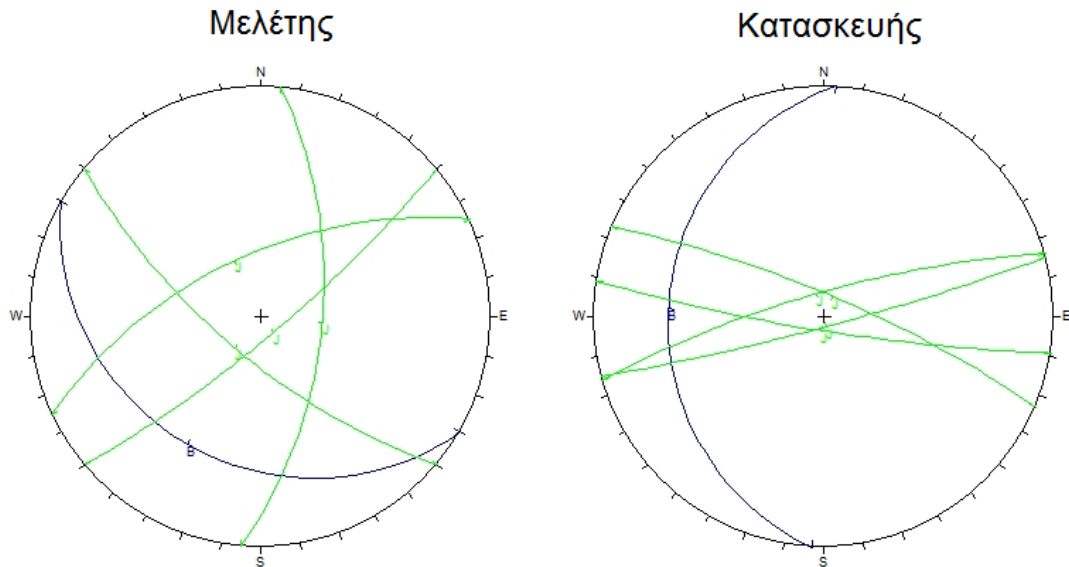
Οι σφήνες, και στις δύο περιοχές, εξετάστηκαν ανά ομάδες που καθορίζονται από την θέση τους με την διάνοιξη. Αυτές είναι οι σφήνες που προκύπτουν στο μέτωπο, αυτές που βρίσκονται πάνω ακριβώς από την διάνοιξη (οροφής) και οι σφήνες που εντοπίζονται αριστερά ή δεξιά από τη διατομή της σήραγγας. Οι τελευταίες χωρίζονται σε υποκατηγορίες ανάλογα με το αν εντοπίζονται στο ανώτερο ή κατώτερο μέρος του μετώπου. Οι θέσεις των ομάδων αυτών, πάνω στην διατομή της σήραγγας παρουσιάζονται στο Σχήμα 99.



Σχήμα 99: Διατομή σήραγγας και θέσεις των ομάδων σφηνών που θα εξεταστούν.

7.1 Χιλιομετρικές θέσεις 7620 έως 8360 στο Βόρειο κλάδο (κατασκευή και μελέτη).

Στις χιλιομετρικές θέσεις 7620 έως 8360 μέτρα του Βόρειου κλάδου χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία γεωμετρίας ασυνεχειών αλλά και του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου από 93 χαρτογραφήσεις μετώπου. Το δείγμα είναι μεγαλύτερο γιατί οι γεωμετρίες που καταγράφονταν σε κάθε μέτωπο στο φύλλο χαρτογράφησης, προήλθαν από αρκετές μετρήσεις με πυξίδα από την ανάδοχο. Όπως έχει γίνει ήδη αναφορά σ' αυτές τις χιλιομετρικές θέσεις η γεωμετρία της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου είναι 22° γωνία κλίσης και 273° διεύθυνσης κλίσης. Τα ζεύγη γωνίας κλίσης / διεύθυνσης κλίσης της γεωμετρίας των διακλάσεων είναι τα εξής: $85^\circ/165^\circ$, $83^\circ/189^\circ$, $78^\circ/347^\circ$, $79^\circ/023^\circ$. Στις ίδιες χιλιομετρικές η εκτιμώμενη γεωμετρία του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου από τη μελέτη είναι 25° γωνία κλίσης και 210° διεύθυνση κλίσης. Τα ζεύγη γωνίας κλίσης / διεύθυνσης κλίσης της γεωμετρίας των διακλάσεων που αναμένονται από την μελέτη είναι τα εξής: $80^\circ/140^\circ$, $60^\circ/335^\circ$, $70^\circ/220^\circ$, $60^\circ/095^\circ$. Τα παραπάνω συνοψίζονται στο Σχήμα 100 και στον Πίνακα 24.



Σχήμα 100: Δίκτυα Schmidt μελέτης και κατασκευής του Βόρειου κλάδου της T2 σήραγγας στις χιλιομετρικές θέσεις 7620 έως 8360 μέτρα. Με μπλε χρώμα η στρώση του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου και με πράσινο οι διακλάσεις.

Πίνακας 29: Γεωμετρικά στοιχεία ασυνεχειών από τη μελέτη και από την κατασκευή του Βόρειου κλάδου στις χιλιομετρικές θέσεις 7620 έως 8360 μέτρα.

Χιλιομετρικές Θέσεις 7620 έως 8360			
Μελέτης		Βόρειος Κλάδος Κατασκευής	
B	25/210	B	22/273
J1	80/140	J1	85/165
J2	60/335	J2	83/189
J3	70/220	J3	78/347
J4	60/095	J4	79/023

Τα στοιχεία των σφηνών που προέκυψαν από την επεξεργασία των στοιχείων της μελέτης και της κατασκευής συνοψίζονται στον Πίνακα 30 για τις σφήνες του μετώπου, στον Πίνακα 31 για τις σφήνες που αναμένονταν στην οροφή, στον Πίνακα 32 και Πίνακα 33 για τις σφήνες του άνω δεξιού και αριστερού τμήματος αντίστοιχα. Στον Πίνακα 34 και Πίνακα 35 περιέχονται τα στοιχεία για τις αναμενόμενες σφήνες στο κάτω δεξιό και αριστερό τμήμα της διατομής.

Πίνακας 30: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στο μέτωπο της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης και της κατασκευής του Βόρειου κλάδου στις χιλιομετρικές θέσεις 7620 έως 8360. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 29.

Κατασκευής			Μελέτης		
Συνδυασμοί Ασυνεχειών	Όγκος Σφήνας (m ³)	F Συντελεστής Ασφαλείας	Συνδυασμοί Ασυνεχειών	Όγκος Σφήνας (m ³)	F Συντελεστής Ασφαλείας
B, J1, J2	0,003	0,086	B, J3, J4	2,2	0,255
J1, J2, J3	0,003	0,086	B, J1, J3	2,767	0,255
J1, J2, J4	0,003	0,086	J1, J2, J3	17,697	0,255
B, J3, J4	2,581	2,077	J2, J3, J4	18,682	0,255
B, J1, J4	12,816	2,077	J1, J3, J4	8,112	0,317
B, J2, J4	18,203	2,122	B, J2, J3	2,829	0,952
B, J1, J3	56,315	2,293	B, J1, J4	20,649	1,799
J2, J3, J4	1,694	2,457	B, J2, J4	66,473	1,799
B, J2, J3	29,928	2,457	B, J1, J2	77,024	2,105
J1, J3, J4	2,119	Σταθερό	J1, J2, J4	22,639	Σταθερό

Πίνακας 31: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στην οροφή της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης και της κατασκευής του Βόρειου κλάδου στις χιλιομετρικές θέσεις 7620 έως 8360. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 29.

Κατασκευής			Μελέτης		
Συνδυασμοί Ασυνεχειών	Όγκος Σφήνας (m ³)	F Συντελεστής Ασφαλείας	Συνδυασμοί Ασυνεχειών	Όγκος Σφήνας (m ³)	F Συντελεστής Ασφαλείας
B, J1, J2	5,33	0,086	B, J1, J2	0,872	0
B, J1, J3	0,143	0	B, J2, J4	2,156	0
B, J1, J4	5,714	0	J2, J3, J4	13,869	0
B, J2, J4	1,082	0	B, J1, J4	4,274	0,123
J2, J3, J4	4,226	0	J1, J3, J4	18,305	0,123
			B, J3, J4	0,007	0,255
			B, J2, J3	0,255	0,255

Πίνακας 32: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στην άνω δεξιά πλευρά της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης της κατασκευής του Βόρειου κλάδου στις χιλιομετρικές θέσεις 7620 έως 8360. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 29.

Κατασκευής			Μελέτης		
Συνδυασμοί Ασυνεχειών	Όγκος Σφήνας (m ³)	F Συντελεστής Ασφαλείας	Συνδυασμοί Ασυνεχειών	Όγκος Σφήνας (m ³)	F Συντελεστής Ασφαλείας
J1, J2, J4	0,008	0	B, J3, J4	0,008	0
J1, J3, J4	0,449	0	J1, J3, J4	0,115	0
J1, J2, J3	1,071	0,086	B, J1, J4	2,118	0
B, J3, J4	9,308	0,149	B, J1, J3	5,473	0,255
B, J2, J3	44,525	2,457	B, J2, J4	4,559	0,404
			B, J2, J3	13,911	0,952

Πίνακας 33: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στην άνω αριστερή πλευρά της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης και κατασκευής στις χιλιομετρικές θέσεις 7620 έως 8360 του Βόρειου κλάδου. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 29.

Κατασκευής			Μελέτης		
Συνδυασμοί Ασυνεχειών	Όγκος Σφήνας (m ³)	F Συντελεστής Ασφαλείας	Συνδυασμοί Ασυνεχειών	Όγκος Σφήνας (m ³)	F Συντελεστής Ασφαλείας
J1, J2, J3	0,506	0	B, J2, J3	0,013	0
B, J2, J3	0	0,086	J1, J2, J3	2,103	0
B, J1, J3	0	0,123	B, J1, J2	0,655	0,123
B, J1, J4	0,011	0,123	B, J1, J3	3,714	0,317
B, J3, J4	0,529	0,136	J2, J3, J4	0,047	0,404
J1, J3, J4	3,251	0,136	B, J2, J4	0,969	0,404
B, J1, J2	1,33	0,431	J1, J2, J4	5,02	0,885
J1, J2, J4	30,368	0,431	B, J3, J4	22,74	1,2
B, J2, J4	9,4	4,614			

Πίνακας 34: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στην κάτω δεξιά πλευρά της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης και κατασκευής στις χιλιομετρικές θέσεις 7620 έως 8360 του Βόρειου κλάδου. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 29.

Κατασκευής			Μελέτης		
Συνδυασμοί Ασυνεχειών	Όγκος Σφήνας (m ³)	F Συντελεστής Ασφαλείας	Συνδυασμοί Ασυνεχειών	Όγκος Σφήνας (m ³)	F Συντελεστής Ασφαλείας
J1, J3, J4	0,042	0,149	J1, J2, J3	0,008	0,255
J2, J3, J4	0,47	0,149	J1, J3, J4	0	0,255
B, J1, J2	0,016	2,077	J1, J2, J4	0,039	0,404
B, J1, J4	0,27	2,077	J2, J3, J4	1,401	0,404
B, J2, J4	2,723	2,122	B, J1, J2	0,086	2,105
B, J1, J3	17,106	2,293	B, J1, J3	0,001	2,105
J1, J2, J3	0,01	2,457	B, J1, J4	0,007	2,105
			B, J2, J3	7,36	Σταθερό
			B, J3, J4	23,965	Σταθερό

Πίνακας 35: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στην κάτω αριστερή πλευρά της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης στις χιλιομετρικές θέσεις 7620 έως 8360. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 29.

Συνδυασμοί Ασυνεχειών	Όγκος Σφήνας (m ³)	F Συντελεστής Ασφαλείας	Συνδυασμοί Ασυνεχειών	Όγκος Σφήνας (m ³)	F Συντελεστής Ασφαλείας
J1, J2, J4	0	0,086	B, J1, J3	0	0,123
J2, J3, J4	0,008	0,136	J1, J2, J3	1,151	0,123
J1, J2, J3	0,151	0,431	B, J1, J4	0,001	0,404
B, J1, J4	2,937	1,082	J1, J2, J4	0,026	0,404
J1, J3, J4	0,005	1,082	J2, J3, J4	0,038	1,2
B, J1, J3	7,26	40,715	B, J2, J4	0,056	2,514
B, J2, J3	16,33	Σταθερό	B, J1, J2	0,001	5,491
			B, J2, J3	4,375	15,55

Οι σφήνες που προκύπτουν στο μέτωπο της σήραγγας, με βάση τα στοιχεία της μελέτης που έχουν συντελεστή ασφαλείας μικρότερο του ένα, είναι μεγαλύτερες σε όγκο και βάρος από τις αντίστοιχες που προκύπτουν από τα στοιχεία της κατασκευής. Για παράδειγμα από τα στοιχεία της μελέτης προκύπτει ότι μέγιστη σφήνα που αναμένεται να αστοχήσει στο μέτωπο της σήραγγας έχει όγκο 18,682 m³ και η αντίστοιχη σφήνα που προέκυψε με τα στοιχεία της κατασκευής του Βόρειου κλάδου έχει όγκο 0,003 m³. Παρόμοιο συμπέρασμα προκύπτει και για τις σφήνες της οροφής. Ο μέγιστος όγκος σφήνας που αστοχεί, με τα στοιχεία της μελέτης, έχει τιμή 18,305 m³ και η

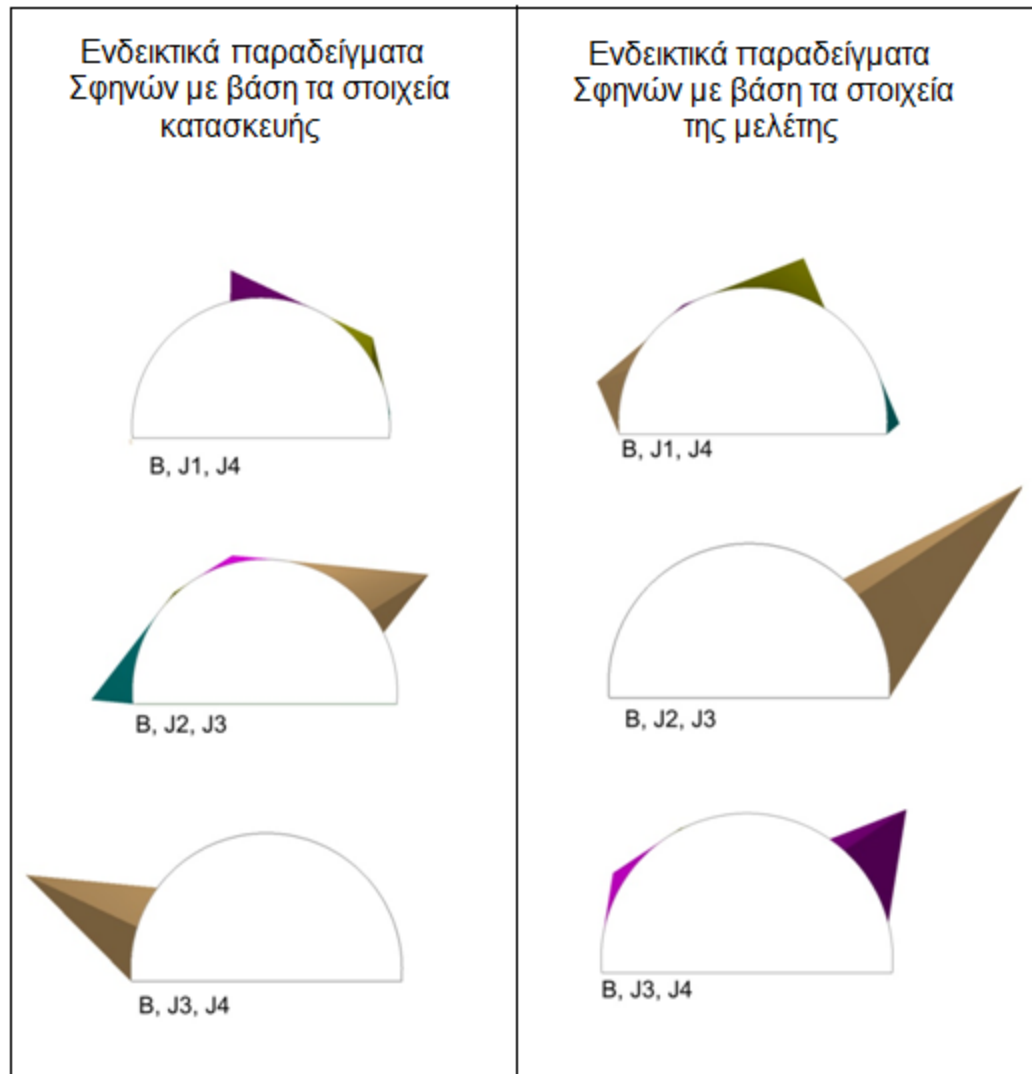
αντίστοιχη με τα στοιχεία της κατασκευής $5,714 \text{ m}^3$. Στις σφήνες στο άνω δεξιό τμήμα της μελέτης είναι επίσης συγκριτικά πιο μεγάλες σε όγκο από ότι οι σφήνες που προκύπτουν από τα στοιχεία της κατασκευής. Αντίθετα στο άνω αριστερό τμήμα εντοπίζεται σφήνα με μέγιστο όγκο $30,368 \text{ m}^3$ που είναι μεγαλύτερος από την αντίστοιχη της μελέτης. Στο κάτω αριστερό και δεξί τμήμα οι σφήνες που αστοχούν είναι μεγαλύτερες τις μελέτης από αυτές που προέκυψαν από τα στοιχεία της κατασκευής. Οι μέσοι όροι των όγκων των σφηνών που αστοχούν σε κάθε τμήμα της σήραγγας, μαζί και με τις μέγιστες τιμές τους συνοψίζονται στον Πίνακα 36.

Πίνακας 36: Μέσοι όροι - μέγιστες τιμές των όγκων των σφηνών στο τμήμα χιλιομετρικών θέσεων 7620 έως 8360. Αναφέρονται οι σφήνες που προέκυψαν με τα στοιχεία της μελέτης αλλά και με τα στοιχεία κατασκευής του Βόρειου κλάδου.

Τμήμα διατομής	Με στοιχεία κατασκευής του Βόρειου κλάδου		Με στοιχεία της μελέτης	
	Μέσος Όρος Όγκου(m^3)	Μέγιστος Όγκος(m^3)	Μέσος Όρος Όγκου(m^3)	Μέγιστος Όγκος(m^3)
Μέτωπο	0,003	0,003	8,715	18,682
Οροφή	3,299	5,714	5,677	18,305
Άνω Δεξιά	2,709	9,305	4,364	13,911
Άνω Αριστερά	4,499	30,368	1,789	5,02
Κάτω Δεξιά	0,256	0,47	0,362	1,401
Κάτω Αριστερά	0,053	0,151	0,295	1,151
Σύνολο	1,803	30,368	3,216	18,682

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 36 οι σφήνες κατά τον μέσο όρο είναι μεγαλύτερες στην επεξεργασία των στοιχείων της μελέτης αλλά η μέγιστη σφήνα εντοπίζεται στην επεξεργασία με τα δεδομένα της κατασκευής. Στην περίπτωση της μέγιστης σφήνας ($30,368 \text{ m}^3$) με βάση τα στοιχεία της κατασκευής ο συντελεστής ασφαλείας είναι 0,431 ενώ ο συντελεστής ασφαλείας F σε σφήνα που προκύπτει από τα στοιχεία κατασκευής με όγκο μεγαλύτερο από $18,305 \text{ m}^3$ είναι 0,123. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η απαιτούμενη πίεση που χρειάζεται να ασκηθεί στην πρώτη περίπτωση να είναι 0,02MPa για να αποτραπεί η αστοχία, ενώ στην δεύτερη 0,04MPa. Εφόσον η μέγιστη σφήνα με βάση τα στοιχεία της κατασκευής απαιτεί μικρότερη πίεση υποστήριξης από σφήνες που προκύπτουν με τα στοιχεία της μελέτης και κατά δεύτερον ο μέσος όρος των όγκων των σφηνών της μελέτης είναι μεγαλύτερος από αυτών της κατασκευής, μπορούμε να βγάλουμε το συμπέρασμα ότι στην μελέτη αναγράφονται στοιχεία ασυνεχειών τα οποία οδηγούν σε υπερεκτιμημένες σφήνες, και απαίτηση πιο βαριών μέτρων υποστήριξης. Ενδεικτικά παραδείγματα των σφηνών που προκύπτουν

από τα στοιχεία της μελέτης και της κατασκευής παρουσιάζονται στο Σχήμα 101.



Σχήμα 101: Σύνολο σφηνών, με τα στοιχεία της κατασκευής του Βόρειου κλάδου στις χιλιομετρικές θέσεις 7620 έως 8360. Καταγράφονται και οι συνδυασμοί ασυνεχειών με τους οποίους προκύπτουν.

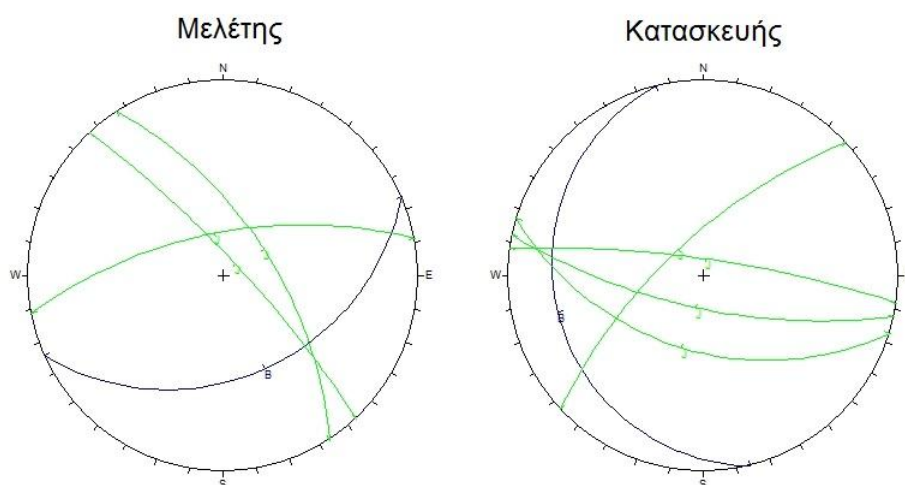
7.2 Χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000 στο Νότιο κλάδο (κατασκευή και μελέτη).

