



ΕΡΙΦΥΛΗ-ΑΓΓΕΛΙΚΗ Π. ΧΑΣΤΑΟΓΛΟΥ Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΘΕΜΑΤΑ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΠΕΤΡΑΣ ΣΤΟΝ ΚΑΘΕΤΟ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ «ΞΑΝΘΗ-ΕΧΙΝΟΣ-ΕΛΛΗΝΟΒΟΥΛΓΑΡΙΚΑ ΣΥΝΟΡΑ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ 'ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ', ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: 'ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ'

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2021

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης





ΕΡΙΦΥΛΗ-ΑΓΓΕΛΙΚΗ Π. ΧΑΣΤΑΟΓΛΟΥ Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΘΕΜΑΤΑ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΠΕΤΡΑΣ ΣΤΟΝ ΚΑΘΕΤΟ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ «ΞΑΝΘΗ-ΕΧΙΝΟΣ-ΕΛΛΗΝΟΒΟΥΛΓΑΡΙΚΑ ΣΥΝΟΡΑ»

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Έφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία', Κατεύθυνση 'Τεχνική Γεωλογία και Περιβάλλον'

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 15/07/2021

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Επίκουρος Καθηγητής Μαρίνος Βασίλειος, Επιβλέπων Καθηγητής Χρηστάρας Βασίλειος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής ΕΔΙΠ Μακεδών Θωμάς, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

© Εριφύλη-Αγγελική Π. Χαστάογλου, Γεωλόγος, 2021 Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. ΘΕΜΑΤΑ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΠΕΤΡΑΣ ΣΤΟΝ ΚΑΘΕΤΟ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ «ΞΑΝΘΗ-ΕΧΙΝΟΣ-ΕΛΛΗΝΟΒΟΥΛΓΑΡΙΚΑ ΣΥΝΟΡΑ» – Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

© Erifyli-Angeliki P. Chastaoglou, Geologist, 2021 All rights reserved.

ISSUES OF ENGINEERING GEOLOGICAL BEHAVIOUR AND TEMPORARY SUPPORTING MEASURES OF ROCKMASSES DURING THE EXCAVATION

SUPPORTING MEASURES OF ROCKMASSES DURING THE EXCAVATION OF PETRA TUNNEL IN THE VERTICAL AXIS OF THE EGNATIA HIGHWAY "XANTHI-ECHINOS-GREEKBOULGARIAN BORDERS" – *Master Thesis*

Citation:

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Α.Π.Θ

Χαστάογλου Ε. Π., 2021. – Θέματα τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς και προσωρινής υποστήριξης βραχομαζών κατά την διάνοιξη της σήραγγας Πέτρας στον Κάθετο Άξονα της Εγνατίας Οδού «Ξάνθη-Εχίνος-Ελληνοβουλγαρικά Σύνορα». Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 401 σελ.

Chastaoglou E. P., 2021. – Issues of engineering geological behavior and temporary supporting measures of rockmasses during the excavation of Petra tunnel in the Vertical Axis of the Egnatia Highway "Xanthi-Echinos-Greekboulgarian borders". Master Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 401 pp.

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

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Γμήμα Γεωλογίας

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η γεωλογική και τεχνικογεωλογική αξιολόγηση της βραχόμαζας και οι προτάσεις μέτρων άμεσης υποστήριξης που, αφορούν την σήραγγα «Πέτρα» (Σ2Ν) του Κάθετου Άξονα της Εγνατίας Οδού «Ξάνθη-Εχίνος-Ελληνοβουλγαρικά σύνορα». Η εξεταζόμενη σήραγγα αποτελεί πραγματικό παράδειγμα, όπως και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν. Η κατασκευή της βέβαια, δεν έχει ακόμη ολοκληρωθεί, κάτι το οποίο αποτελεί πρόκληση, για την εργασία αυτή, στην διερεύνηση των αναμενόμενων συνθηκών και της συμπεριφοράς της βραχόμαζας στο υπόγειο.