Στις χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000 μέτρα του Νότιου κλάδου χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία γεωμετρίας ασυνεχειών αλλά και του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου από 12 χαρτογραφήσεις μετώπου. Το δείγμα είναι μεγαλύτερο όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως γιατί οι

γεωμετρίες που καταγράφονταν σε κάθε μέτωπο στο φύλλο χαρτογράφησης προήλθαν από αρκετές μετρήσεις από την ανάδοχο του έργου. Όπως έχει γίνει ήδη αναφορά σε αυτές τις χιλιομετρικές θέσεις η γεωμετρία του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου είναι 15° γωνία κλίσης και 256° διεύθυνσης κλίσης. Τα ζεύγη γωνίας κλίσης / διεύθυνσης κλίσης της γεωμετρίας των διακλάσεων είναι τα εξής: $48^\circ/197^\circ$, $71^\circ/192^\circ$, $69^\circ/317^\circ$, $80^\circ/008^\circ$. Στις ίδιες χιλιομετρικές η εκτιμώμενη γεωμετρία της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου από την μελέτη είναι 35° γωνία κλίσης και 156° διεύθυνση κλίσης. Τα ζεύγη γωνίας κλίσης / διεύθυνσης κλίσης της γεωμετρίας των διακλάσεων που αναμένονται από την μελέτη είναι τα εξής: $65^\circ/349^\circ$, $80^\circ/047^\circ$, $62^\circ/057^\circ$. Τα παραπάνω συνοψίζονται στο Σχήμα 102 και στον Πίνακα 37.

Πίνακας 37: Γεωμετρικά στοιχεία ασυνεχειών από τη μελέτη και από την κατασκευή του Νότιου κλάδου στις χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000 μέτρα.

Χιλιομετρικές Θέσεις 9894 έως 10000			
Μελέτης		Νότιος κλάδος κατασκευής	
B	35/156	B	15/256
J1	65/349	J1	48/197
J2	80/047	J2	71/192
J3	62/057	J3	69/317
		J5	80/008



Σχήμα 102: Δίκτυα Schmidt μελέτης και κατασκευής του Νότιου κλάδου στις χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000 μέτρα. Με μπλε χρώμα η στρώση του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου και με πράσινο οι διακλάσεις.

Τα στοιχεία των σφηνών που προέκυψαν από την επεξεργασία των στοιχείων της μελέτης και της κατασκευής συνοψίζονται στον Πίνακα 38 για τις σφήνες του μετώπου, στον Πίνακα 39 για τις σφήνες που αναμένονταν στην οροφή, στον Πίνακα 40 και Πίνακα 41 για τις σφήνες του άνω δεξιού και αριστερού τμήματος αντίστοιχα. Στον Πίνακα 42 και Πίνακα 43 περιέχονται τα στοιχεία για τις αναμενόμενες σφήνες στο κάτω δεξιό και αριστερό τμήμα της διατομής.

Πίνακας 38: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στο μέτωπο της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης και της κατασκευής στις χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000 του Νότιου κλάδου. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 37.

Κατασκευής			Μελέτης		
Συνδυασμοί Ασυνεχειών	Όγκος Σφήνας (m ³)	F Συντελεστής Ασφαλείας	Συνδυασμοί Ασυνεχειών	Όγκος Σφήνας (m ³)	F Συντελεστής Ασφαλείας
J2, J3, J4	0,507	0,387	B, J1, J2	6,181	Σταθερό
J1, J3, J4	0,536	0,387	B, J1, J2	7,022	Σταθερό
B, J3, J4	0,551	0,387	B, J2, J3	3,528	Σταθερό
J1, J2, J3	39,603	0,999	J1, J2, J3	3,114	Σταθερό
B, J2, J3	50,682	0,999			
B, J1, J3	118,127	1,333			
B, J2, J4	348,074	3,774			
B, J1, J2	416,564	3,891			
B, J1, J4	587,712	3,891			
J1, J2, J4	1308,291	18,978			

Πίνακας 39: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στην οροφή της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής στις χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000 του Νότιου κλάδου. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 37.

Κατασκευής		
Συνδυασμοί Ασυνεχειών	Όγκος Σφήνας (m ³)	F Συντελεστής Ασφαλείας
B, J1, J4	0	0
B, J2, J4	0	0
J1, J2, J4	0	0
B, J1, J2	0	0,241
B, J3, J4	2,784	0,387
B, J2, J3	3,615	0,999
B, J1, J3	4,861	1,333

Πίνακας 40: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στο άνω δεξιό τμήμα της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης και της κατασκευής στις χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000 του Νότιου κλάδου. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 37.

Κατασκευής			Μελέτης		
Συνδυασμοί Ασυνεχειών	Όγκος Σφήνας (m ³)	F Συντελεστής Ασφαλείας	Συνδυασμοί Ασυνεχειών	Όγκος Σφήνας (m ³)	F Συντελεστής Ασφαλείας
J2, J3, J4	33,214	0,387	B, J2, J3	0	0,123
J1, J2, J3	41,157	0,999	J1, J2, J3	1,765	0,327
B, J2, J4	353,464	3,774	B, J1, J2	3,543	0,327
B, J1, J4	112,462	3,891	B, J1, J2	8,053	0,425
B, J1, J2	270,66	3,891			
J1, J2, J4	1375,461	18,978			

Πίνακας 41: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στο άνω αριστερό τμήμα της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης και της κατασκευής στις χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000 του Νότιου κλάδου. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 37.

Κατασκευής			Μελέτης		
Συνδυασμοί Ασυνεχειών	Όγκος Σφήνας (m ³)	F Συντελεστής Ασφαλείας	Συνδυασμοί Ασυνεχειών	Όγκος Σφήνας (m ³)	F Συντελεστής Ασφαλείας
B, J3, J4	0,434	0	B, J1, J2	4,808	0,123
J1, J3, J4	1,215	0	J1, J2, J3	6,09	0,123
J2, J3, J4	1,133	0	B, J1, J2	7,373	0,372
B, J2, J3	0,336	0,241	B, J2, J3	522,167	1,572
J1, J2, J3	0,592	0,241			
B, J1, J3	0,257	0,63			

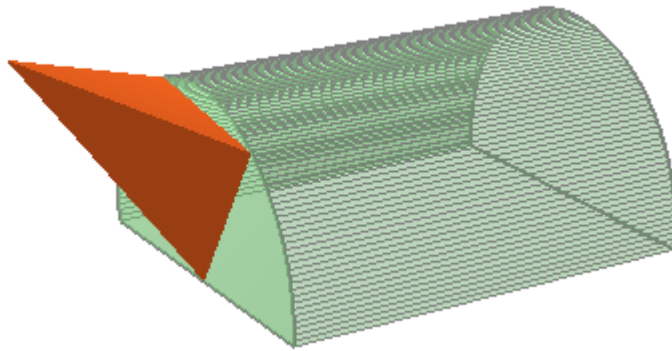
Πίνακας 42: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στο κάτω δεξιό τμήμα της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της κατασκευής του Νότιου κλάδου στις χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000 του Νότιου κλάδου. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 37.

Κατασκευής		
Συνδυασμοί Ασυνεχειών	Όγκος Σφήνας (m ³)	F Συντελεστής Ασφαλείας
J1, J3, J4	8,578	0,387
B, J1, J3	6,901	Σταθερό

Πίνακας 43: Συνδυασμοί ασυνεχειών που δημιουργούν αστοχία τύπου σφήνας στο κάτω αριστερό τμήμα της σήραγγας, σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης και της κατασκευής στις χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000. Τα στοιχεία των ασυνεχειών συνοψίζονται στον Πίνακα 37.

Κατασκευής			Μελέτης		
Συνδυασμοί Ασυνεχειών	Όγκος Σφήνας (m ³)	F Συντελεστής Ασφαλείας	Συνδυασμοί Ασυνεχειών	Όγκος Σφήνας (m ³)	F Συντελεστής Ασφαλείας
J2, J3, J4	1,981	Σταθερό	J1, J2, J3	0,001	0,372
B, J3, J4	3,938	Σταθερό	B, J1, J2	0,017	1,513
J1, J2, J3	3,946	Σταθερό	B, J1, J2	0,365	1,572
J1, J3, J4	4,14	Σταθερό			
B, J2, J3	5,294	Σταθερό			
B, J1, J4	61,891	Σταθερό			
B, J1, J2	73,474	Σταθερό			
B, J2, J4	153,834	Σταθερό			
J1, J2, J4	525,803	Σταθερό			

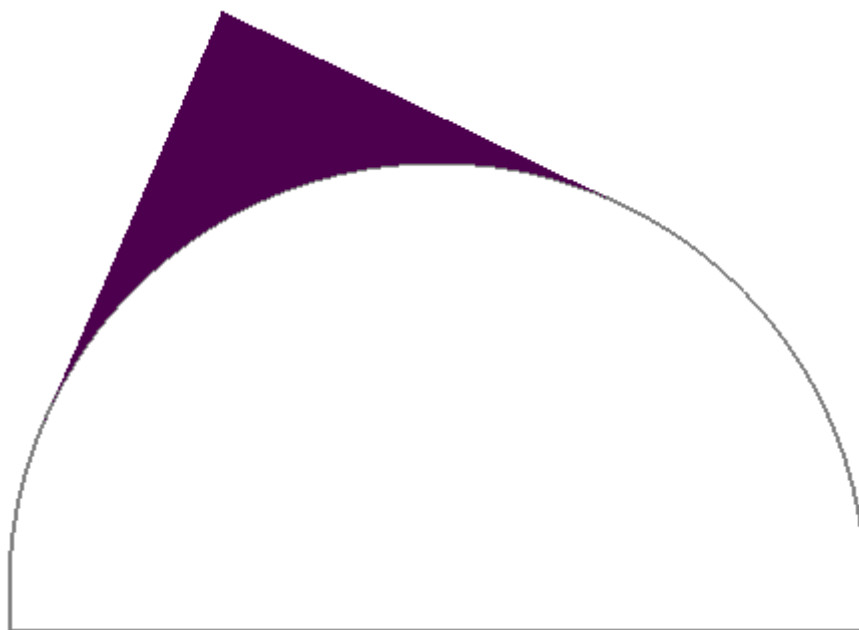
Σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης δεν αναμένεται αστοχία τύπου σφήνας από το μέτωπο και την οροφή, κάτι που έρχεται σε αντίθεση με τις σφήνες που προέκυψαν από τα στοιχεία κατασκευής. Σύμφωνα με τις πληροφορίες της κατασκευής αναμένονταν μέγιστη σφήνα από το μέτωπο με όγκο 50,682 m³ που αστοχεί οριακά με συντελεστή ασφαλείας F 0,999. Λόγω αυτής της οριακής κατάστασης η απαιτούμενη πίεση που χρειάζεται να εφαρμοστεί είναι μικρότερη των 0,01MN. Στο άνω δεξιό τμήμα της διατομής οι σφήνες που προκύπτουν από την επεξεργασία των δεδομένων της κατασκευής είναι αρκετά μεγαλύτερες από αυτές της μελέτης. Ο μέγιστος όγκος, σε αυτό το τμήμα, με την χρήση των στοιχείων της κατασκευής είναι 41,157 m³, ενώ ο μέγιστος όγκος με τα στοιχεία της μελέτης είναι 8,053m³. Στο τμήμα άνω αριστερά τα στοιχεία της μελέτης οδηγούν σε σφήνες που έχουν μεγαλύτερο όγκο από ότι με τα στοιχεία της κατασκευής του Νότιου κλάδου. Στο κάτω δεξιό τμήμα η επεξεργασία με τα στοιχεία της μελέτης δεν εντοπίζει αστοχία τύπου σφήνας αντίθετα με την επεξεργασία των στοιχείων κατασκευής. Στον Πίνακα 44 παρουσιάζεται ο μέσος όρος του όγκου των σφηνών ανά τμήμα της διατομής και με τα στοιχεία της μελέτης και της κατασκευής. Σ' αυτό το κομμάτι των χιλιομετρικών θέσεων η μελέτη προέβλεπε μικρότερες σφήνες από ότι οδηγεί η επεξεργασία των στοιχείων της κατασκευής. Στο Σχήμα 103 και στο Σχήμα 104 παρουσιάζονται δύο ενδεικτικές βαρυτικές αστοχίες.



Σχήμα 103: Αστοχία τύπου σφήνας στο μέτωπο της σήραγγας στις χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000 με βάση τα στοιχεία κατασκευής. Η σφήνα οριοθετείται από τις ασυνέχειες B ($15^{\circ}/256^{\circ}$), J2 ($71^{\circ}/192^{\circ}$) και J3 ($69^{\circ}/317^{\circ}$)

Πίνακας 44: Μέσοι όροι - μέγιστες τιμές των όγκων των σφηνών στο τμήμα χιλιομετρικών θέσεων 9894 έως 10000. Αναφέρονται οι σφήνες που προέκυψαν με τα στοιχεία της μελέτης αλλά και με τα στοιχεία κατασκευής του Νότιου κλάδου.

Τμήμα διατομής	Με στοιχεία της μελέτης		Με στοιχεία κατασκευής του Βόρειου κλάδου	
	Μέσος Όρος Όγκου	Μέγιστος Όγκος	Μέσος Όρος Όγκου	Μέγιστος Όγκος
Μέτωπο			18,376	50,682
Οροφή			1,067	3,615
Άνω Δεξιά	3,340	8,053	37,186	41,157
Άνω Αριστερά	6,090	7,373	0,661	1,215
Κάτω Δεξιά			8,578	8,578
Κάτω Αριστερά	0,128	0,365		



Σχήμα 104: Αστοχία τύπου σφήνας στο μέτωπο της σήραγγας στις χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000 με βάση τα στοιχεία της μελέτης. Η σφήνα οριοθετείται από τις ασυνέχειες J1(65°/349°), J2 (80°/047°) και J3 (62°/057°)

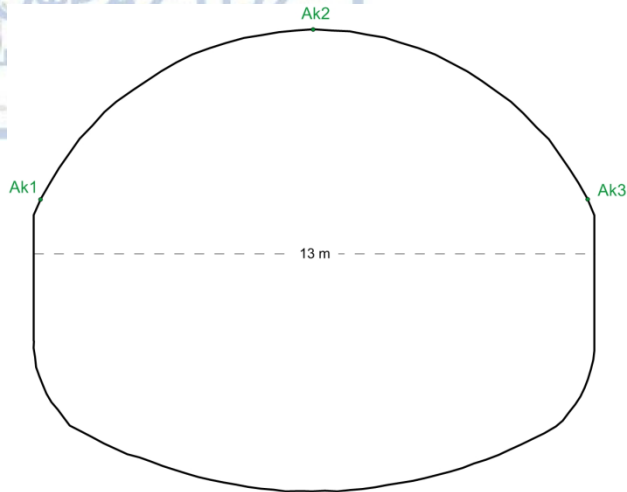
8^ο Κεφάλαιο: Ανάστροφη ανάλυση διατμητικών αστοχιών

Σ' αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται δύο ανάστροφες αναλύσεις στη σήραγγα σε περιβάλλον φυλλιτών, με τη χρήση του προγράμματος Phase2 v8 της Rocscience. Ο στόχος του συγκεκριμένου κεφαλαίου είναι η παρουσίαση της διαδικασίας αναλύσεων σηράγγων και η σύγκριση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης με τις μετρήσεις των μετακινήσεων (ακτινικών μετατοπίσεων) που πραγματοποίησε η ανάδοχος του έργου. Επίσης θα εξεταστεί και πως επηρεάζει τις μετακινήσεις στο πάνω τμήμα της στέψης, η ύπαρξη ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου πάνω από την σήραγγα, σε διάφορες αποστάσεις και κλίσεις.

8.1 Επιλογή των θέσεων-σταθμών μέτρησης προς ανάλυση

Για την ανάλυση στο Phase2 επιλέχτηκαν δύο θέσεις, μία από το Βόρειο κλάδο και μία από το Νότιο κλάδο. Για την εύρεση των δύο θέσεων εξετάστηκαν τα αρχεία με τις καταγραφές των μετακινήσεων που μετρήθηκαν από τους τοπογραφικούς στόχους που τοποθέτησε η ανάδοχος, κατά την κατασκευή του έργου. Βασικό κριτήριο για την επιλογή είναι να υπάρχουν αξιόλογες μετακινήσεις, άνω των 5cm, και να είναι οι μέγιστες για κάθε θέση για τον αντίστοιχο κλάδο. Στο Βόρειο κλάδο τέτοια θέση εντοπίζεται στη χιλιομετρική θέση 10725 και στο Νότιο κλάδο εντοπίζεται στη χιλιομετρική θέση 10705. Οι δύο θέσεις είναι αρκετά κοντινές και ο φυλλίτης εγκιβωτίζεται μεταξύ δύο στρωμάτων ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου, όπως παρατηρείται και στο Σχήμα 74γ και Σχήμα 75γ.

Μετά την επιλογή των θέσεων, κατασκευάστηκε διάγραμμα με τις μετακινήσεις στο οριζόντιο και στο κάθετο επίπεδο, ανά ημερομηνία, αφού πρώτα τροποποιήθηκαν κατάλληλα τα δεδομένα. Η θέση των ακίδων σε σχέση με την σήραγγα παρουσιάζονται στο Σχήμα 105. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιήθηκε και στις δύο θέσεις και προέκυψε το Σχήμα 106 για τις οριζόντιες μετακινήσεις και Σχήμα 107 για τις κατακόρυφες μετακινήσεις, για την χιλιομετρική θέση 10725 του Βόρειου κλάδου και αντίστοιχα το Σχήμα 108 και Σχήμα 109 για την χιλιομετρική θέση 10705 του Νότιου κλάδου. Υπολογίστηκε η απόλυτη μετατόπιση των ακίδων σε κάθε θέση, στοιχείο που χρησιμοποιείται παρακάτω στις ανάστροφες αναλύσεις. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 45 και Πίνακα 46 αντίστοιχα για τις θέσεις στο Βόρειο και Νότιο κλάδο.



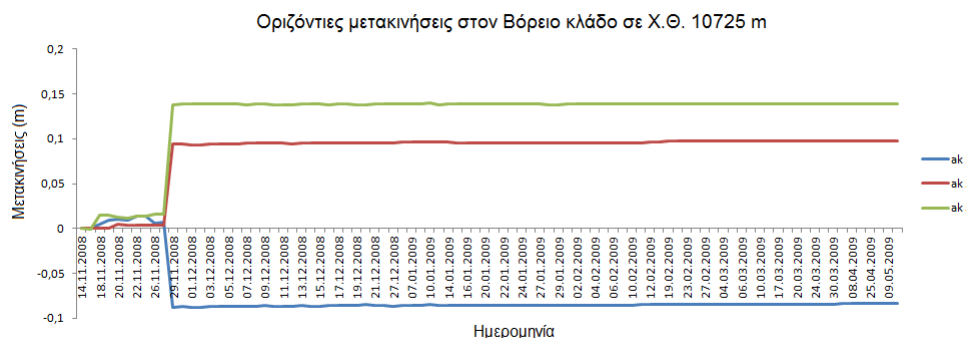
Σχήμα 105: Διατομή σήραγγας T2 και η θέση των ακίδων πάνω σε αυτή, για τις δύο θέσεις που θα πραγματοποιηθούν οι αναλύσεις.

Πίνακας 45: Μέγιστο μέτρο μετακινήσεων για κάθε ακίδα στην χιλιομετρική θέση 10725 του Βόρειου κλάδου.

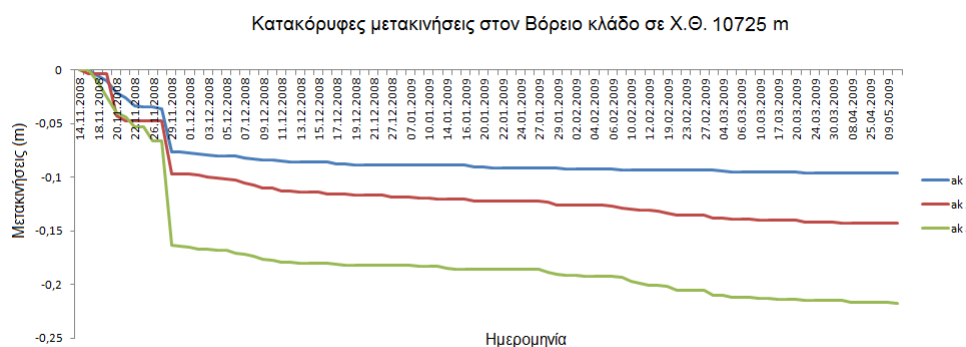
Μέτρο μέγιστων μετακινήσεων από τις μετρήσεις της αναδόχου στη Χ.Θ. 10725 του Βόρειου κλάδου		
ak1	ak2	ak3
0,13m	0,17m	0,26m

Πίνακας 46: Μέγιστο μέτρο μετακινήσεων για κάθε ακίδα στην χιλιομετρική θέση 10705 του Νότιου κλάδου.

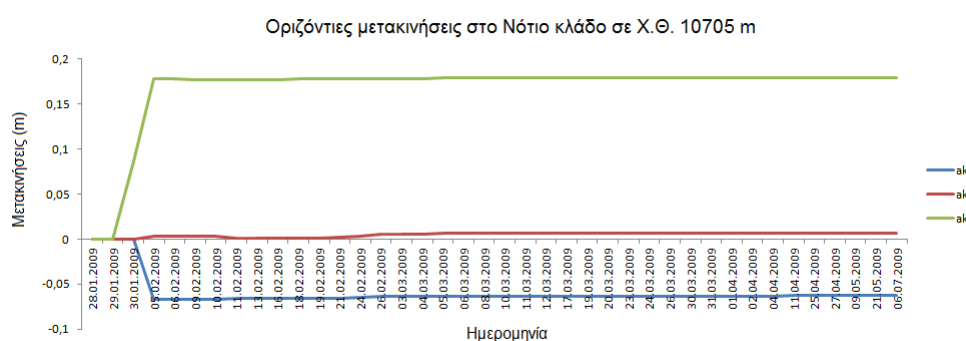
Μέτρο μέγιστων μετακινήσεων από τις μετρήσεις της αναδόχου στη Χ.Θ. 10705 του Νότιου κλάδου		
ak1	ak2	ak3
0,139m	0,244m	0,184m



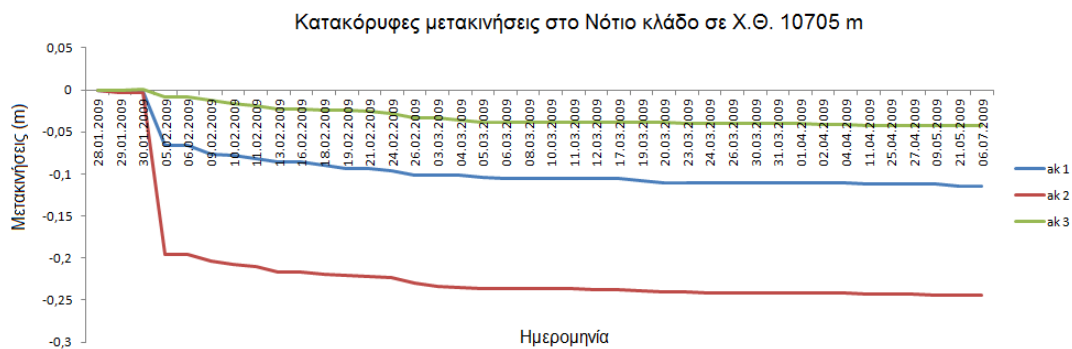
Σχήμα 106: Οριζόντιες μετακινήσεις στους τοπογραφικούς στόχους στη χιλιομετρική θέση 10725 του Βόρειου κλάδου, ανά ημερομηνία. Η θετική φορά μετατόπισης είναι από δεξιά προς τα αριστερά.



Σχήμα 107: Κατακόρυφες μετακινήσεις στους τοπογραφικούς στόχους στη χιλιομετρική θέση 10725 του Βόρειου κλάδου, ανά ημερομηνία. Η θετική φορά μετατόπισης είναι από κάτω προς τα πάνω.

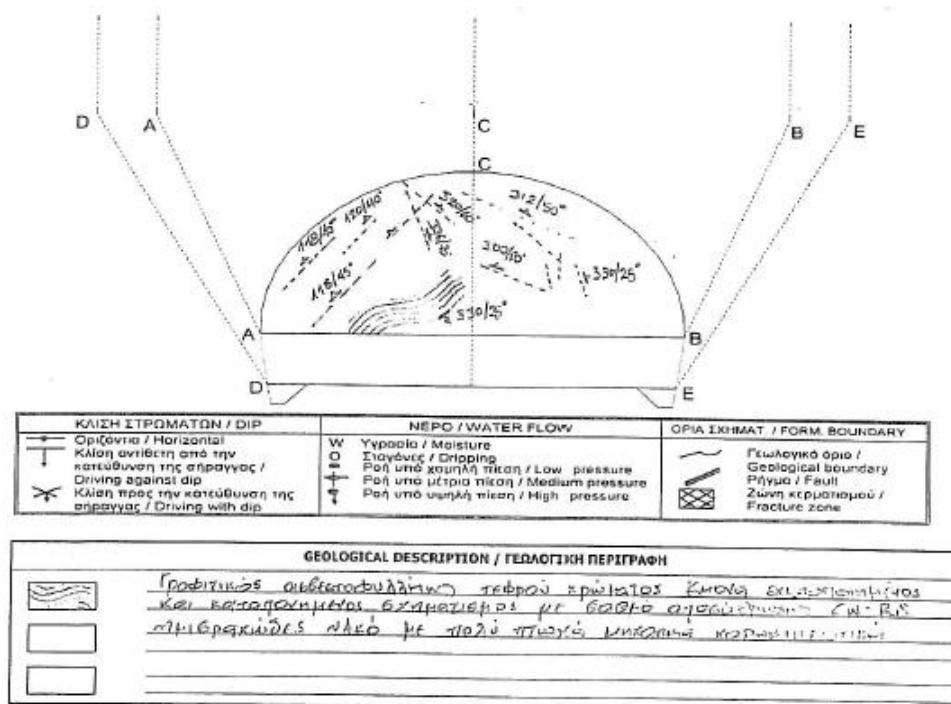


Σχήμα 108: Οριζόντιες μετακινήσεις στους τοπογραφικούς στόχους στη χιλιομετρική θέση 10705 του Νότιου κλάδου, ανά ημερομηνία. Η θετική φορά μετατόπισης είναι από δεξιά προς τα αριστερά.

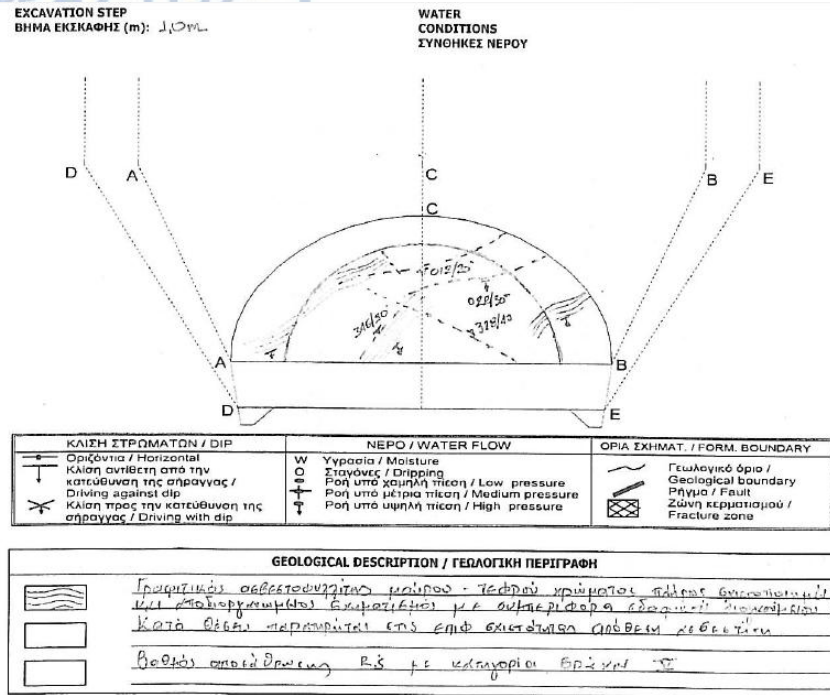


Σχήμα 109: Κατακόρυφες μετακινήσεις στους τοπογραφικούς στόχους στη χιλιομετρική θέση 10705 του Νότιου κλάδου, ανά ημερομηνία. Η θετική φορά μετατόπισης είναι από κάτω προς τα πάνω.

Στις αναλύσεις που ακολουθούν χρησιμοποιούνται τα μέγιστα μέτρα των διανυσμάτων των μετακινήσεων. Οι ενδιάμεσες μετρήσεις δεν θα χρησιμοποιηθούν λόγω της έλλειψης δεδομένων σχετικά με την απόσταση από το μέτωπο αλλά και της έλλειψης του ημερολόγιου εκσκαφής. Έτσι δεν είναι ακριβώς γνωστές οι ακριβείς ημερομηνίες, για τα διάφορα στάδια εκσκαφής, και δεν μπορεί να ερμηνευτούν με βεβαιότητα οι μετακινήσεις που παρουσιάζονται στα παραπάνω διαγράμματα (Σχήμα 106, Σχήμα 107, Σχήμα 108, Σχήμα 109). Στο Σχήμα 110 και Σχήμα 111 παρουσιάζεται τμήμα του Δελτίου Χαρτογράφησης του Μετώπου, για το Βόρειο και Νότιο κλάδο αντίστοιχα.



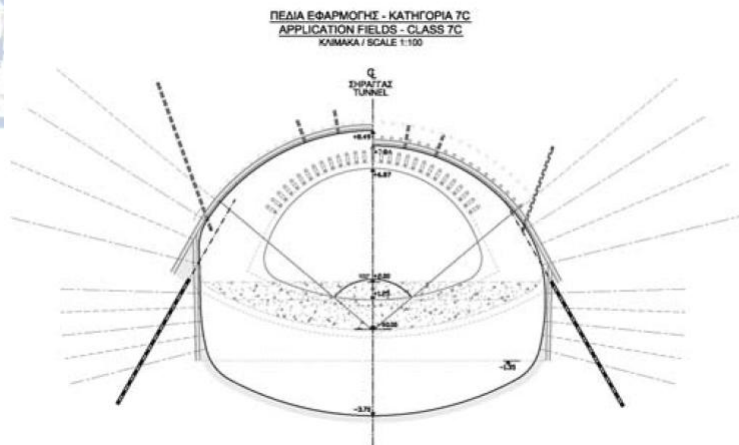
Σχήμα 110: Σχήμα 94: Τμήμα του Δελτίου Χαρτογράφησης του Μετώπου, για χιλιομετρική θέση κοντινή στη χιλιομετρική θέση 10725 στο Βόρειο κλάδο.



Σχήμα 111: Τμήμα του Δελτίου Χαρτογράφησης του Μετώπου, για χιλιομετρική θέση κοντινή στη χιλιομετρική θέση 10705 στο Νότιο κλάδο.

8.2 Διαδικασία κατασκευής του μοντέλου και ανάλυσης στο πρόγραμμα Phase2

Πριν γίνει ο σχεδιασμός του μοντέλου στο πρόγραμμα Phase2 v8 έπρεπε να καθοριστεί η διατομή που χρησιμοποιήθηκε στην κάθε θέση. Η διατομή με τα μέτρα υποστήριξης που χρησιμοποιήθηκε και στις δύο θέσεις συνοψίζεται στον Πίνακα 47, όπως ακριβώς παρουσιάζεται στην μελέτη. Στο Σχήμα 112 παρουσιάζεται και η διατομή όπως εμφανίζεται στην μελέτη. Από τα στοιχεία που παρουσιάζονται στο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν η ομπρέλα των δοκών προπορείας (forepolling), τα αγκύρια, οι μικροπάσσαλοι, τα πλαίσια με το εκτοξευμένο σκυρόδεμα και η διευρύνσεις θεμελίωσης των πλαισίων. Ο τρόπος που τοποθετήθηκαν στο μοντέλο θα παρουσιαστεί αναλυτικά παρακάτω.



Σχήμα 112: Διατομή με τα μέτρα υποστήριξης, σύμφωνα με την μελέτη κατασκευής στη χιλιομετρική θέση 10725 του Βόρειου κλάδου και στη χιλιομετρική θέση 10705 του Νότιου κλάδου.

Πίνακας 47: Στοιχεία μελέτης για τα μέτρα υποστήριξης που χρησιμοποιήθηκαν στη χιλιομετρική θέση 10725 του Βόρειου κλάδου και στη χιλιομετρική θέση 10705 του Νότιου κλάδου.

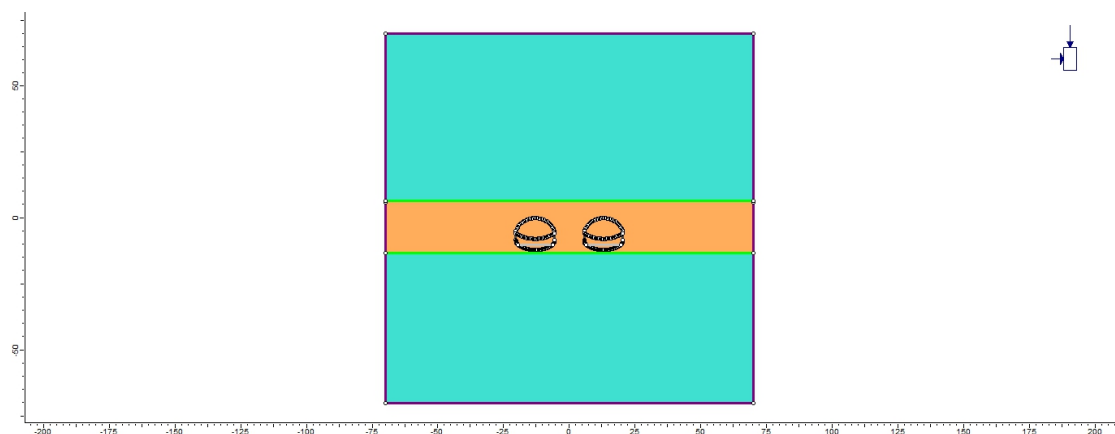
Excavation and Support Class 7C		Main Tunnel
Application Criteria (indicative)		Limestones of RMT - 4 (weak to disturbed) at overburden heights $60m < H \leq 150m$ (face stability failure is predominant) GSI 25 -15 Serpentinized peridotites of RMT - 13 at overburden heights $80m < H < 150m$ GSI 25 -15 Cataclasites and disintegrated serpentinized peridotites (ST 2) at overburden height $25m < H \leq 150m$. GSI < 15
Heading	Round length	up to 1.00m
	Shotcrete	30cm with reinforcement fibres, 1xT188, 1xØ12/15
	Steel sets	HEB 160
	Rock bolts	Self drilling rock bolts, L=9.00m, 200 kN
	Forepoling - 100°	Steel tubes Ø114mm, L=12.00m, overlap. 6.00m
	Micro-piles	pair of steel tubes Ø114mm, L=6.00m, grouted
	Additional measures	- 5cm shotcrete on face, with reforc. fibres - fibreglass bolts, L=12.00m, 250 kN - temporary shotcrete invert 30cm, reforc. 2xT188 - Elephant feet
Bench	Round length	up to 2.00m
	Shotcrete	30cm with reinforcement fibres, 1xT188, 1xØ12/15
	Steel sets	HEB 160
	Rock bolts	Self drilling rock bolts, L=6.00m, 200 kN
Invert	Round length	up to 4.00m
	Shotcrete	30cm, with reinforcement 1xT188, 1xØ12/15
	Additional measures	Steel sets HEB 160 (optional)*

Το μοντέλο περιέχει δύο τεχνικογεωλογικές ενότητες. Η πρώτη είναι ο ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος (k1) με καλές τεχνικογεωλογικές ιδιότητες και η δεύτερη είναι ο φυλλίτης (ph3) με πολύ πτωχά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά. Τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών αυτών συνοψίζονται στον Πίνακα 48.

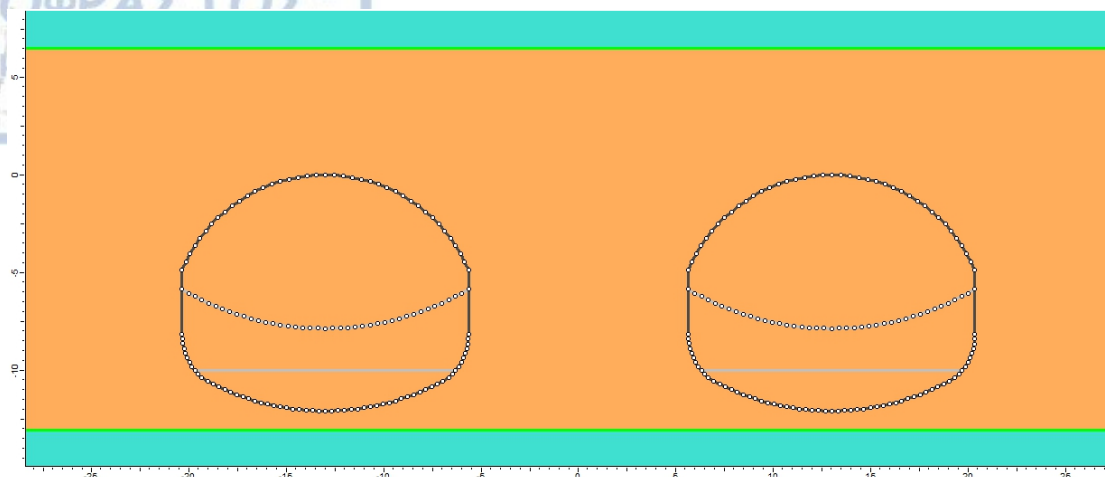
Πίνακας 48: Τεχνικογεωλογικές παράμετροι των δύο σχηματισμών που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις στο Phase v8.

Παράμετροι	Ανακρυσταλλωμένος Ασβεστόλιθος (k1)	Φυλλίτης (ph3)
GSI	60	15
σ_{ci} (MPa)	175	5
m_i	12	7
E (MPa)	17783	134

Για την παρουσίαση της διαδικασίας σχεδιασμού του μοντέλου θα χρησιμοποιηθεί η ανάλυση που περιλαμβάνει άνω και κάτω οριζόντια στρώματα ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου και ενδιάμεσα βρίσκεται ο φυλλίτης. Ο ασβεστόλιθος σε αυτό το παράδειγμα θα έχει απόσταση από την στέψη της σήραγγας μισή διάμετρο, δηλαδή 6,5m. Αρχικά κατασκευάστηκε η διατομή, όσο δυνατόν πιο συμμετρική ως προς τον κατακόρυφο άξονα. Αφού κατασκευάστηκε ο ένας κλάδος, στην προκειμένη περίπτωση ο αριστερός (Βόρειος) κατασκευάστηκε και ο δίδυμός του, με απόσταση μεταξύ των κλάδων 11,5m (Σχήμα 113 και Σχήμα 114). Στη συνέχεια σχεδιάστηκαν τα διάφορα στάδια εκσκαφής και τα όρια του μοντέλου. Τα όρια του μοντέλου σταθεροποιήθηκαν ώστε να μην είναι μεταβλητά, και να μην επηρεάζονται τα αποτελέσματα στις περιοχές των σηράγγων. Έπειτα τοποθετήθηκαν τα όρια των σχηματισμών όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αφού ορίστηκαν οι απαιτούμενες τεχνικογεωλογικές τους ιδιότητες.



Σχήμα 113: Κατασκευή των δύο κλάδων στο πρόγραμμα Phase2 v8 και το συνολικό περιβάλλον. Ο υπερκείμενος ασβεστόλιθος έχει απόσταση 6,5m από τη στέψη της σήραγγας.



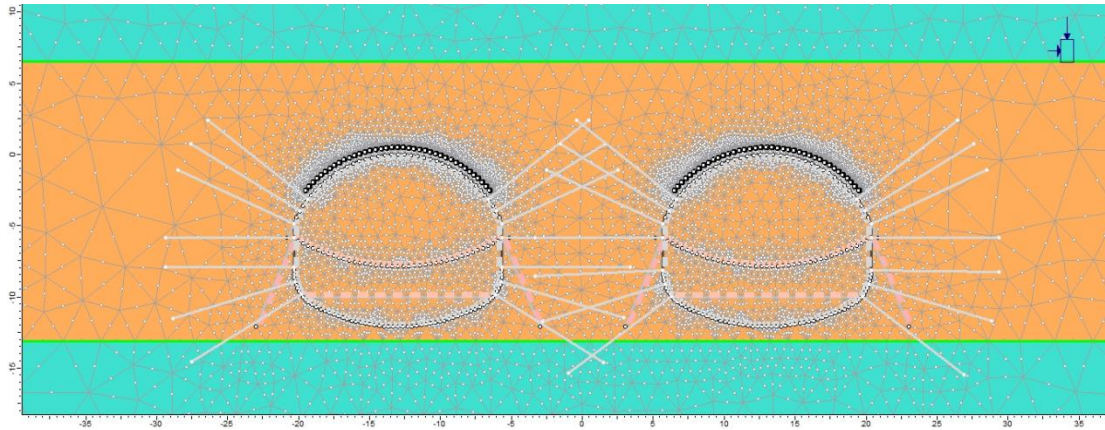
Σχήμα 114: Κατασκευή των δύο κλάδων στο πρόγραμμα Phase v8. Ο υπερκείμενος ασβεστόλιθος έχει απόσταση 6,5m από τη στέψη της σήραγγας.

Σημαντικό στην ανάλυση είναι το πεδίο των τάσεων. Στις αναλύσεις μας στη κατακόρυφη τάση (σ_1) δόθηκε τιμή 1,872 MPa και στις πλευρικές τάσεις (σ_2 , σ_3) 1,123 MPa. Όπως είναι φανερό και από τις τάσεις χρησιμοποιήθηκε συντελεστής $K_0=0,6$ και πάχος υπερκειμένων 72m. Τα 72m προέκυψαν από την αναζήτηση των υπερκειμένων σε γειτονικές θέσεις των δύο θέσεων, και την εύρεση μιας αντιπροσωπευτικής μέσης τιμής.

Αφού κατασκευάστηκαν οι διατομές των δύο σηράγγων και συμπληρώθηκαν κάποιες σημαντικές παράμετροι, κατασκευάστηκαν και προσαρμόστηκαν τα μέτρα υποστήριξης. Όπως έγινε και προηγουμένως αναφορά, κατά τη διαδικασία της προσομοίωσης της κατασκευής τοποθετήθηκαν δοκοί προτορείας, αγκύρια βράχου, πλαίσια, εκτοξευμένο σκυρόδεμα, μικροπάσσαλοι και ελεφαντοπόδαρα. Οι δοκοί προτορείας σχεδιάστηκαν πάνω από τη σήραγγα ως κυκλικοί σχηματισμοί με ελαστική συμπεριφορά και ισοδύναμο μέτρο ελαστικότητας 58711,9 MPa. Η τιμή αυτή προκύπτει από την στάθμιση του μέτρου ελαστικότητας του χάλυβα 200000 MPa και του σκυροδέματος 20000 MPa. Τα αγκύρια βράχου όπως και οι μικροπάσσαλοι και το πλαίσιο έχουν μέτρο ελαστικότητας 200000 MPa. Τα πλαίσια και οι μικροπάσσαλοι κατασκευάστηκαν ως γραμμικό στοιχείο ενώ τα αγκύρια βράχου ως αγκύρια. Τα ελεφαντοπόδαρα κατασκευάστηκαν ως σχηματισμοί με μέτρο ελαστικότητας 200000 MPa. Τέλος το εκτοξευμένο σκυρόδεμα κατασκευάστηκε ως γραμμικό στοιχείο με μέτρο ελαστικότητας 20000 MPa και το αντίστοιχο πάχος του.

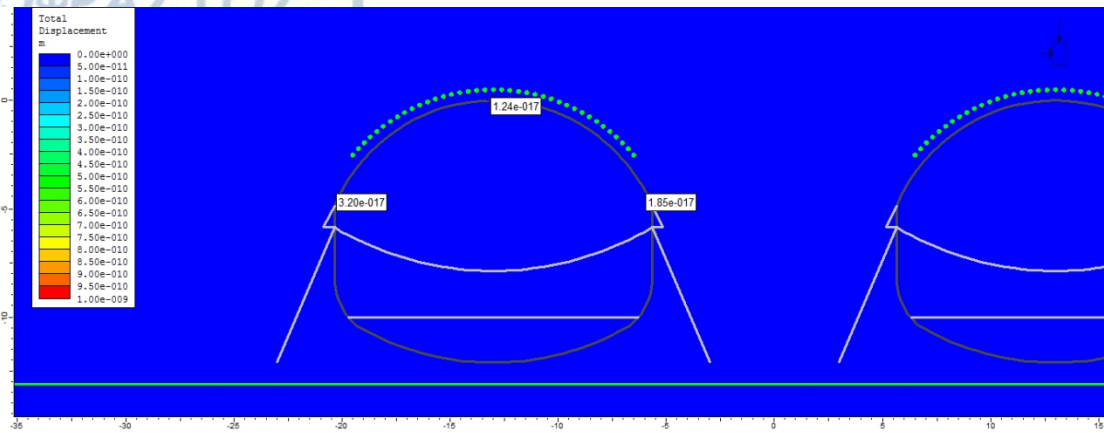
Ένα επόμενο σημαντικό βήμα για την ανάλυση στο Phase2 είναι ο καθορισμός διαφόρων σταδίων που προσομοιάζουν τα στάδια εκσκαφής. Τα μέτρα υποστήριξης παρόλο που σχεδιάστηκαν από την αρχή στις διατομές μπορεί η δράση τους να ενεργοποιηθεί στο στάδιο της διαδικασίας εκσκαφής που εφαρμόζονται. Στην περίπτωση της θέσης που παρουσιάζεται, η εκσκαφή πραγματοποιήθηκε σε τρεις φάσεις, όπου στο Phase2 v8, η κάθε φάση αποτελείται από δύο στάδια. Το πρώτο είναι αυτό πριν την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης της φάσης και το δεύτερο όπου τοποθετούνται τα μέτρα υποστήριξης. Έτσι στο πρόγραμμα, μαζί με το αρχικό βήμα επιβολής της αρχικής εντατικής κατάστασης, δημιουργούνται 13 στάδια, 6 για κάθε σήραγγα. Στο στάδιο κάθε εκσκαφής και πριν την τοποθέτηση των μέτρων

υποστήριξης, εφαρμόζεται μια πίεση υποστήριξης στα τοιχώματα της σήραγγας, που ουσιαστικά προσομοιώνει την αποτόνωση της βραχομάζας. Αυτή η δύναμη ταυτίζεται με το 20% του αρχικού εντατικού πεδίου που ασκείται από τα τοιχώματα της σήραγγας. Τέλος αφού καθοριστούν τα στάδια, κατασκευάζεται ο κάνναβος των πεπερασμένων στοιχείων (mesh) (Σχήμα 115).