Το μικρό της μήκος (170m), η καλή ποιοτικά βραχόμαζα των μετάορογενετικών ηφαιστειακών σχηματισμών της περιοχής (τόφφοι και λατυποπαγή), το μεγάλο υψόμετρο κατασκευής της (~1050m) και η αραιή σεισμικότητα, προαναγγέλλουν συνθήκες ευνοϊκές για το υπόγειο. Δεν εκλείπουν βέβαια οι ιδιαιτερότητες των σχηματισμών μολασσικού τύπου που αποτελούν πρόκληση κατά τον σχεδιασμό και κατασκευή του έργου.

Σε συνέχεια λοιπόν της συγκέντρωσης βιβλιογραφικών στοιχείων για την περιοχή και την εξεταζόμενη βραχόμαζα και καταγραφής ενός θεωρητικού υποβάθρου για τα μέτρα άμεσης υποστήριξης, πραγματοποιείται στατιστική ανάλυση των τεχνικογεωλογικών παραμέτρων της, τόσο για την ευρύτερη όσο και στενή περιοχή της σήραγγας. Οι εν λόγω παράμετροι αφορούν τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της βραχόμαζας από αξιολόγησή της με τα συστήματα ταξινόμησης (GSI, RQD, RMR, βαθμού αποσάθρωσης) και τα αποτελέσματα εργαστηριακών (π.χ. σ_{ci}, I_{s(50)}) και επιτόπου (π.χ. περατότητας) δοκιμών, καταγεγραμμένων στα μητρώα. Επιπλέον, πέραν τον γεωλογικών, κατασκευάζονται τεχνικογεωλογικές μηκοτομές και διατομές.

Με βάση τα παραπάνω, εξάγονται και περιγράφονται οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που θα απαντηθούν κατά την εκσκαφή της σήραγγας, ενώ με την εφαρμογή του κριτηρίου Hoek-Brown σε κάθε μία από αυτές, προκύπτουν οι παράμετροι σχεδιασμού κατά μήκος της. Έπειτα, στο διάγραμμα τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς κατά την διάνοιξη σηράγγων (TBC) εκτιμάται ο αναμενόμενος μηχανισμός αστοχίας για κάθε Τεχνικογεωλογική Ενότητα, καθώς το υπόγειο ελέγχεται ως προς τις σφηνοειδείς αστοχίες που προκύπτουν, μέσω του **ΒΙβλιοθηκη** προγράμματος Unwedge της Rocscience. Στα πρανή των στομίων εκτελούνται κινηματικές αναλύσεις για την διερεύνηση δυνητικών αστοχιών από ανατροπή, επίπεδων και σφηνοειδών, ενώ αναλύσεις ευστάθειας εκτελούνται για τις επίπεδες και σφηνοειδείς αστοχίες που προκύπτουν.

Ψηφιακή συλλογή

Τέλος, προτείνονται ποιοτικά, ανάλογα τον μηχανισμό αστοχίας, οι τύποι των μέτρων άμεσης υποστήριξης της κάθε ενότητας κατά μήκος της σήραγγας καθώς συστήνεται και ο τρόπος εκσκαφής της.

ABSTRACT

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Γμήμα Γεωλογίας

This Master thesis deals with the geological - engineering geological evaluation of the rockmass and the suggestions for temporary support measures for the Petra tunnel (S2N) in the Vertical Axis of the Egnatia Highway "Xanthi-Echinos-Greekboulgarian borders". The tunnel is a real example, as is the data used. Its construction has not yet been completed, which is a challenge for this master thesis, in terms of investigating the expected conditions and the behavior of the rock mass along the tunnel.

The short length of the tunnel (170m), the good quality of the rock mass of the post-orogenetic volcanic formations of the area (tuffs and breccia), the high construction altitude (~1050m) and the sparse seismicity of the area, constitute favorable conditions for the tunnel construction. On the other hand, the peculiarities of the molasse-type formations, that are a challenge during the design and construction of the project, are also present.