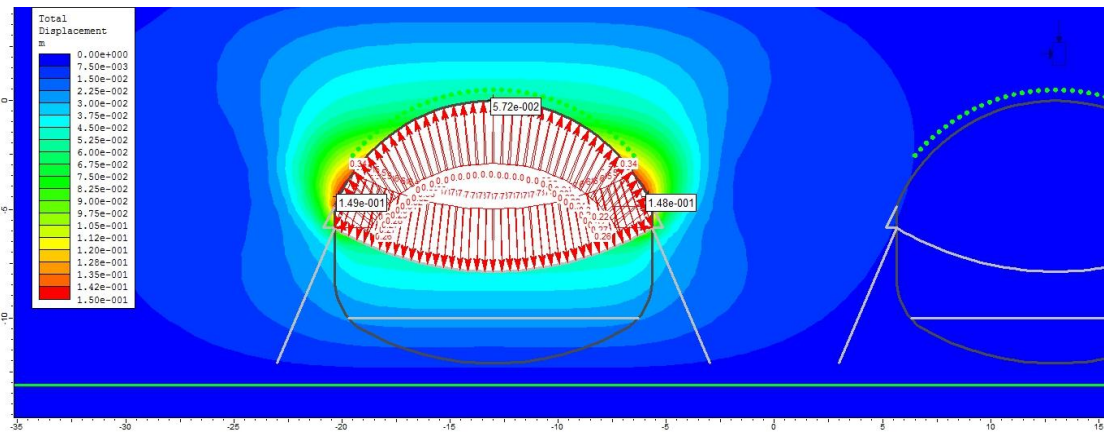


Σχήμα 115: Διατομές των δύο κλάδων με τα μέτρα υποστήριξης και το πλέγμα όπου θα γίνουν οι υπολογισμοί.

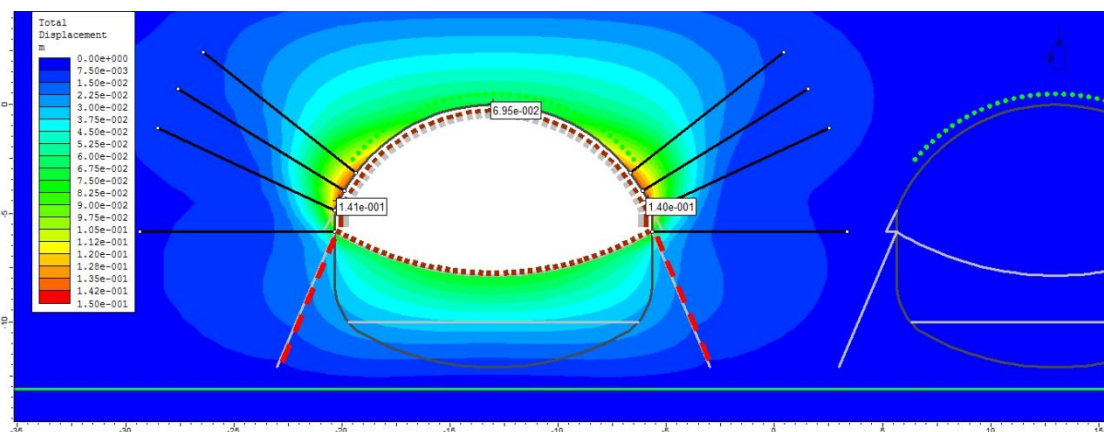
Έτσι ξεκινά η ανάλυση από το πρώτο στάδιο, όπου δεν έχει πραγματοποιηθεί καμία εκσκαφή. Σε αυτό το στάδιο όπως και στα επόμενα υπάρχουν δοκοί προπορείας, αφού τοποθετήθηκαν από το προηγούμενο βήμα. Στο επόμενο στάδιο πραγματοποιείται εκσκαφή του ανώτερου τμήματος και εφαρμόζεται η πίεση που προσομοιώνει την αποτόνωση της βραχομάζας. Στο τρίτο στάδιο τοποθετούνται τα αγκύρια βράχου στο τμήμα που έχει εκσκαφθεί, πλαίσια και εκτοξευμένο σκυρόδεμα στα τοιχώματα και στην οροφή της διατομής, ενώ στο δάπεδο, μόνο εκτοξευμένο σκυρόδεμα. Σ' αυτή τη φάση τοποθετούνται και τα ελεφαντοπόδαρα και οι μικροπάσσαλοι. Στο τέταρτο στάδιο εκσκάπτεται το μεσαίο τμήμα της σήραγγας και πάλι εφαρμόζεται στα όρια που μόλις δημιουργήθηκαν η πίεση με στόχο την προσομοίωση της αποτόνωσης του βράχου. Στο πέμπτο στάδιο τοποθετούνται τα αγκύρια βράχου σε αυτό το τμήμα καθώς και τα πλαίσια και το εκτοξευμένο σκυρόδεμα στα τοιχώματα. Στο νέο δάπεδο τοποθετείται μόνο εκτοξευμένο σκυρόδεμα. Στο έκτο στάδιο εκσκάπτεται και η τελευταία φάση εκσκαφής. Τοποθετείται η πίεση για την προσομοίωση της αποτόνωσης και στο έβδομο στάδιο τοποθετείται πλαίσιο και εκτοξευμένο σκυρόδεμα και στο δάπεδο της σήραγγας. Αυτή η διαδικασία από το δεύτερο έως το έβδομο στάδιο επαναλαμβάνεται και για την σήραγγα στα δεξιά. Έτσι συμπληρώνονται τα 13 στάδια στο πρόγραμμα. Τέλος πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί. Στο Σχήμα 116 έως το Σχήμα 128 θα παρουσιαστούν οι μέγιστες μετακινήσεις για την κάθε ακίδα στην αριστερή σήραγγα (Βόρειος κλάδος), στο κάθε επιμέρους στάδιο. Κατά την κατασκευή του έργου πραγματοποιήθηκε η διάνοιξη του Βόρειου κλάδου και έπειτα του Νότιου κλάδου, για αυτό τηρήθηκε και αυτή η σειρά κατά τον σχεδιασμό των σταδίων.



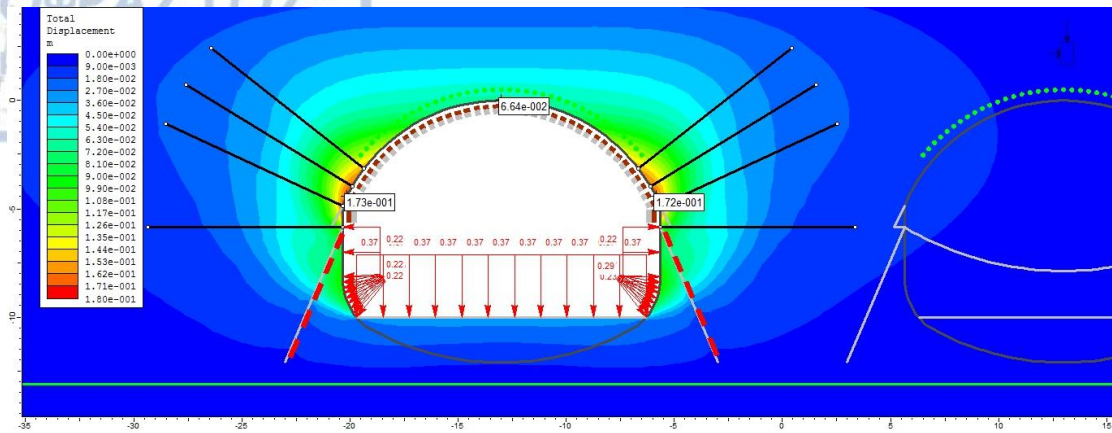
Σχήμα 116: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο πρώτο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο δεν έχει πραγματοποιηθεί ακόμα η διάνοιξη.



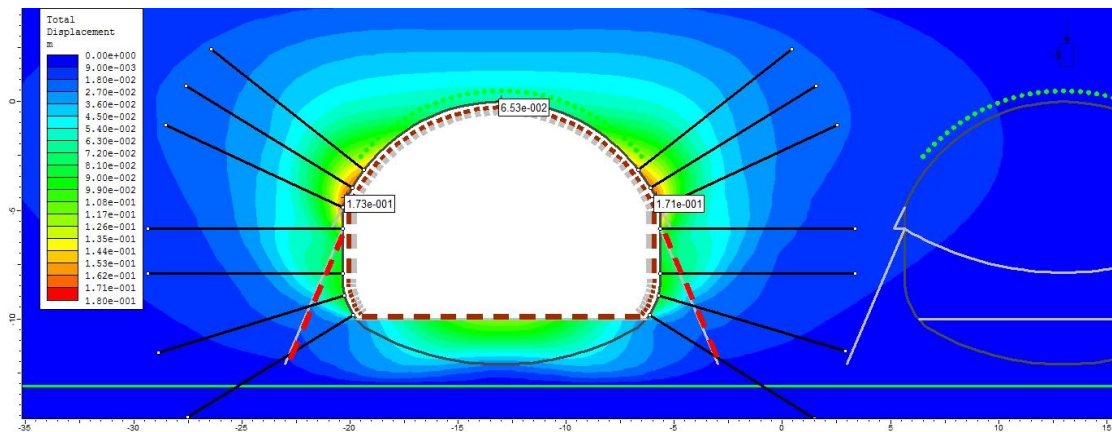
Σχήμα 117: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο δεύτερο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του ανώτερου τμήματος του Βόρειου κλάδου, χωρίς όμως την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης. Οι κόκκινες ακτίνες είναι η πίεση που προσομοιώνει την αποτόνωση του βράχου.



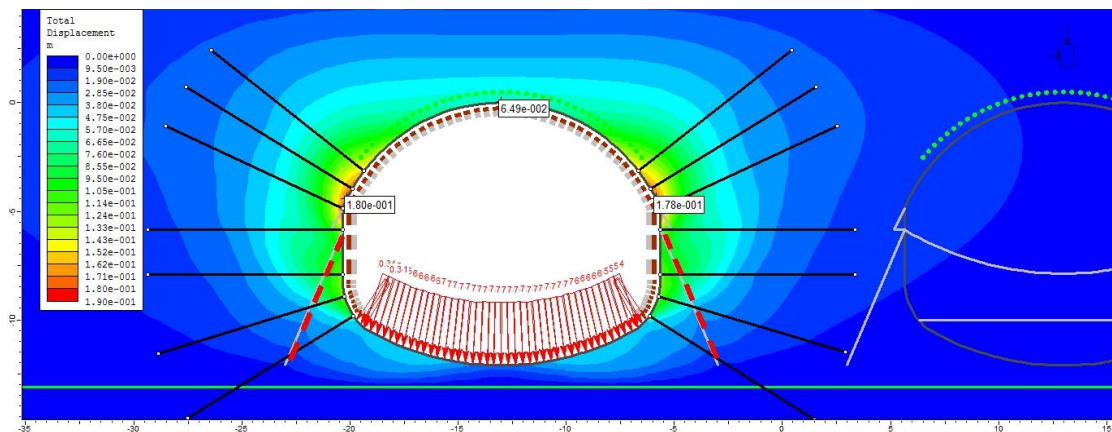
Σχήμα 118: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο τρίτο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του ανώτερου τμήματος του Βόρειου κλάδου, με την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης.



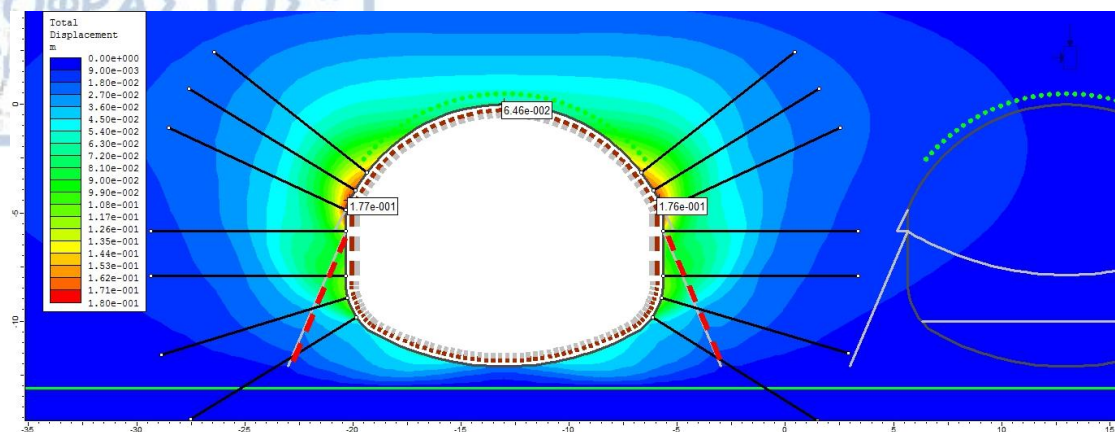
Σχήμα 119: Σχήμα 103: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο τέταρτο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του μεσαίου τμήματος του Βόρειου κλάδου, χωρίς όμως την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης. Οι κόκκινες ακτίνες είναι η πίεση που προσομοιώνει την αποτόνωση του βράχου.



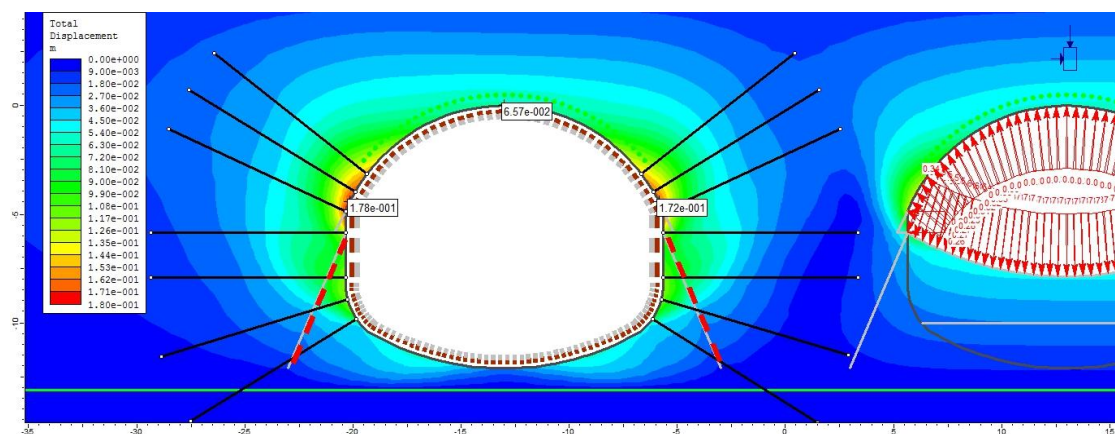
Σχήμα 120: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο πέμπτο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του μεσαίου τμήματος του Βόρειου κλάδου, με την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης.



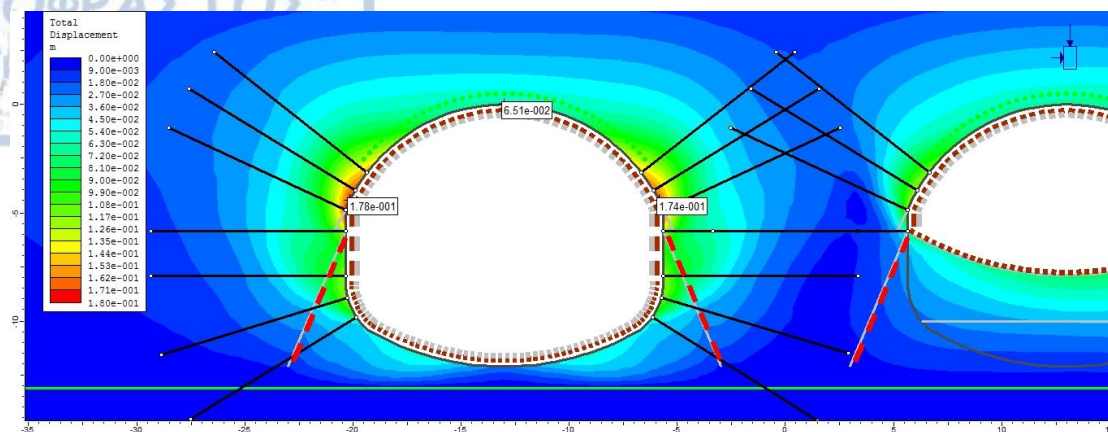
Σχήμα 121: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο έκτο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του κατώτερου τμήματος του Βόρειου κλάδου, χωρίς όμως την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης. Οι κόκκινες ακτίνες είναι η πίεση που προσομοιώνει την αποτόνωση του βράχου.



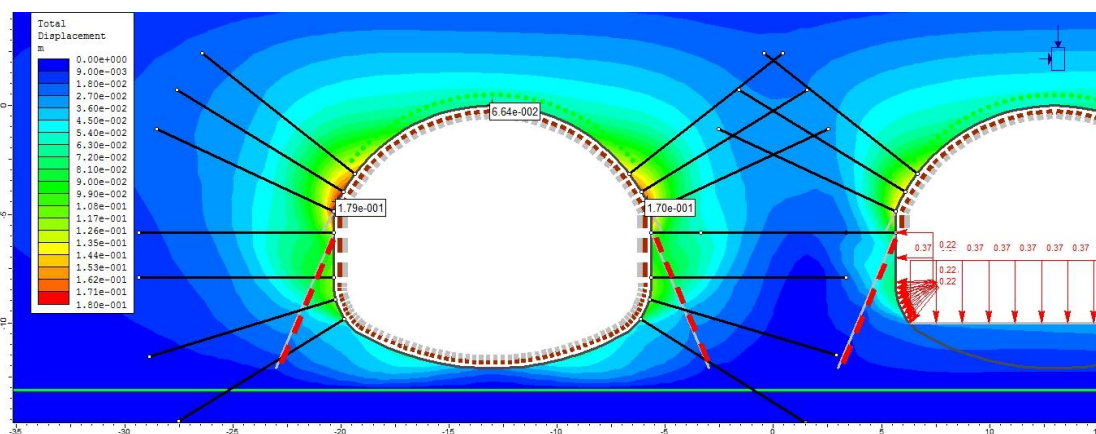
Σχήμα 122: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο έβδομο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του κατώτερου τμήματος του Βόρειου κλάδου, με την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης.



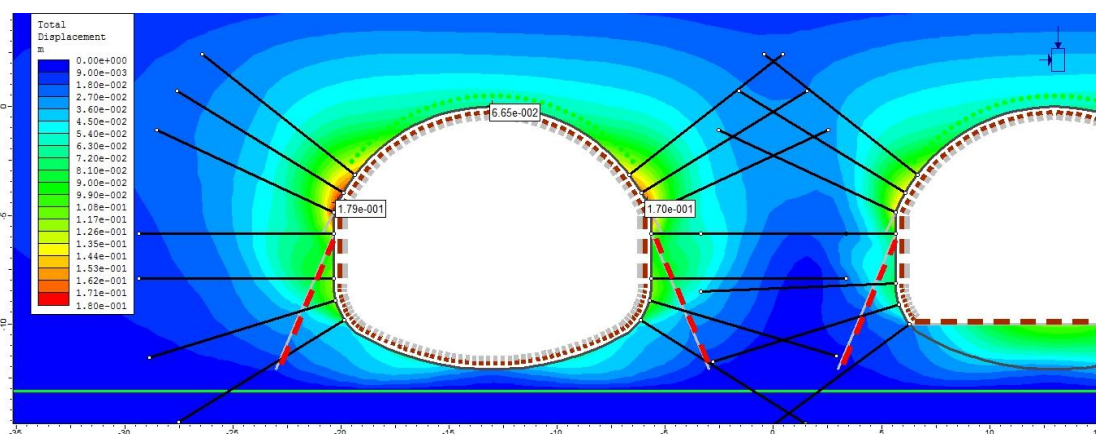
Σχήμα 123: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο όγδοο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του ανώτερου τμήματος του Νότιου κλάδου, χωρίς όμως την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης. Οι κόκκινες ακτίνες είναι η πίεση που προσομοιώνει την αποτόνωση του βράχου.



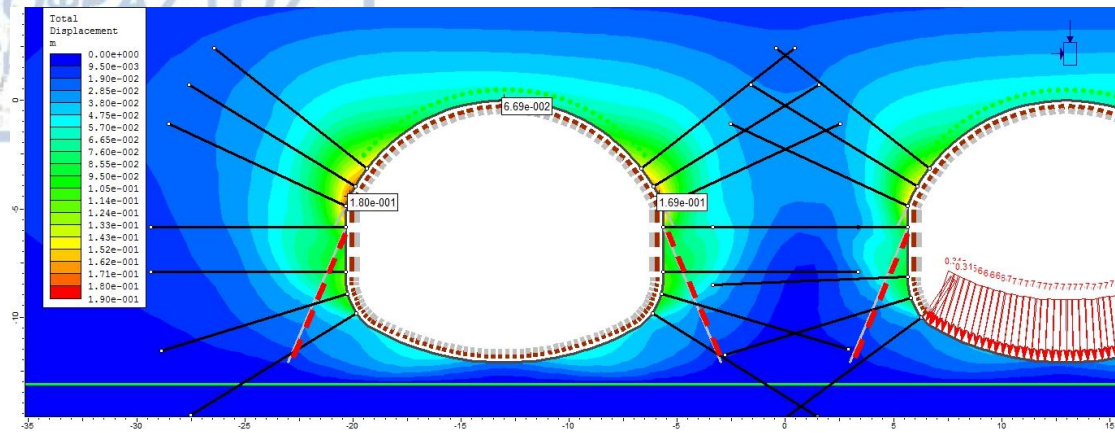
Σχήμα 124: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο ένατο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του ανώτερου τμήματος του Νότιου κλάδου, με την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης.



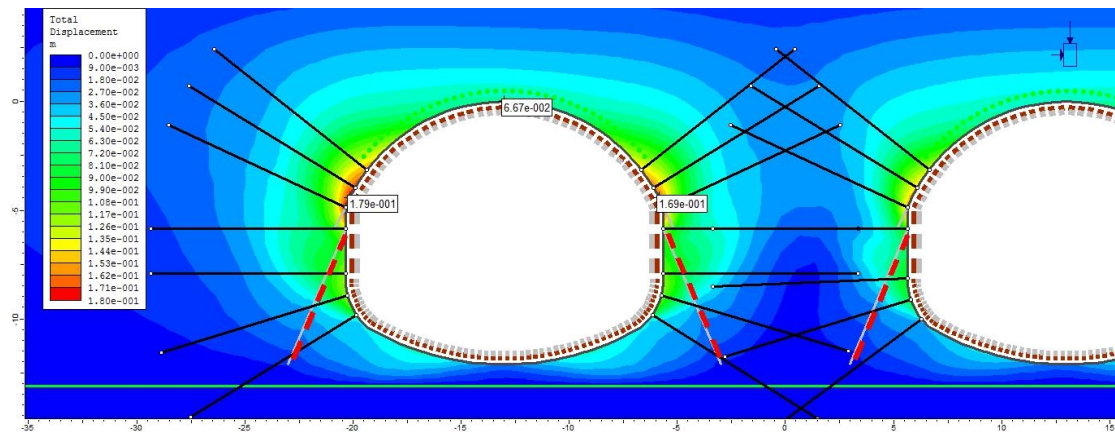
Σχήμα 125: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο δέκατο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του μεσαίου τμήματος του Νότιου κλάδου, χωρίς όμως την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης. Οι κόκκινες ακτίνες είναι η πίεση που προσομοιώνει την αποτόνωση του βράχου.



Σχήμα 126: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο ενδέκατο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του μεσαίου τμήματος του Νότιου κλάδου, με την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης.



Σχήμα 127: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο δωδέκατο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του κατώτερου τμήματος του Νότιου κλάδου, χωρίς όμως την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης. Οι κόκκινες ακτίνες είναι η πίεση που προσομοιώνει την αποτόνωση του βράχου.



Σχήμα 128: Χαρτογράφηση μέγιστων μετακινήσεων στο δέκατο τρίτο στάδιο της ανάλυσης στο Βόρειο κλάδο. Σε αυτό το στάδιο έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη του κατώτερου τμήματος του Νότιου κλάδου, με την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης.

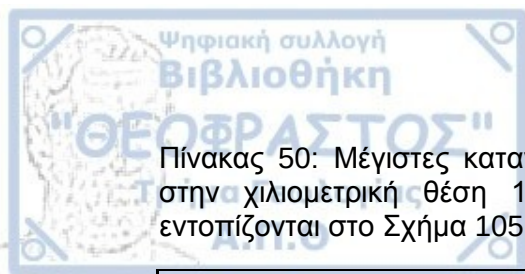
8.3 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων των αναλύσεων

Η διαδικασία που αναλύθηκε παραπάνω πραγματοποιήθηκε για διάφορους συνδυασμούς της απόστασης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου και της κλίσης των στρωμάτων, για την χιλιομετρική θέση 10725 του Βόρειου κλάδου και την χιλιομετρική θέση 10705 του Νότιου κλάδου. Για τις αναλύσεις εξετάστηκαν οι περιπτώσεις ως προς την απόσταση του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου, η μία διάμετρος της σήραγγας, δηλαδή 13m, η μισή διαμετρος της σήραγγας και το 1/3 της διαμέτρου της σήραγγας. Επίσης εξετάστηκε και η περίπτωση που δεν υπάρχει στρώμα ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου πάνω από την στέψη της σήραγγας ως βάση σύγκρισης.

Επίσης οι αναλύσεις με τις αποστάσεις που προαναφέρθηκαν, πραγματοποιήθηκαν και για κλίσεις των 10° , 20° και 30° και με διεύθυνση κλίσης προς τα ΒΔ. Η διεύθυνση προς τα ΒΔ ενισχύεται από μετρήσεις του ορίου των σχηματισμών κατά την χαρτογράφηση των μετώπων από την ανάδοχο του έργου σε γειτονικές θέσεις. Στο Βόρειο κλάδο σε χιλιομετρική θέση 10727 εντοπίζεται το όριο με γεωμετρία $25^\circ/332^\circ$ και στην χιλιομετρική θέση 10689 με γεωμετρία $35^\circ/332^\circ$. Στο Νότιο κλάδο στη χιλιομετρική θέση 10696 το όριο έχει γεωμετρία $15^\circ/340^\circ$ και στη χιλιομετρική θέση 10754 έχει γεωμετρία $30^\circ/324^\circ$. Επίσης όπως έχει παρουσιαστεί και στο σχετικό κεφάλαιο ο φυλλίτης σε αυτή την περιοχή χιλιομετρικών θέσεων παρουσιάζει παρόμοιες διευθύνσεις κλίσης. Στον Πίνακα 50 και Πίνακα 52 αναφέρονται οι μέγιστες καταγεγραμμένες μετακινήσεις στο Βόρειο και Νότιο κλάδο αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται για τον Βόρειο κλάδο στον Πίνακα 49 και για τον Νότιο κλάδο στον Πίνακα 51.

Πίνακας 49: Υπολογιζόμενες μετακινήσεις που προέκυψαν από τους διάφορους συνδυασμούς αναλύσεων στην χιλιομετρική θέση 10725m στο Βόρειο κλάδο.

Απόσταση υπερκείμενου ασβεστολίθου.	Κλίση προς τα ΒΔ	(1-λ) όπου λ=συντελεστής αποτόνωσης	Εκτιμώμενες μετακινήσεις (m)			Μέση απόκλιση των εκτιμώμενων μετακινήσεων, από τις καταγεγραμμένες από τους στόχους
			ak1	ak2	ak3	
Χωρίς Διάρωμα	0	0,2	0,424	0,257	0,457	0,193
1/3 Διαμέτρου	0	0,2	0,154	0,0428	0,147	0,089
Μισή Διάμετρο	0	0,2	0,179	0,0667	0,169	0,082
Μία Διάμετρο	0	0,2	0,24	0,111	0,23	0,068
1/3 Διαμέτρου	30	0,2	0,199	0,0519	0,262	0,065
Μισή Διάμετρο	30	0,2	0,235	0,0741	0,297	0,081
Μία Διάμετρο	30	0,2	0,293	0,114	0,345	0,103
1/3 Διαμέτρου	20	0,2	0,193	0,0477	0,224	0,075
Μισή Διάμετρο	20	0,2	0,218	0,0652	0,247	0,070
Μία Διάμετρο	20	0,2	0,278	0,11	0,304	0,086
1/3 Διαμέτρου	10	0,2	0,18	0,0441	0,184	0,085
Μισή Διάμετρο	10	0,2	0,202	0,0652	0,206	0,078
Μία Διάμετρο	10	0,2	0,251	0,109	0,258	0,063



Πίνακας 50: Μέγιστες καταγεγραμμένες από την ανάδοχο του έργου μετακινήσεις στην χιλιομετρική θέση 10725m στο Βόρειο κλάδο. Οι θέσεις των στόχων εντοπίζονται στο Σχήμα 105.

Μέγιστες καταγεγραμμένες μετακινήσεις στο Βόρειο κλάδο στη Χ.Θ. 10725m		
ak1	ak2	ak3
0,13m	0,17m	0,26m

Πίνακας 51: Υπολογιζόμενες μετακινήσεις που προέκυψαν από τους διάφορους συνδυασμούς αναλύσεων στην χιλιομετρική θέση 10705m στο Νότιο κλάδο.

Απόσταση υπερκείμενου ασβεστολίθου.	Κλίση προς τα ΒΔ	(1-λ) όπου λ=συντελεστής αποτόνωσης	Εκτιμώμενες μετακινήσεις (m)			Μέση απόκλιση των εκτιμώμενων μετακινήσεων, από τις καταγεγραμμένες από τους στόχους
			ak1	ak2	ak3	
Χωρίς Διπλώμα	0	0,2	0,56	0,292	0,5	0,262
1/3 Διαμέτρου	0	0,2	0,154	0,0428	0,147	0,067
Μισή Διάμετρο	0	0,2	0,151	0,0621	0,176	0,089
Μία Διάμετρο	0	0,2	0,221	0,107	0,231	0,084
1/3 Διαμέτρου	30	0,2	0,11	0,055	0,206	0,080
Μισή Διάμετρο	30	0,2	0,0904	0,0722	0,225	0,087
Μία Διάμετρο	30	0,2	0,241	0,116	0,273	0,106
1/3 Διαμέτρου	20	0,2	0,139	0,487	0,184	0,081
Μισή Διάμετρο	20	0,2	0,165	0,069	0,211	0,076
Μία Διάμετρο	20	0,2	0,216	0,113	0,257	0,094
1/3 Διαμέτρου	10	0,2	0,129	0,0443	0,176	0,073
Μισή Διάμετρο	10	0,2	0,144	0,0658	0,194	0,064
Μία Διάμετρο	10	0,2	0,204	0,11	0,248	0,088

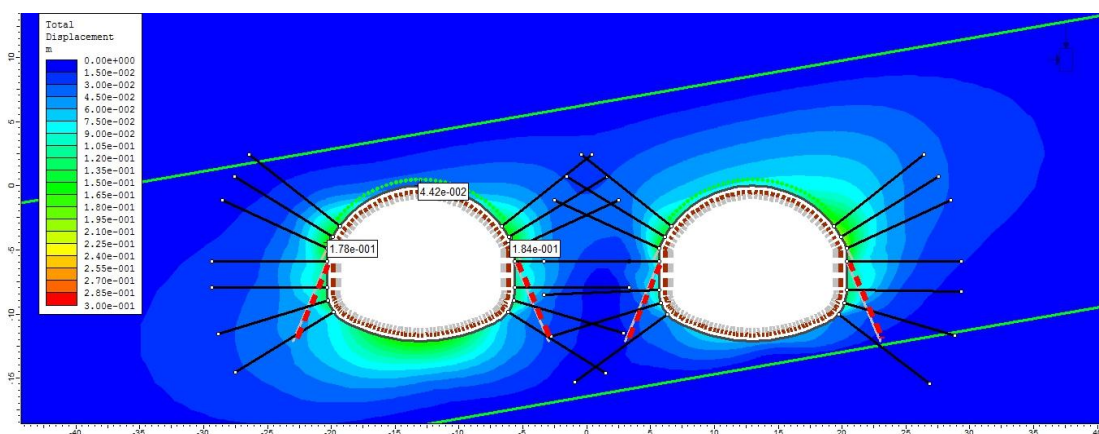
Πίνακας 57: Μέγιστες καταγεγραμμένες από την ανάδοχο του έργου μετακινήσεις στη χιλιομετρική θέση 10705m στο Νότιο κλάδο. Οι θέσεις των στόχων εντοπίζονται στο Σχήμα 92.

Πίνακας 52: Μέγιστες καταγεγραμμένες από την ανάδοχο του έργου μετακινήσεις στη χιλιομετρική θέση 10705m στον Νότιο κλάδο. Οι θέσεις των στόχων εντοπίζονται στο Σχήμα 105.

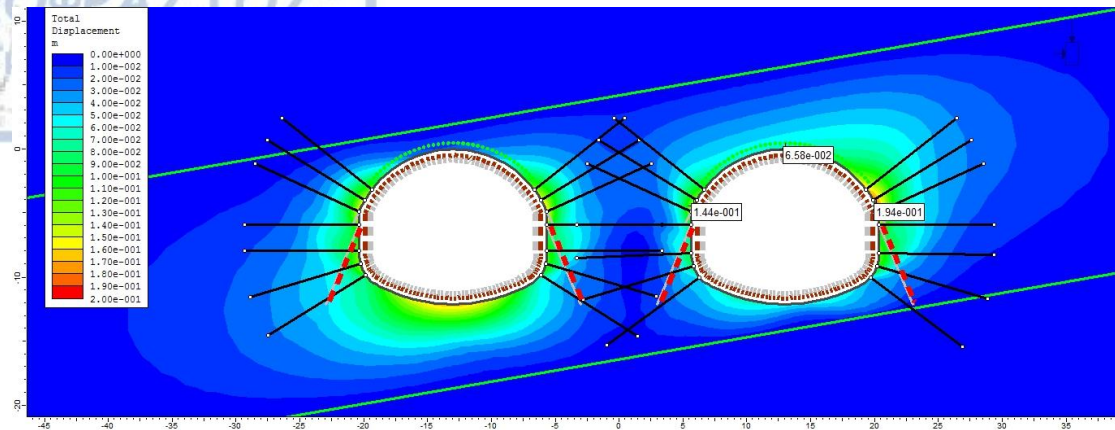
Μέγιστες καταγεγραμμένες μετακινήσεις στο Νότιο κλάδο στη Χ.Θ. 10705m		
ak1	ak2	ak3
0,139	0,244	0,184

Και στη χιλιομετρική θέση 10725 του Βόρειου κλάδου, αλλά και στη χιλιομετρική θέση 10705 του Νότιου κλάδου παρατηρείται ότι οι αναλύσεις που θεωρούν ότι δεν υπάρχει υπερκείμενο στρώμα απέχουν πολύ από τις καταγεγραμμένες μετακινήσεις. Για παράδειγμα στον Βόρειο κλάδο η μέγιστη εκτιμώμενη μετακίνηση είναι 0,457m, ενώ η μέγιστη καταγεγραμμένη, από την ανάδοχο, μετακίνηση είναι 0,26m. Αντίθετα οι εκτιμώμενες μετακινήσεις με στρώμα ανοκρυσταλλωμένου ασβεστολίθου είναι σε γενικές γραμμές πιο κοντινές. Άρα επιβεβαιώνεται η ύπαρξη ανώτερου στρώματος ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου, και μπορεί να βγει ως γενικότερο συμπέρασμα ότι η ύπαρξη καλής ποιότητας υπερκείμενου μειώνει αρκετά τις μετακινήσεις στη στέψη της σήραγγας.

Στις καταγεγραμμένες μετακινήσεις παρατηρείται ότι η ακίδα 3 (ΝΑ πλευρά) έχει μεγαλύτερες τιμές από την ακίδα 1 (ΒΔ πλευρά) κάτι που ενισχύει τις ενδείξεις για την ύπαρξη κλίσης προς τα ΒΔ. Από την μέση απόκλιση των υπολογιζόμενων συγκλίσεων, με αυτές που είναι καταγεγραμμένες παρατηρείται ότι πιο κοντά στις καταγεγραμμένες μετακινήσεις, στο Βόρειο κλάδο είναι η ανάλυση με απόσταση 4m του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου από την στέψη και με γωνία κλίσης 10° προς τα ΒΔ (Σχήμα 129). Αντίστοιχη βέλτιστη θέση του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου στο Νότιο κλάδο στην χιλιομετρική θέση 10705 είναι η απόσταση 6,5m από τη στέψη και με γωνία κλίσης 10° προς τα ΒΔ (Σχήμα 130). Και οι δύο αυτές αναλύσεις παρόλο που έχουν μέση απόκλιση περίπου 6cm, δεν προσεγγίζουν ικανοποιητικά την ακίδα 2. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε κάποια γεωλογική ιδιομορφία είτε στην διατομή των δύο σηράγγων.



Σχήμα 129: Αποτέλεσμα αριθμητικής ανάλυσης στην χιλιομετρική θέση 10725 στον Βόρειο κλάδο. Ο ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος τοποθετείται 4m από την στέψη του Βόρειου κλάδου και έχει κλίση 10° .



Σχήμα 130: Αποτέλεσμα αριθμητικής ανάλυσης στην χιλιομετρική θέση 10705 στον Νότιο κλάδο. Ο ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος τοποθετείται 6,5m από την στέψη του Βόρειου κλάδου και έχει κλίση 10° .

9^ο Κεφάλαιο: Συμπεράσματα

Το αντικείμενο της διατριβής, όπως έχει προαναφερθεί, είναι η συγκριτική αξιολόγηση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών σχεδιασμού και κατασκευής της σήραγγας T2 Τεμπών, αλλά και η αξιολόγηση της συμπεριφοράς της βραχομάζας κατά την διάνοιξη της σήραγγας. Η διαδικασία στοχεύει τόσο στην κατασκευή τεχνικογεωλογικού μοντέλου της περιοχής με βάση τα στοιχεία της μελέτης αλλά και της κατασκευής, όσο και στην αξιολόγηση των διαφορών τους. Ακόμη, σκοπός της παρούσας διατριβής είναι η αξιολόγηση της συμπεριφοράς του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου και του φυλλίτη, με εστίαση στις βαρυτικές αστοχίες στους πρώτους και στις τασικές αστοχίες στους δεύτερους. Τέλος η εργασία διερευνά και τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζει η ύπαρξη ανώτερου και κατώτερου στρώματος καλής ποιότητας ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου, τις τασικές αστοχίες στους φυλλίτες,

Για την επίτευξη των στόχων της διατριβής χρησιμοποιήθηκαν βιβλιογραφικές πληροφορίες για την γενικότερη γεωλογία των Τεμπών καθώς και στοιχεία από τη μελέτη και την κατασκευή του έργου. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από γεωλογική-τεχνικογεωλογική και υδρογεωλογική μελέτη που συντάχθηκε πριν την έναρξη των εργασιών. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν 1854 Δελτία Χαρτογράφησης των Μετώπων που περιέχουν στοιχεία σχετικά με τους σχηματισμούς που συναντήθηκαν, τις τεχνικογεωλογικές παραμέτρους αυτών (GSI, βαθμός αποσάθρωσης, σ_{ci}) αλλά και πληροφορίες σχετικές με τα γεωμετρικά στοιχεία της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου, της σχιστότητας του φυλλίτη και τη γεωμετρία των ασυνεχειών και των ρηγμάτων. Τα δεδομένα από τις χαρτογραφήσεις των μετώπων ταξινομήθηκαν σε φύλλα Excel, ώστε να είναι πιο εύκολη η επεξεργασία τους. Τέλος στα διαθέσιμα δεδομένα καταλογίζονται και 2801 αρχεία σχετικά με τις μετρήσεις των τοπογραφικών στόχων που καταγράφηκαν από την ανάδοχο εταιρεία κατά την διάνοιξη της σήραγγας.

Αρχικά κατασκευάστηκε το γεωλογικό μοντέλο του έργου, με τα στοιχεία της μελέτης και της κατασκευής. Αφού εντοπίστηκαν κάποιες αρχικές διαφοροποιήσεις των δύο μοντέλων, με την χρήση των στοιχείων της μελέτης αλλά και της βάσης δεδομένων που έχει κατασκευαστεί διακριτοποιήθηκαν τεχνικογεωλογικές ενότητες για τους επιμέρους σχηματισμούς, με κύριο κριτήριο την αξιολόγηση GSI και την μονοαξονική θλιπτική αντοχή του άρρηκτου βράχου σ_{ci} . Κατασκευάστηκε το τεχνικογεωλογικό μοντέλο της περιοχής τόσο με τα στοιχεία της μελέτης, όσο και με τα στοιχεία της

χαρτογράφησης των μετώπων. Έπειτα, αφού πραγματοποιήθηκε σύγκριση των δύο μοντέλων εξετάστηκε η συμπεριφορά των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων ανά χιλιομετρική θέση και στα δύο. Επίσης επιλέχθηκαν δύο θέσεις όπου επικρατεί ο ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος ώστε να εξεταστούν αστοχίες βαρυτικού χαρακτήρα μέσω του προγράμματος Unwedge. Τέλος, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Phase2 για την εξέταση διατμητικών αστοχιών στους φυλλίτες που βρίσκονται ανάμεσα σε δύο στρώματα ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου με τη χρήση ανάστροφων αναλύσεων. Στο πλαίσιο αυτής της εξέτασης προσδιορίστηκε κατά προσέγγιση η γεωμετρία που έχουν τα στρώματα μεταξύ τους.

Όπως αναφέρθηκε και στη σύντομη αναδρομή στην προηγούμενη παράγραφο κατασκευάστηκε αρχικά το γεωλογικό μοντέλο σύμφωνα με τα στοιχεία της μελέτης αλλά και της κατασκευής. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν συγκρίθηκαν με τις εκτιμώμενες στρώσεις του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου και της σχιστότητας του φυλλίτη. Η παράθεση των δύο γεωλογικών μοντέλων οδήγησε στο συμπέρασμα ότι υπάρχει διαφοροποίηση στην έκταση του φυλλίτη στις χιλιομετρικές θέσεις από 5125 έως 6270m, όπου οι δύο κλάδοι της σήραγγας εντοπίζουν φυλλίτη ανάμεσα σε ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους ενώ η μελέτη εκτιμούσε την εύρεση φυλλίτη μόνο έως την χιλιομετρική θέση 5670m. Σημαντική διαφοροποίηση εντοπίζεται στα δύο μοντέλα μετά την χιλιομετρική θέση 8450m όπου οι κλάδοι της σήραγγας διατρύπουν εναλλαγές ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου και φυλλίτη. Αντίθετα η εκτίμηση της μελέτης είναι ότι η σήραγγα θα διατρύπούσε μόνο ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους και κατά τόπους φακούς φυλλίτη.

Κατά την κατασκευή του γεωλογικού μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία της γεωμετρίας των ασυνεχειών που συλλέχθηκαν από την ανάδοχο εταιρεία, για την εύρεση της στρώσης του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου, της σχιστότητας του φυλλίτη και της γεωμετρίας των διαφόρων συστημάτων διακλάσεων, ανά χιλιομετρική θέση για τον κάθε κλάδο. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τις γεωμετρίες των σχηματισμών με βάση τη μελέτη. Στο μοντέλο της μελέτης ο ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος έχει στρώση με διεύθυνση κλίσης Δυτική και Νοτιοδυτική, εκτός από τις χιλιομετρικές θέσεις 9500 έως 10200m που κλίνει προς τα Νοτιοανατολικά. Στα γεωλογικά μοντέλα των δύο κλάδων σε όλο το μήκος της σήραγγας κλίνει προς τα Δυτικά και Νοτιοδυτικά. Εξαίρεση αποτελούν οι χιλιομετρικές θέσεις 8500 έως 8800 στο Νότιο κλάδο και οι χιλιομετρικές θέσεις 8440 έως 8850 και 9450 έως 9800 στο Βόρειο κλάδο που λόγω τεκτονικής καταπόνησης και πτύχωσης παρουσιάζουν μεγάλα εύρη διεύθυνσης κλίσης. Ως προς την γεωμετρία του φυλλίτη στο τμήμα 4869 έως 4552m του μοντέλου της μελέτης ο φυλλίτης έχει διεύθυνση κλίσης προς τα Νότια, ενώ στο αντίστοιχο τμήμα των μοντέλων με

την χρήση των στοιχείων κατασκευής έχει διεύθυνση κλίσης Δυτικά-Νοτιοδυτικά.

Για την τεχνικογεωλογική προσέγγιση της συγκριτικής αξιολόγησης αρχικά κατασκευάστηκε κατανομή της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου και του φυλλίτη ανά χιλιομετρική θέση και για τους δύο κλάδους. Επίσης με βάση την αξιολόγηση GSI και το βαθμό αποσάθρωσης που αναφέρονται στα Δελτία Χαρτογράφησης των Μετώπων, μαζί με τα στοιχεία του σ_{ci} βρέθηκαν επτά διακριτές τεχνικογεωλογικές ενότητες. Έπειτα εντοπίστηκε η κατανομή της κάθε μίας, ανά χιλιομετρική θέση στους δύο κλάδους και κατασκευάστηκαν τα τεχνικογεωλογικά μοντέλα του καθενός. Τεχνικογεωλογικό μοντέλο κατασκευάστηκε και με βάση τα στοιχεία της μελέτης, το οποίο συγκρίθηκε με αυτά των δύο κλάδων. Η κύρια διαφορά που προκύπτει, εκτός από αυτές που αναφέρθηκαν και στην σύγκριση των γεωλογικών μοντέλων, είναι ότι ο φυλλίτης στη χιλιομετρική θέση 5110 έως 5403 στον Νότιο κλάδο και 5133 έως 5390 στον Βόρειο κλάδο παρουσιάζει καλύτερα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά από ό,τι εκτιμήθηκε στη μελέτη.