Following the collection of bibliographic data for the area and the examined rock mass and after the recording of a theoretical background for the temporary support measures, a statistical analysis of the engineering geological parameters of the examined rock mass is performed, both for the wider and narrower area of the tunnel. These parameters are related with the engineering geological characteristics of the rockmass, which have been evaluated according to the classification systems (GSI, RQD, RMR, weathering) and also related with laboratory (e.g. σ_{ci} , $I_{s(50)}$) and field (e.g. permeability) data, recorded in registers. In addition to the geological, engineering geological longitudinal sections and cross-sections for the "Petra" tunnel are designed.

According to the above, engineering geological units answered along the tunnel, are described, as well as the design parameters for each engineering geological unit are extracted, through the application of the Hoek-Brown criterion. Thereafter, the expected failure mechanism for each engineering geological unit is estimated according to the Tunnel Behavior Chart (TBC), while, in the underground, wedge failures are specified using the "Unwedge" program, by Rocscience. Kinematic analyzes for the slopes of the portals of "Petra" tunnel are performed to investigate



Finally, depending on the failure mechanism, types of temporary support measures for each engineering geological unit along the tunnel are mainly qualitatively suggested, as well as the modus of tunnel excavation.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

КЕФА	ЛАI	Ο 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	AN	ΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	1
1.2	ΣΤ	ΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΟΥ	1
1.2	2.1	Θέση	1
1.2	2.2.	Σκοπός	9
1.2	2.3.	Τεχνικά χαρακτηριστικά	
1.3	ΔI_{A}	ΑΘΕΣΙΜΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	
1.4	ZH	ITOYMENA	17
1.5.	ME	ΞΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	
КЕФА	ΛAI	Ο 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	22
2.1.	ΓЕ	ΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΚΑΙ ΣΤΕΝΗΣ	
ΠΕΡΙ	IOXI	ΗΣ	
2.2	ΓЕ	ΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ	
2.3.	ΓЕ	ΩΛΟΓΙΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	
2.3	.1	Γενικά	
2.3	5.2	Λεκάνη Θράκης / Ροδόπης	40
2.3	3.3	Ηφαιστειακά Πετρώματα	45
2.3	5.4	Ιγκνιμβρίτης	
2.4.	TE	ΚΤΟΝΙΚΗ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	52
2.4	.1.	Αλπική Τεκτονική	52
2.4	.2.	Μετά-αλπική Τεκτονική	53
2.4	.3.	Τεκτονικά χαρακτηριστικά «Μολάσσας»	59
2.5.	ΣΤ	ΟΙΧΕΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ	
2.6.	YΔ	ΡΟΛΟΓΙΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	64
2.7.	YΔ	ΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΣΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	66
2.8. ΣΤΕΝ	ΤΕ ΝΗΣ	ΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	ΩN THΣ 67
2.8	8.1.	Γενικά	68
2.8	3.2.	Σταθερά m _i	71
2.8	8.3.	Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη σ _{ci}	73
2.8	8.4.	Δείκτης σημειακής φόρτισης ($I_{s(50)}$) και η σχέση με την UCS	74
2.8	8.5.	Σταθερά παραμορφωσιμότητας MR	76