Πραγματοποιήθηκε συγκριτική αξιολόγηση και ως προς τις υδατικές συνθήκες μέσα στην σήραγγα κατά την διάνοιξη. Η ύπαρξη μόνο περιοδικών υδάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των αντίστοιχων δεδομένων των Δελτίων Χαρτογράφησης των Μετώπων έρχεται σε απόλυτη συμφωνία με το υδρογεωλογικό μοντέλο της περιοχής σύμφωνα με την μελέτη, που παρουσιάζει τον υδροφόρο ορίζοντα κάτω από το επίπεδο της σήραγγας. Στους δύο κλάδους υγρές επιφάνειες εντοπίζονται στα σημεία που υπάρχουν εναλλαγές των σχηματισμών ή επικρατεί ο φυλλίτης. Αυτό οφείλεται στο ότι ο φυλλίτης έχει μικρή διαπερατότητα με αποτέλεσμα να εμπεριέχει εσωτερικά του εγκλωβισμένο νερό. Έτσι με την διατάραξη του από την εκσκαφή εκφορτίζει με μικρό ρυθμό.

Στη παρούσα διατριβή εκτιμήθηκε η συμπεριφορά της κάθε τεχνικογεωλογικής ενότητας με βάση το διάγραμμα συμπεριφοράς σήραγγας για βραχομάζες (TBC). Αφού αποτυπώθηκαν, βρέθηκε η κατανομή της συμπεριφοράς της βραχομάζας ανά χιλιομετρική θέση στα τεχνικογεωλογικά μοντέλα των δύο κλάδων της σήραγγας και στο τεχνικογεωλογικό μοντέλο που κατασκευάστηκε με στοιχεία της μελέτης. Οι κατανομές των συμπεριφορών των διάφορων μοντέλων που προέκυψαν με τη χρήση του TBC συγκρίθηκαν μεταξύ τους αλλά και με τις εκτιμήσεις της αναδόχου εταιρείας στα Δελτία της Χαρτογράφησης των Μετώπων. Οι εκτιμήσεις της συμπεριφοράς της μελέτης με την χρήση του TBC διέφερε αρκετά με αυτές με τα στοιχεία κατασκευής, εφόσον η μελέτη θεωρεί πιο εκτεταμένη την παρουσία του ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου. Οι εκτιμήσεις της αναδόχου εταιρείας των Δελτίων Χαρτογράφησης των Μετώπων ως προς τη

συμπεριφορά είναι σχετικά ηπιότερες με αυτές με τη χρήση του TBC, αφού λαμβάνονταν υπόψη και τα μέτρα υποστήριξης.

Χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Unwedge (Rockscience Corp) σε δύο ενδεικτικές περιοχές όπου η σήραγγα διαπερνά ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο, με σκοπό την εξέταση αστοχιών βαρυτικού χαρακτήρα. Η πρώτη περιοχή εντοπίζεται στις χιλιομετρικές θέσεις 7620 έως 8360 στο Βόρειο κλάδο. Καταγράφηκαν τα συστήματα ασυνεχειών που εντοπίζονται στην περιοχή με βάση τα στοιχεία της μελέτης και της κατασκευής. Έπειτα τοποθετήθηκαν στο πρόγραμμα Unwedge ώστε να εντοπιστούν όλοι οι συνδυασμοί σφηνών που αστοχούν και οι παράμετροι τους όπως όγκος και συντελεστής ασφαλείας F. Οι σφήνες που προέκυψαν από τα στοιχεία της κατασκευής συγκρίθηκαν με αυτές που προέκυψαν με τα στοιχεία της μελέτης. Σ' αυτήν την περιοχή οι σφήνες που προκύπτουν από την μελέτη είναι πιο μεγάλες κατά μέσο όρο και πιο απαιτητικές σε μέτρα υποστήριξης από αυτές που προέκυψαν από τα στοιχεία της κατασκευής. Στη περιοχή με χιλιομετρικές θέσεις 9894 έως 10000m πραγματοποιήθηκε η προαναφερθείσα διαδικασία. Στο άνω δεξιό τμήμα της διατομής αναμένονται μεγαλύτερες σφήνες, με τα στοιχεία της κατασκευής, ενώ στο άνω αριστερό αναμένονται μεγαλύτερες σφήνες, με τα στοιχεία της μελέτης.

Τέλος επιλέχτηκαν δύο θέσεις όπου εντοπίζεται φυλλίτης ανάμεσα σε δύο στρώματα ανακρυσταλλωμένου ασβεστόλιθου και που έχουν παρουσιάσει διατμητική αστοχία. Η πρώτη θέση βρίσκεται στη χιλιομετρική θέση 10725m στο Βόρειο κλάδο, ενώ η δεύτερη στη χιλιομετρική θέση 10705 στο Νότιο κλάδο. Σε αυτές τις δύο θέσεις πραγματοποιήθηκε ανάστροφη ανάλυση ώστε να προσδιοριστεί η γεωμετρία και η απόσταση των στρωμάτων. Και στις δύο θέσεις παρατηρήθηκε ότι υπάρχει σίγουρα στρώμα ανακρυσταλλωμένου ασβεστολίθου με διεύθυνση κλίσης προς τα Βόρεια. Επίσης μέσα από τις αναλύσεις αυτές έγινε κατανοητό ότι ένα στρώμα με πολύ καλές τεχνικογεωλογικές παραμέτρους κοντά σε σήραγγα που διαπερνά πτωχής ποιότητας βραχομάζα μπορεί να μειώσει κατά πολύ τις μετακινήσεις.



Βιβλιογραφία

- Aksoy, C. O., Geniş, M., Aldaş, G. U., Özacar, V., Özer, S. C., & Yılmaz, Ö. (2012). A comparative study of the determination of rock mass deformation modulus by using different empirical approaches. *Engineering Geology*, 131, 19-28.
- Barton, N. (2002). Some new Q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design. *International journal of rock mechanics and mining sciences*, 39(2), 185-216.
- Barton, N.R., Lien, R., Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support
- Bianchetti, G., Zuber, F., Vuataz, F.-D., Rouiller, J. D. (1993). Hydrogeologic and geothermal investigations in the Simplon Tunnel (in German with English summary). Contribution to the geology of Switzerland, Schweizerische Geotechnische Kommission, Zürich, 75p.
- Bieniawski, Z.T. (1973). Engineering classification of jointed rock masses *Trans S Afr Inst Civ Engrs* 15: 335-344
- Brandau, K. (1909). Das Problem des Baus langer, tiefliegender Alpentunnels und die Erfahrungen beim Bau des Simplon Tunnels. *Schweiz. Bauz.* 53.
- Brunold, R. (1993): Probleme bei der Durchörterung von Störzonen auf der Südseite. *Proc., SIA-FGU*, D0113, 41–44.
- Chronic, H. (1980). *Roadside geology of Colorado*, Mountain Press Publishing, Missoula, Montana, 153.
- Das, J. P., Dwivedi, H. V., & Bhattacharyya, K. (2014). Structural evolution of L-tectonites from eastern Sikkim Himalayan fold thrust belt: insights from kinematic analyses. *Rock Deformation and Structures (RDS-III)* Abstract, 27-28.
- Dube, A. K. (1979). Geomechanical evaluation of tunnel stability under failing rock conditions in a Himalayan tunnel. *Dept of Civil Eng*, 2, 212.
- Dwivedi, R. D., Singh, M., Viladkar, M. N., & Goel, R. K. (2014). Estimation of support pressure during tunnelling through squeezing grounds. *Engineering Geology*, 168, 9-22.

Giannatos, G., Poulimenos, G., Kontothanassis, P., Mantziaras, P., Koronakis, N. (2008). Geological-Hydrogeological study of Tunnel main body Engineering report. Maliakos Kleidi Project.

Goel, R. K. (1994). Correlations for Predicting Support Pressures and Deformations in Tunnels.

Hitchcock and Tinkler Inc. (1928): Moffat Tunnel: The contractors' story, 60 p.

Hoek E., Brown E.T. (1997). Practical estimates of rock mass strength. Int J Rock Mech Min 34(8): 1165–1186

Hoek, E., & Diederichs, M. S. (2006). Empirical estimation of rock mass modulus. International journal of rock mechanics and mining sciences, 43(2), 203-215.

Hoek, E., & Guevara, R. (2009). Overcoming squeezing in the Yacambú-Quibor tunnel, Venezuela. Rock Mechanics and Rock Engineering, 42(2), 389-418.

Keller, F. (1993): Geologie des Zugwald und Vereinatunnels. In: Proc., SIA-FGU, D0113, Zurich, 13–20.

Kilias, A. (1996). Tectonic evolution of the Olympus-Ossa Mountains: Emplacement of the blueschist unit in Eastern Thessaly and Exhumation of Olympus-Ossa carbonate dome as a result of Tertiary Extension (Central Greece). Mineral Wealth 96/1995.

Kontogianni, V. A., & Stiros, S. C. (2005). Induced deformation during tunnel excavation: evidence from geodetic monitoring. Engineering geology, 79(1), 115-126.

Kontogianni, V., Papantonopoulos, C., & Stiros, S. (2008). Delayed failure at the Messochora tunnel, Greece. Tunnelling and Underground Space Technology, 23(3), 232-240.

Kontogianni, V., Tzortzis, A., & Stiros, S. (2004). Deformation and failure of the Tymfristos tunnel, Greece. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 130(10), 1004-1013.

Kumar, N. (2002). Rock mass characterization and evaluation of supports for tunnels in Himalaya (Doctoral dissertation, Ph. D. Thesis Dept. Of Civil Engg., IIT Roorkee, Roorkee, India).

Lovering, T. S. (1928). Geology of the Moffat Tunnel, Colorado. US Geological Survey.

Malhotra, V.K., Tyagi, G.D., Sharma K.S. (1982) NATM for Tunnel Boring at Loktak H. E. Project Proc. of Sym. on Tunnelling, 52nd Session of the Central Board of Irrigation & Power, New Delhi, India (1982), pp. 35–58 (June)

Maliakos Kleidi Construction Joint Venture (MKC-JV) (μη δημοσιευμένο) Tempi and Platamonas Tunnels_T1_T2_T3

Marinos, P., & Hoek, E. (2000, November). GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. In ISRM International Symposium. International Society for Rock Mechanics.

Marinos, V., (2012) Assessing rock mass behavior for tunneling. Environmental and Engineering Geoscience.

Nicholson, G. A., & Bieniawski, Z. T. (1990). A nonlinear deformation modulus based on rock mass classification. International Journal of Mining and Geological Engineering, 8(3), 181-202.

Palmström, A., & Singh, R. (2001). The deformation modulus of rock masses—comparisons between in situ tests and indirect estimates. Tunnelling and Underground Space Technology, 16(2), 115-131.

Palmstrom, A. (1996). Characterizing rock masses by the R_{Mi} for use in practical rock engineering, part 2: some practical applications of the rock mass index (R_{Mi}). Tunnelling and underground space technology, 11(3), 287-303.

Pöckhacker, H. (1974). Tunnelling in squeezing rock, theory and practice. Separate print from Porr-Nachrichten, (57), 464-512.

Pressel, K. (1906). Die Bauarbeiten am Simplontunnel. Schweiz. Bauz. 50, 249 ff.

Proctor, R.V., White, T.L. (1946). Rock tunnelling with steel supports Commercial Shearing and Stamping Co Youngston, Ohio

Rabcewicz L.V. (1964). The New Austrian Tunneling Method, Water Power, Part I, November 1964; Part II, December 1964, pp 511–515; Part III, January 1965, pp 19–24

Schermer, E. R. (1993). Geometry and kinematics of continental basement deformation during the Alpine orogeny, Mt. Olympos region, Greece. Journal of Structural Geology, 15(3-5), 571-591.

Sonmez, H., Gokceoglu, C., & Ulusay, R. (2004). Indirect determination of the modulus of deformation of rock masses based on the GSI system.



International journal of rock mechanics and mining sciences, 41(5), 849-857.

Steiner, W. (1980). Empirical methods in rock tunnelling: review and recommendations. Thesis submitted for the degree of Sc.D. to the Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 552 pp. also published as report of the US. DOT, UMTA-MA-06-0100-80-8, NTIS PB80-225196.

Steiner, W. (1996). Tunnelling in squeezing rocks: case histories. Rock mechanics and rock engineering, 29(4), 211-246.

Tauernautobahn (1978): Documentation on Tauerntunnel, Salzburg.

Tsatsanifos, C. P., Mantziaras, P. M., & Georgiou, D. (1999). Squeezing rock response to NATM tunneling. A case study. In Proc. of the Int. Symp. on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Rock (pp. 167-172).

Varshney, R. S. (1988). Tunnelling in squeezing rocks. In Int. Symp. on Tunnelling for Water Resources and Power Project. Jan (Vol. 188).

Κίλιας, Α., Frisch, W., Ratschbacher, L., Σφέικος, Α. (1991). Η τεκτονική εξέλιξη και οι P-T συνθήκες μεταμόρφωσης των << Κυανοσχιστολίθων >> της ανατολικής Θεσσαλίας (Βόρεια/Κεντρική Ελλάδα)

Μουντράκης, Δ. (2010). Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδος. University Studio Press.

<http://wikimapia.org/20312743/el/Σήραγγα-T2-Τεμπών-6-000-μ>



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

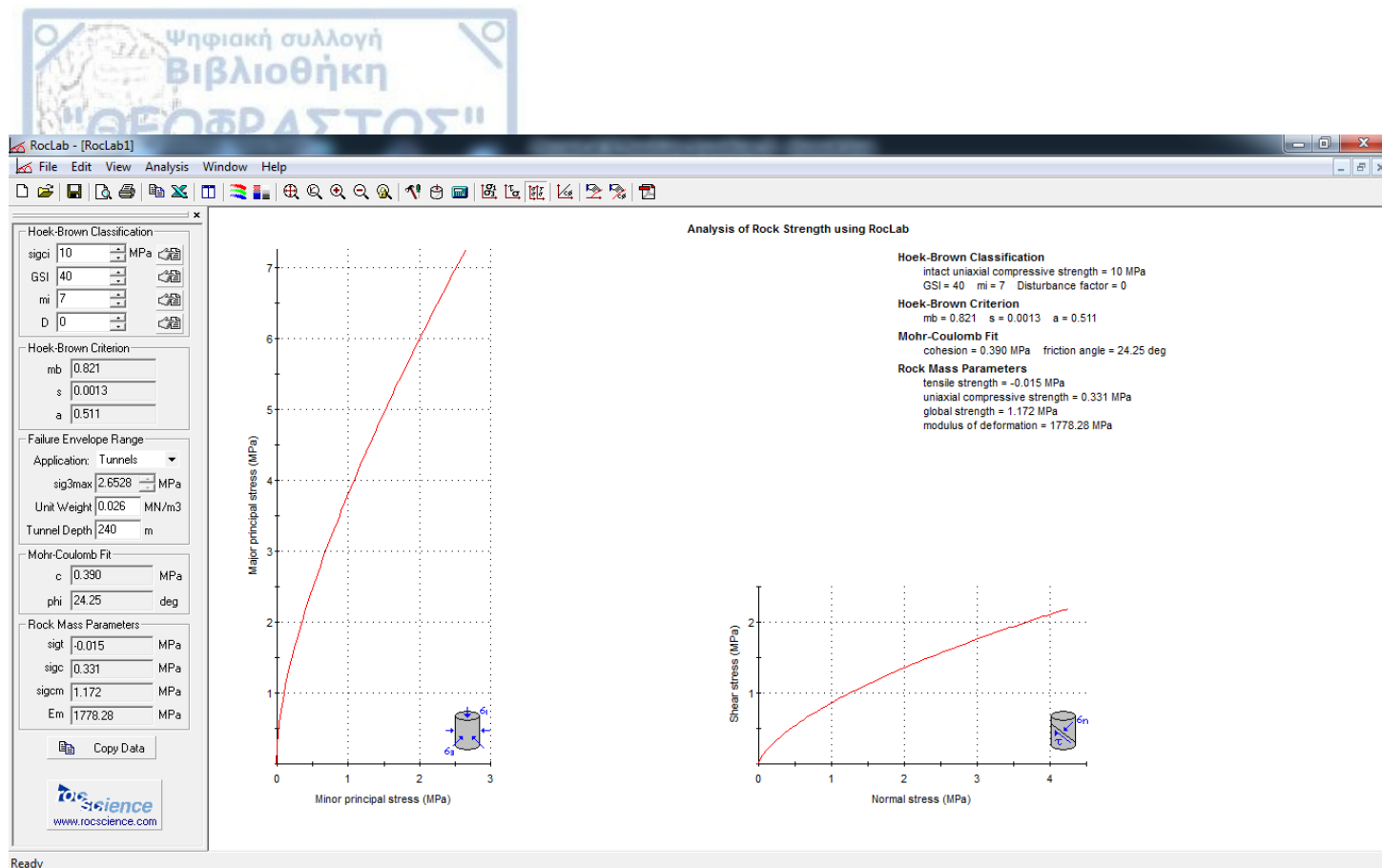
Αποτελέσματα RockLab για την εύρεση των Παραμέτρων των
επιμέρους Τεχνικογεωλογικών Ενοτήτων

Οι τεchnικογεωλογικές ενότητες που προέκυψαν από τα στοιχεία της χαρτογράφησης των μετώπων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα

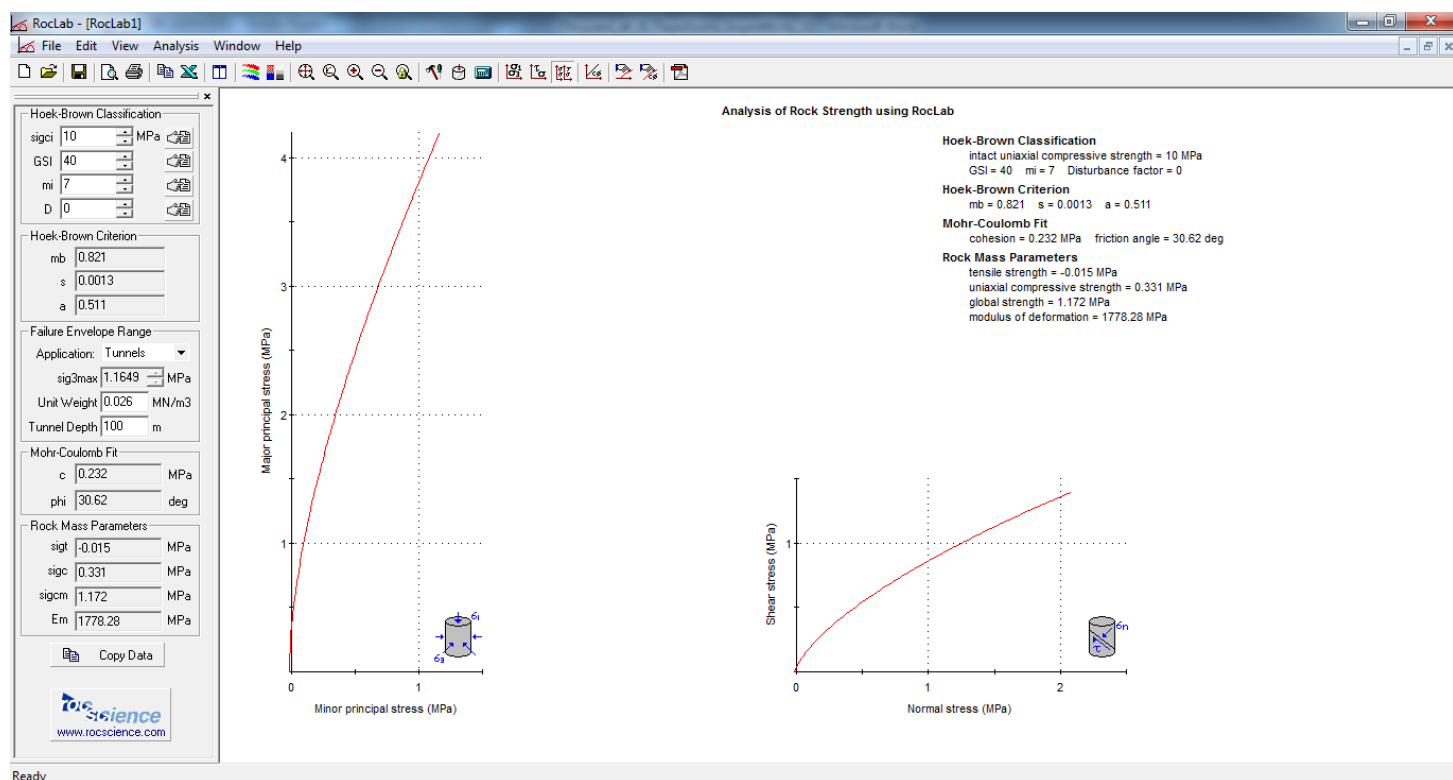
ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΝΟΤΗΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Όνομα	Περιγραφή	GSI	σ_{ci}	m_i	c	ϕ	E	Πάχος υπερκειμένων
ph1	Διατομή με φυλλίτη, με δομή στρωματώδη και πτυχωμένη. Παρουσιάζει μικρό έως μέτριο βαθμό αποσάθρωσης.	35-45	1-25	7	0,232-0,399	24-31	1778	100-240
ph2	Διατομή με φυλλίτη, με δομή στρωματώδη και πτυχωμένη. Παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης.	20-30	1-25	7	0,165-0,211	23-26	750	100-150
ph3	Διατομή με φυλλίτη, με φυλλοποιημένη δομή. Παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης έως και την εδαφοποίηση του υλικού.	10-20	<5	7	0,021-0,061	9-16	134	25-150
k1	Διατομή με ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο, δομή που κυμαίνεται από τεμαχώδη έως πολύ τεμαχώδη. Παρουσιάζει μικρό βαθμό αποσάθρωσης.	55-65	150-200	12	2,156-2,915	55-63	17783	25-250
k2	Διατομή με ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο, δομή που κυμαίνεται από πολύ τεμαχώδη έως στρωματώδη, πτυχωμένη. Παρουσιάζει μικρό έως μέτριο βαθμό αποσάθρωσης.	40-50	40-70	12	0,343-1,025	43-58	5561	25-250
k3	Διατομή με ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο, δομή που κυμαίνεται από πολύ τεμαχώδη έως στρωματώδη, πτυχωμένη. Παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης.	25-35	40-70	12	0,193-0,753	38-55	2345	25-250
k4	Διατομή με ανακρυσταλλωμένο ασβεστόλιθο, δομή αποδιωργανωμένη. Παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης.	15-25	40-70	12	0,134-0,579	34-50	1759	25-250

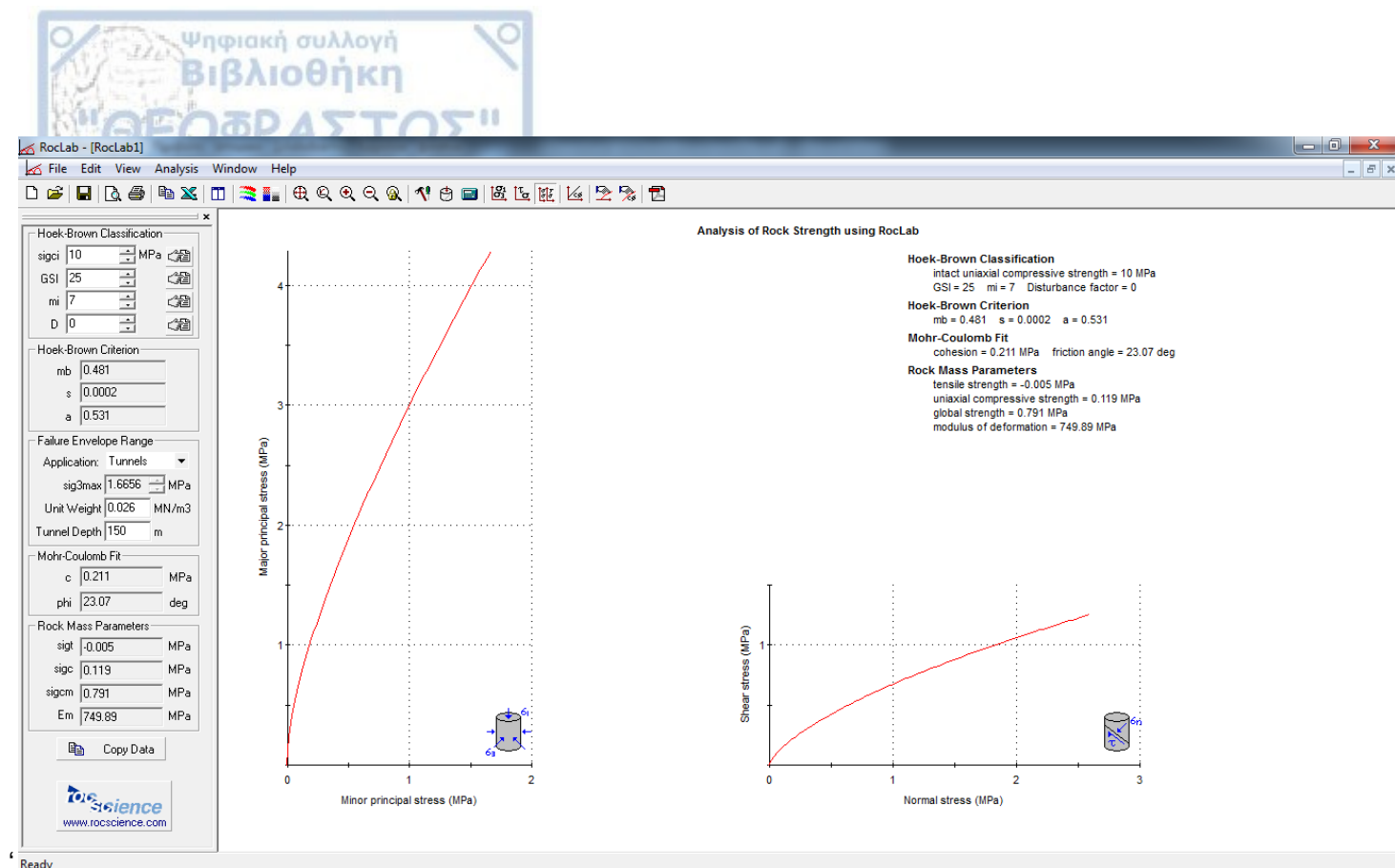
Για την εύρεση της συνοχής c, της γωνίας τριβής ϕ και του μέτρου ελαστικότητας E, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα RockLab. Παρακάτω απεικονίζονται τα αποτελέσματα του προγράμματος για τον κάθε ενότητα για το μέγιστο και ελάχιστο πάχος υπερκειμένων.



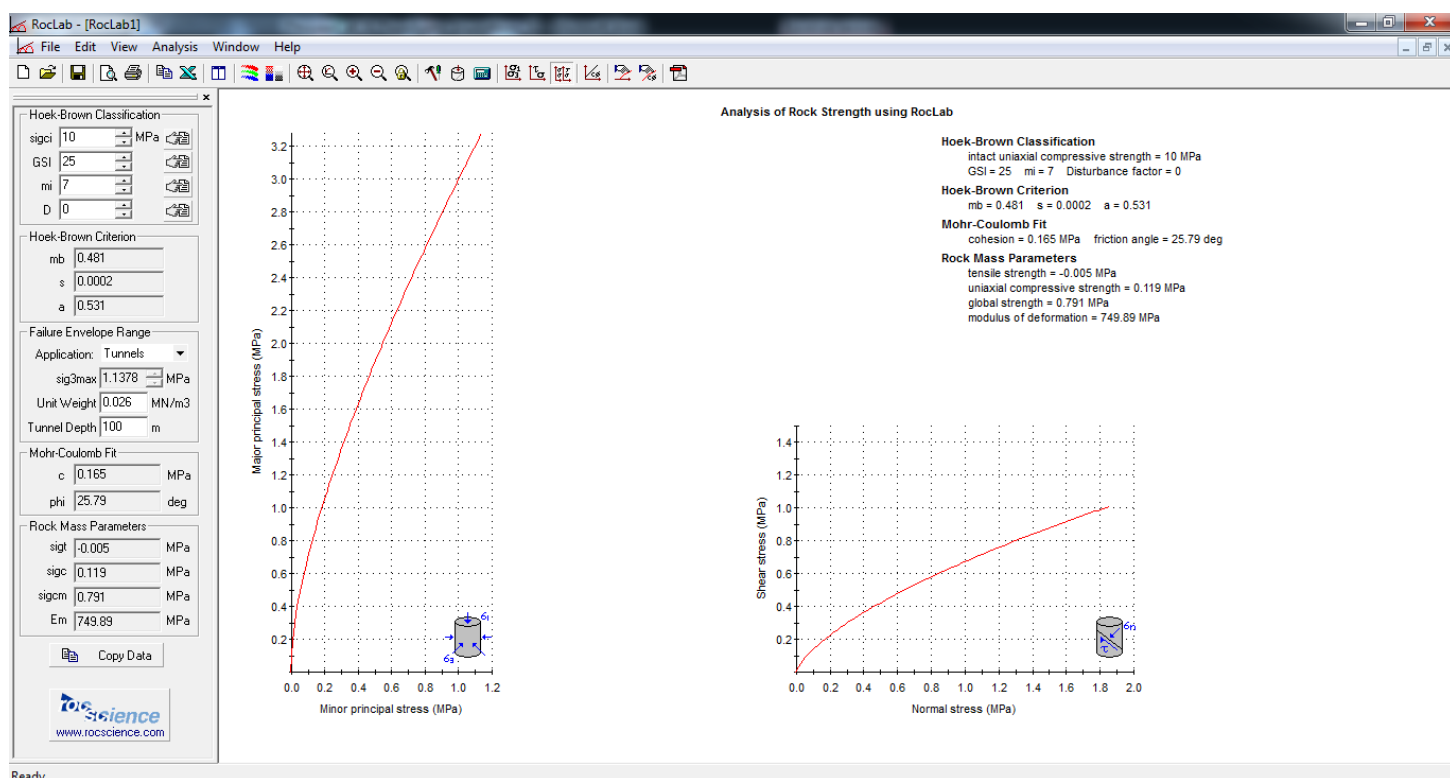
Αποτελέσματα RockLab για την τεχνικογεωλογική ενότητα ρh1 με πάχος υπερκειμένων 240m.



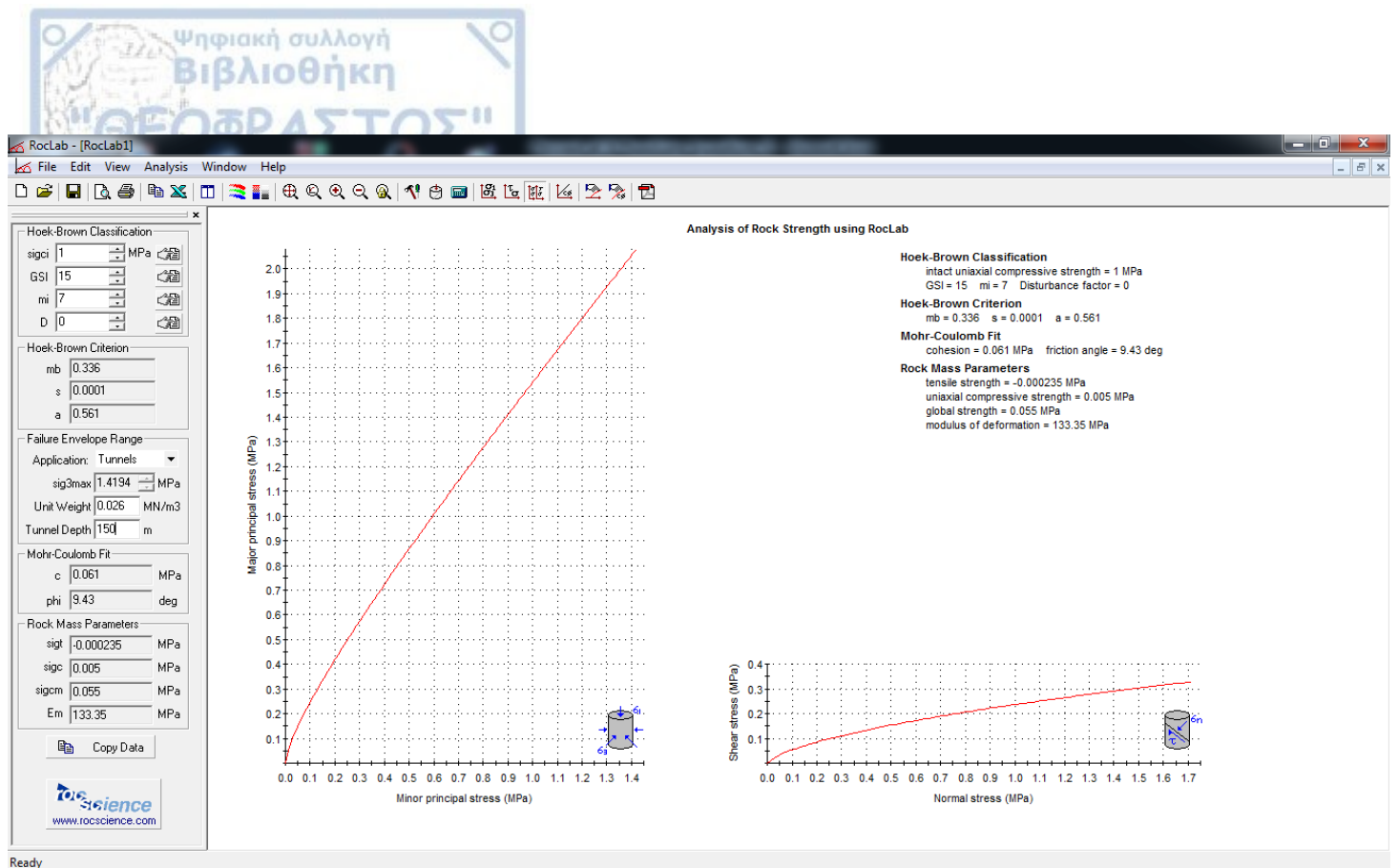
Αποτελέσματα RockLab για την τεχνικογεωλογική ενότητα ρh1 με πάχος υπερκειμένων 100m.



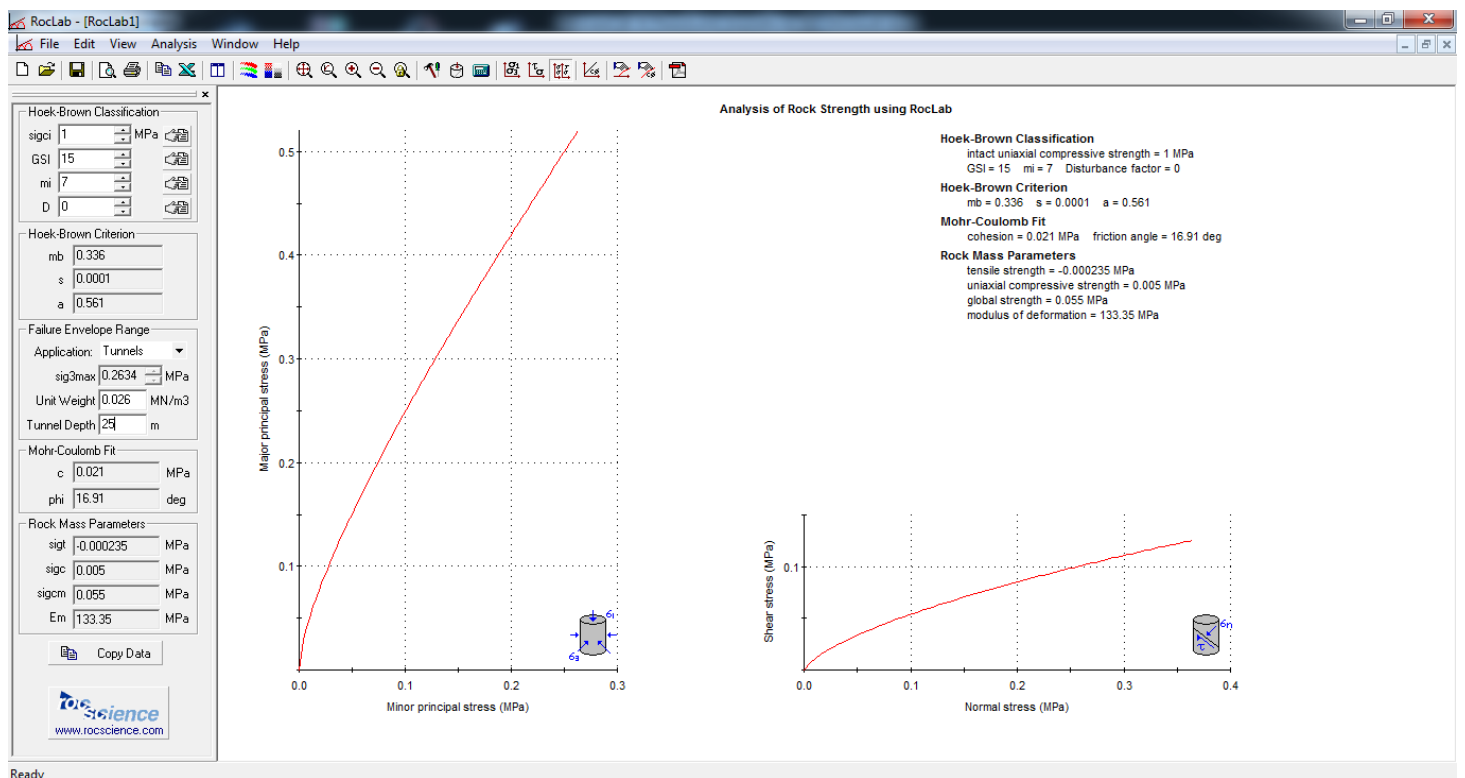
Αποτελέσματα RockLab για την τεχνικογεωλογική ενότητα ρh2 με πάχος υπερκειμένων 150m.



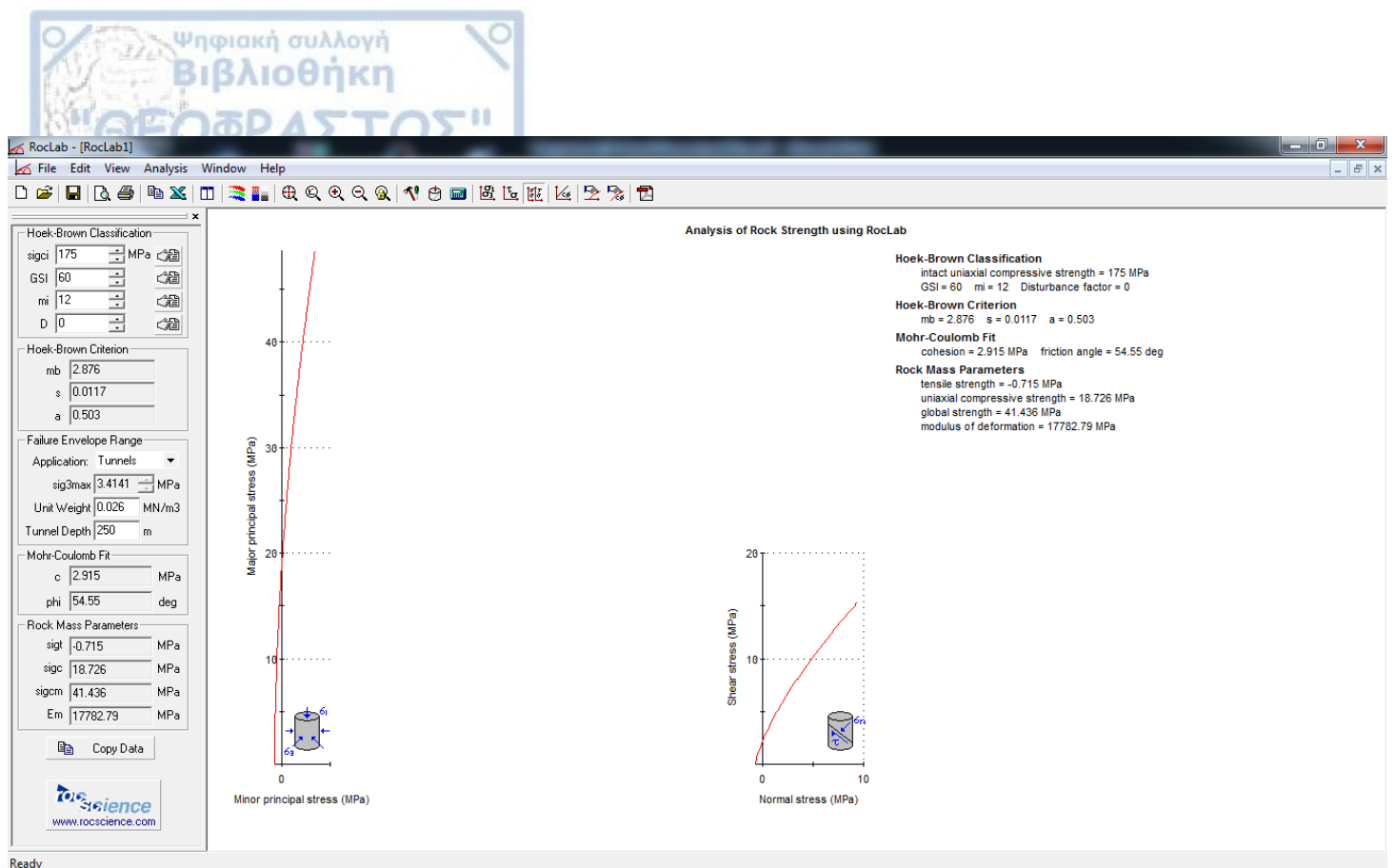
Αποτελέσματα RockLab για την τεχνικογεωλογική ενότητα ρh2 με πάχος υπερκειμένων 100m.



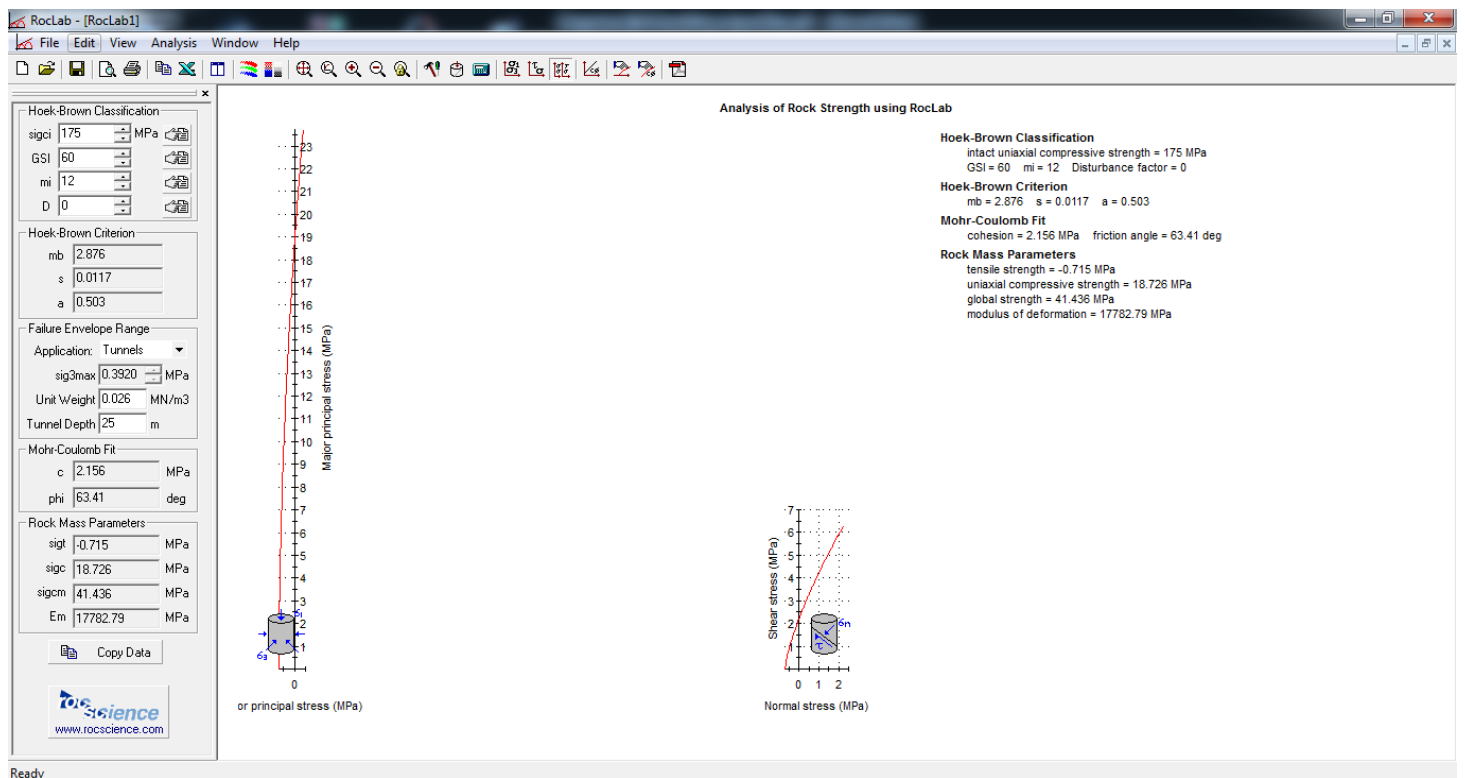
Αποτελέσματα RocLab για την τεχνικογεωλογική ενότητα ρh3 με πάχος υπερκειμένων 150m.



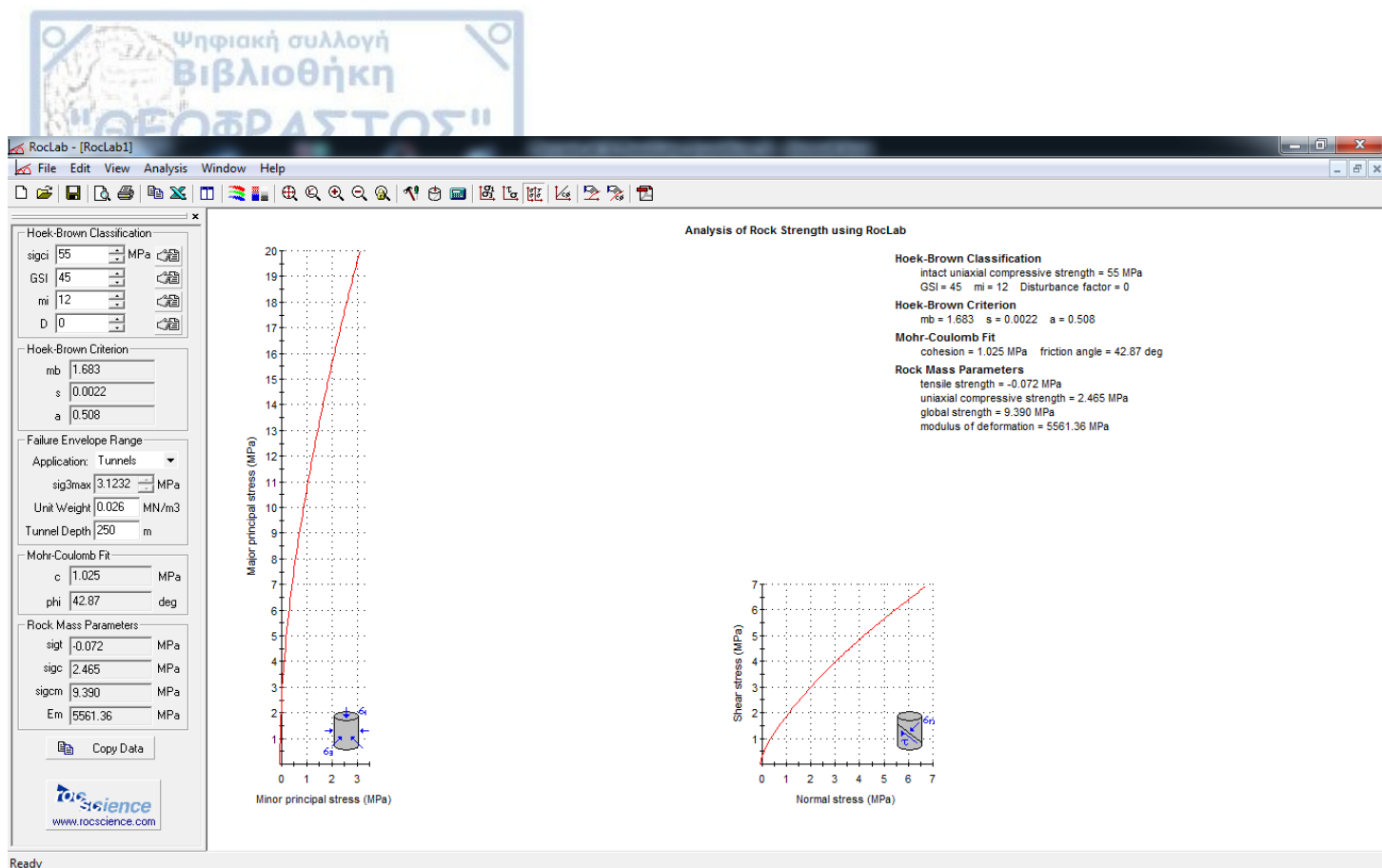
Αποτελέσματα RocLab για την τεχνικογεωλογική ενότητα ρh3 με πάχος υπερκειμένων 25m.



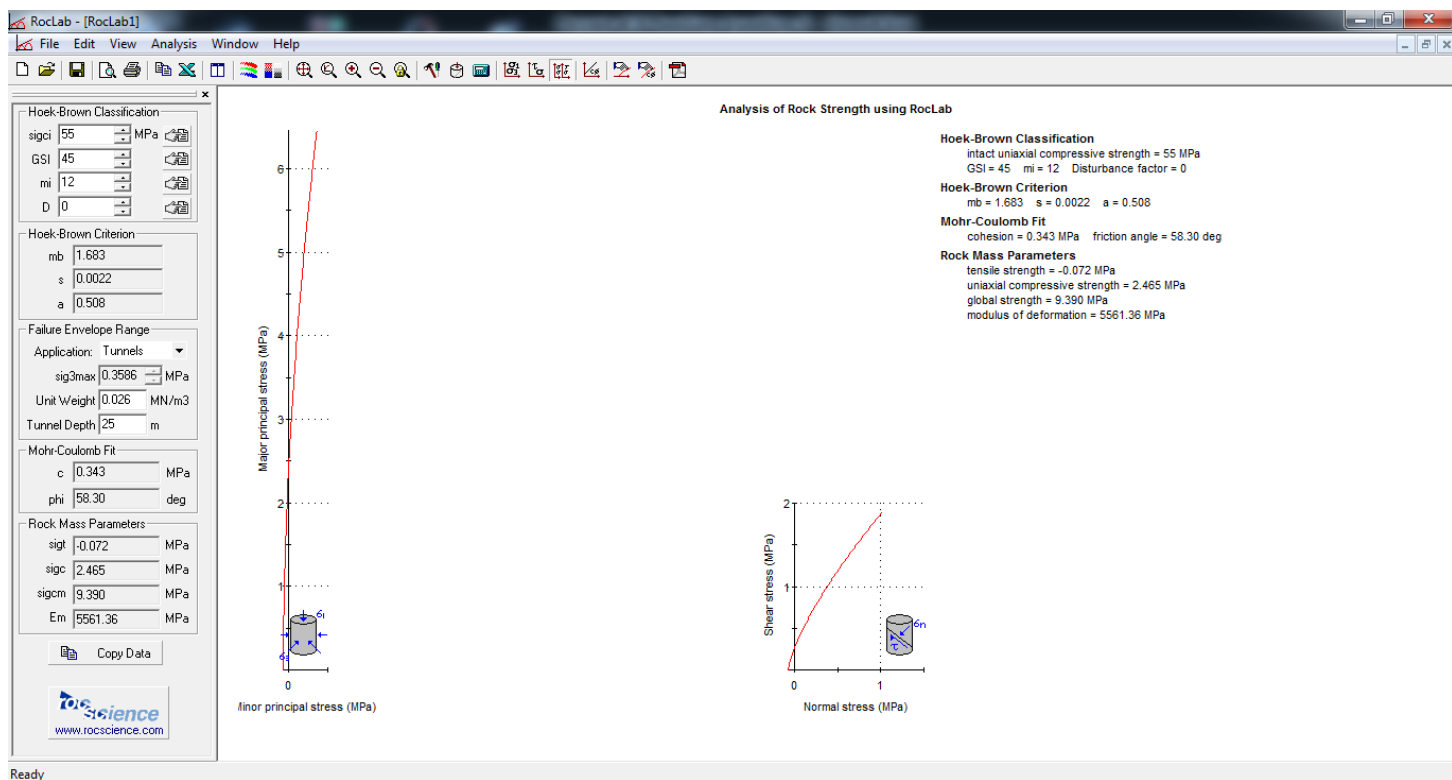
Αποτελέσματα RockLab για την τεχνικογεωλογική ενότητα k1 με πάχος υπερκειμένων 250m.



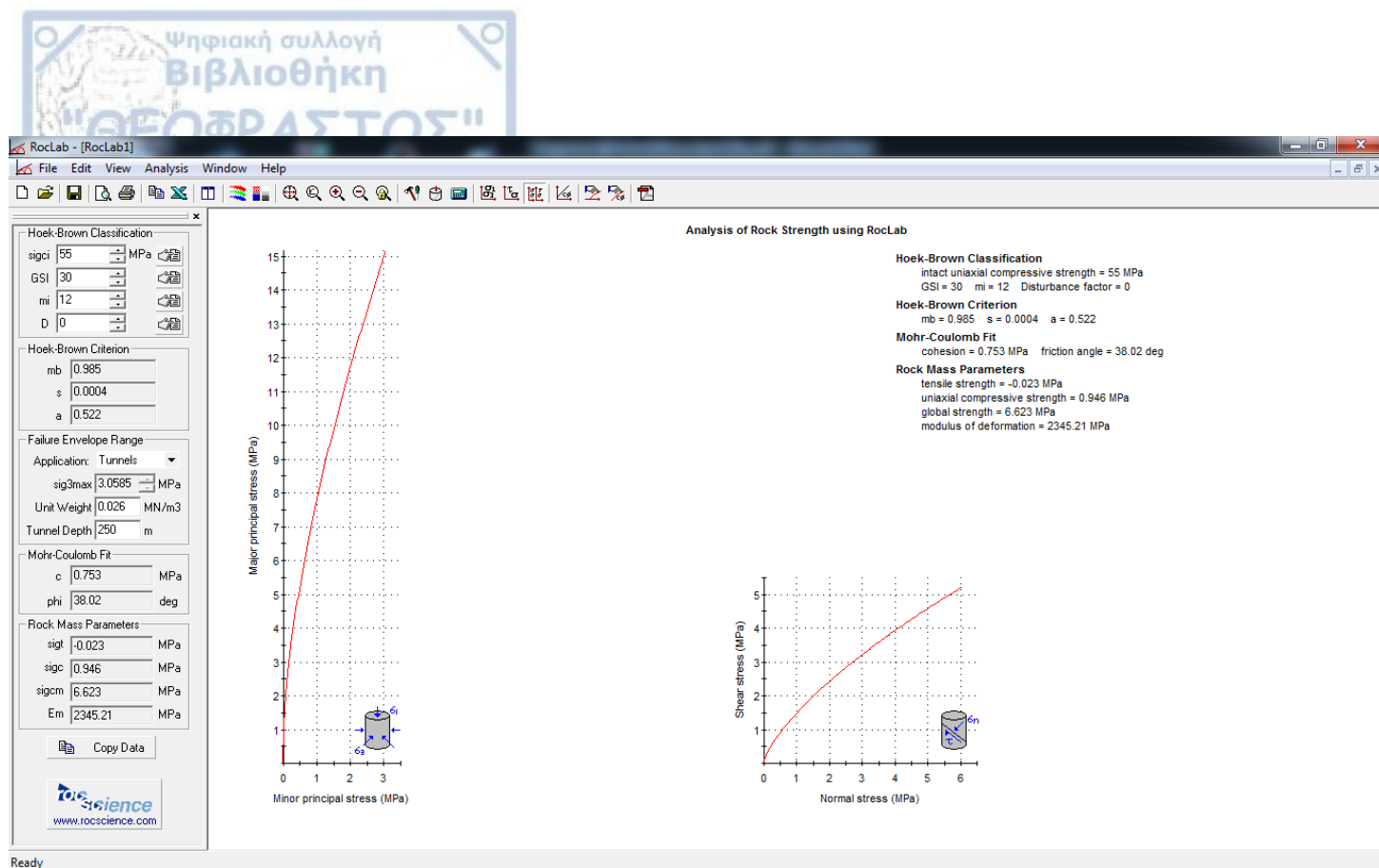
Αποτελέσματα RockLab για την τεχνικογεωλογική ενότητα k1 με πάχος υπερκειμένων 25m.



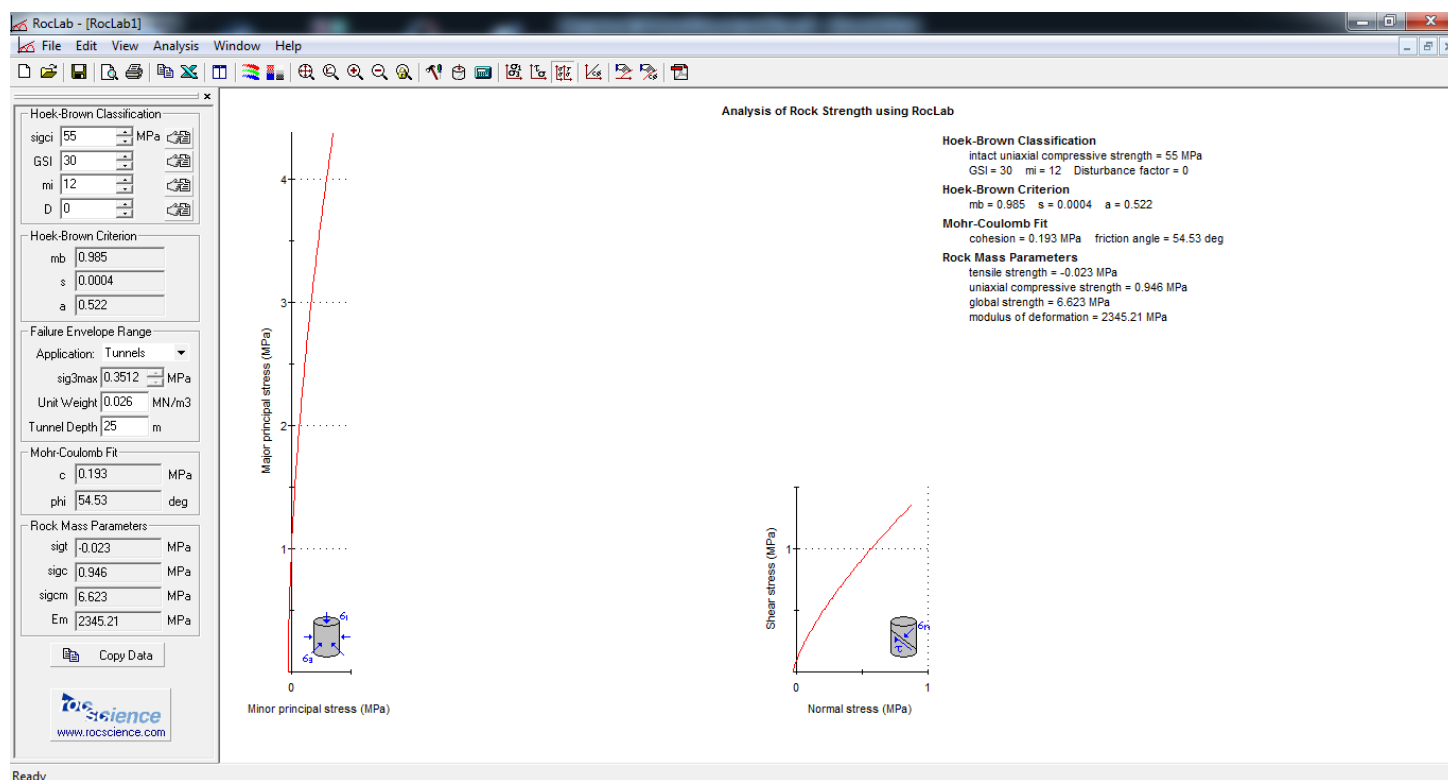
Αποτελέσματα RockLab για την τεχνικογεωλογική ενότητα k2 με πάχος υπερκειμένων 250m.



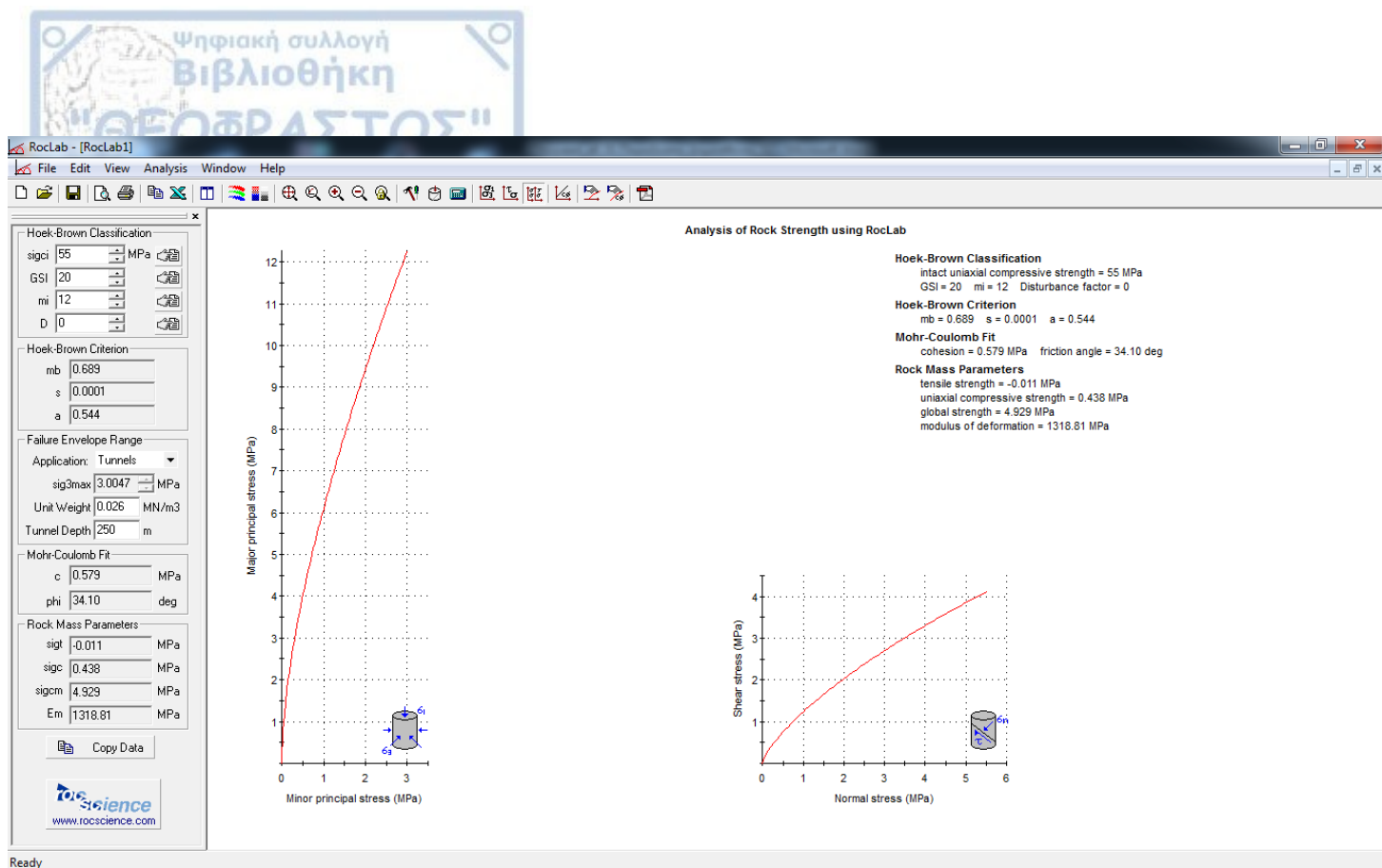
Αποτελέσματα RockLab για την τεχνικογεωλογική ενότητα k2 με πάχος υπερκειμένων 25m.



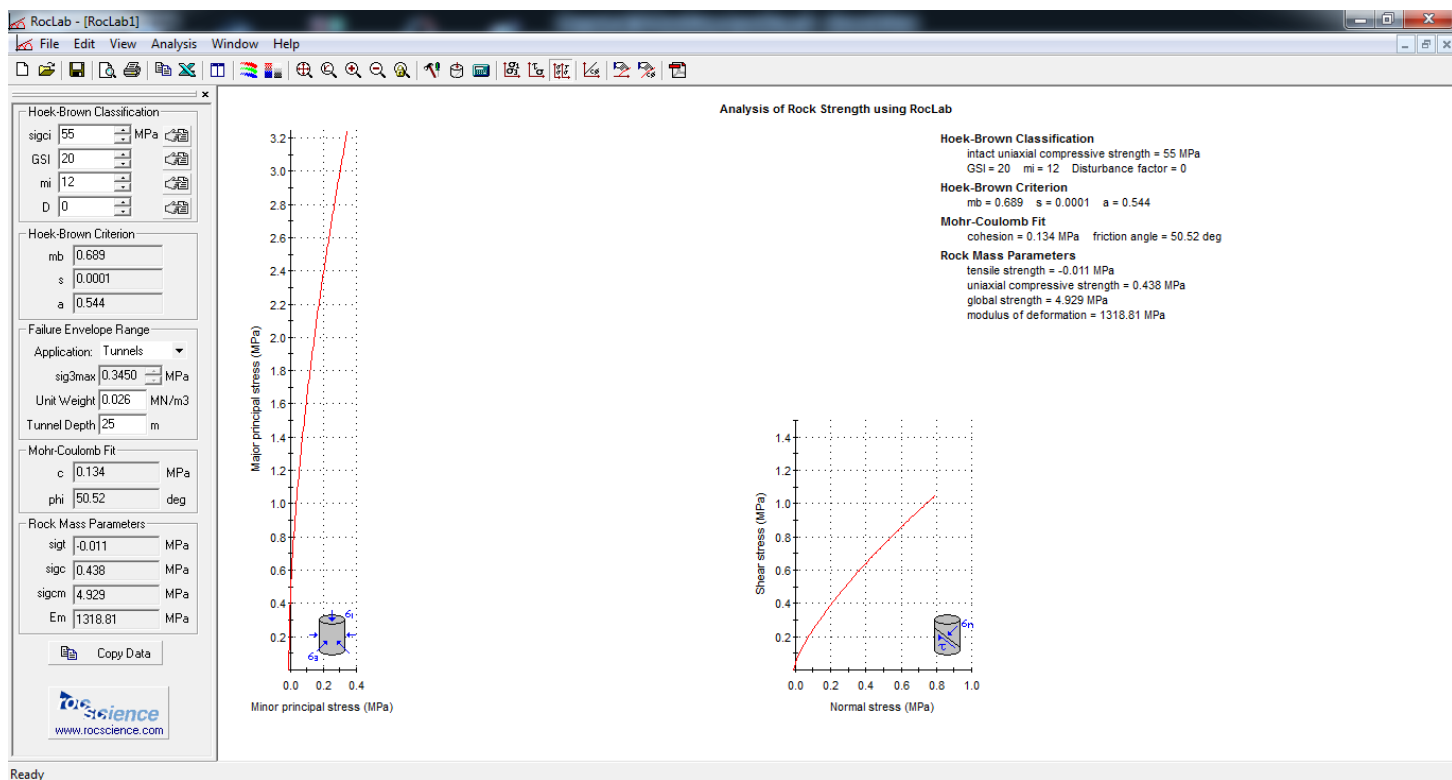
Αποτελέσματα RocLab για την τεχνικογεωλογική ενότητα k3 με πάχος υπερκειμένων 250m.



Αποτελέσματα RocLab για την τεχνικογεωλογική ενότητα k3 με πάχος υπερκειμένων 25m.



Αποτελέσματα RockLab για την τεχνικογεωλογική ενότητα k4 με πάχος υπερκειμένων 250m.



Αποτελέσματα RockLab για την τεχνικογεωλογική ενότητα k4 με πάχος υπερκειμένων 25m.