Ψηφιακή συλ Βιβλιοθ	ήκη	
"OFOTPA	ΤΟΣ"	
2.8.6. Τμήμα Γεω	Αλλα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά λονίας	77
2.8.7.	Μικρό-δομή της βραχόμαζας	77
2.8.8.	Τύποι αστοχιών-συμπεριφορά βραχόμαζας-βαρύτητα μέτρων	άμεσης 70
υποστηι	$p_{ij} = p_{ij} = p$	
2.9.9.	Βαθμονομηση μολασσικών σχηματισμών σε βαθός με το GSI	
2.10. N	ΛΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ	
2.10.1.	Διάνοιξη σήραγγας με τη μέθοδο ΝΑΤΜ	82
2.11. N	ΛΕΘΟΔΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΗΡΑΓΓΩΝ	105
КЕФАЛАІ 106	Ο 3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ	ΕΡΓΟΥ
3.1 ГЕ	ΩΛΟΓΙΑ ΣΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	106
3.1.1.	Ηφαιστειακά της στενής περιοχής του έργου	110
3.2 TE	ΚΤΟΝΙΚΗ ΣΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	112
3.2.1.	Ασυνέχεια του ρήγματος	112
3.2.2.	Λοιπές ασυνέχειες	115
3.2.3.	Τεκτονικά Διαγράμματα	118
3.3 ГЕ	ΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΤΕΧΝΙΚ	OY
ЕРГОҮ		119
3.3.1	Κατασκευή γεωλογικής μηκοτομής	120
3.3.2	Κατασκευή γεωλογικών διατομών	134
3.3.3.	Υδροφόρος Ορίζοντας στην σήραγγα	141
ΚΕΦΑΛΑΙ	Ο 4. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΣ	ΧΗΣ
ΕΡΕΥΝΑΣ		145
4.1 EIX	ΖΑΓΩΓΗ	145
4.2 ΣT.	ΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ	
ПАРАМЕ	ΤΡΩΝ	147
4.2.2.	Τεχνικογεωλογικές συνθήκες-Χαρακτηριστικά βραχόμαζας	148
4.2.3.	Εργαστηριακές δοκιμές βραχομηχανικής	215
4.2.4.	Επιτόπου δοκιμές	
4.3 ΔΙΑ ΓΙΑ ΤΗ Σ	ΑΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΝΟ ΤΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ)THTΩN 264
4.3.1	Λιθολογία (σ_{ci}, E_i)	
4.3.2	Δείκτης Γεωλογικής Αντοχής (GSI)	270
4.3.3	Δείκτης Κερματισμού του Πετρώματος (RQD)	271
4.3.4	Περατότητα (k)	272

Ψηφιακή συ Βιβλιοθ	λλογή	
"OFO PA	ΣΤΟΣ"	
	Βαθμός αποσάθρωσης	273
	ΣΧΝΙΚΟΓΈΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΈΣ ΚΑΤΆ ΤΗΝ ΕΚΣΚΑΦΗ ΚΑ Η ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΝ ΣΧΕΛΙΑΣΜΟΥ	J 276
44.1	TE – H (στόμιο εξόδου)	280
4.4.2	ΤΕ – G (στόμιο εισόδου)	
4.4.3	TE – B	
4.4.4	TE – A	
4.4.5.	Εφαρμογή του κριτηρίου Hoek-Brown	289
ΚΕΦΛΑΙΟ	95. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ	290
5.1. EK	ΧΤΙΜΗΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΜΕ ΤΟ ΤΒC	290
5.2 TE	Ε ΣΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΚΑ	ATA
ΜΗΚΟΣ	ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ (UNWEDGE)	295
5.2.1	Χ.Θ. 12+843 έως 12+848 (Θέση στην ΤΕ-Β, διατομή 649)	298
5.2.2	ΧΘ 12+805 έως 12+810 (Στόμιο Εισόδου, διατομή 647)	300
5.2.3	XΘ 12+927 έως 12+932 (Θέση στην ΤΕ-Α, διατομή 635)	300
5.2.4	ΧΘ 12+965 έως 12+970 (Στόμιο εξόδου, διατομή 655)	301
5.3 TE	ΣΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΤΑ ΣΤΟΜΙΑ	303
5.3.1	Κινηματικές αναλύσεις στα πρανή των στομίων	303
5.3.2	Αναλύσεις ευστάθειας των δυνητικών αστοχιών	321
КЕФАЛАІ	Ο 6. ΜΕΤΡΑ ΑΜΕΣΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	
6.1. ГЕ	NIKA	326
6.2. TE	ΣΛΙΚΕΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΕΤΡΩΝ ΑΜΕΣΗΣ	
ΥΠΟΣΤΗ	ΙΡΙΞΗΣ	328
6.2.1.	Αγκύρια/Ηλοι	
6.2.2.	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και οπλισμός	331
6.2.3.	Μεταλλικά πλαίσια	334
6.2.4.	Δοκοί προπορείας	334
6.2.5.	Αποστραγγιστικές οπές	334
6.2.6.	Βήμα εκσκαφής	335
6.3. ΣΤ	ΆΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	342
ΚΕΦΑΛΑΙ	Ο 7. ΣΥΝΟΨΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	
ΒΙΒΛΙΟΓΡ	ΑΦΙΑ	351
ПАРАРТН	MA	

ΠΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

μήμα Γεωλογίας

Στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η γεωλογική-τεχνικογεωλογική αξιολόγηση της βραχόμαζας που θα απαντηθεί κατά την διάνοιξη της σήραγγας «Πέτρα» του Κάθετου Άξονα 70 της Εγνατίας Οδού «Ξάνθη-Εχίνος-Ελληνοβουλγαρικά σύνορα» και η διερεύνηση της συμπεριφοράς της, καθώς επίσης και προτάσεις μέτρων άμεσης υποστήριξης για το εξεταζόμενο υπόγειο τεχνικό έργο.

Η συγκεκριμένη σήραγγα αποτελεί πραγματικό παράδειγμα και πρόκειται να κατασκευαστεί το επόμενο χρονικό διάστημα από την συγγραφή της παρούσης εργασίας. Συνεπώς υπάρχει αδυναμία αυτοψίας της εξέλιξης του έργου και ταυτόχρονα επίσκεψης της περιοχής μελέτης λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών της πανδημίας (CoViD-19). Για το λόγο αυτό, τα περιεχόμενά της αφορούν αποτελέσματα που έχουν προκύψει από την βιβλιογραφία, από την επεξεργασία πραγματικών δεδομένων των μητρώων, των χαρτών και των τεκτονικών διαγραμμάτων της περιοχής μελέτης, από την αξιολόγηση φωτογραφιών των πυρήνων γεωτρήσεων και από την αποκτηθείσα εμπειρία από τις προηγηθείσες σήραγγες σε παρόμοιο γεωυλικό, δηλαδή προηγούμενες ή νεότερες μελέτες της εξεταζόμενης περιοχής. Ο σκοπός της λοιπόν, είναι η παραγωγή ενός γεωλογικού και τεχνικογεωλογικού μοντέλου της σήραγγας όσο πιο κοντά στην πραγματικότητα, δηλαδή στις συνθήκες που θα απαντηθούν κατά την διάνοιξη και ακολούθως, βασιζόμενη στη συμπεριφορά της βραχόμαζας, να προκύψουν προτάσεις μέτρων άμεσης υποστήριξης (ποιοτικά).

Για την επίτευξη του παραπάνω στόχου, η εργασία διακρίνεται σε επτά (7) κεφάλαια, εκ των οποίων το 1° και 7° αφορούν αντίστοιχα την εισαγωγή και τη σύνοψη-συμπεράσματα της εργασίας, ενώ τα υπόλοιπα τέσσερα (4) κεφάλαια περιλαμβάνουν την παρουσίαση, ανάλυση και αξιολόγηση των διαθέσιμων δεδομένων καθώς επίσης και την παραγωγή νέων στοιχείων, όπως χαρτών, διαγραμμάτων, παραμέτρων, τομών, σχεδίων και μοντέλων, εξάγοντας τελικά ένα σύνολο χρήσιμων συμπερασμάτων και πληροφοριών που ενδιαφέρουν τη διάνοιξη της σήραγγας. Ειδικότερα, το 2° κεφάλαιο περιλαμβάνει την βιβλιογραφική επισκόπηση για την περιοχή μελέτης, το 3° αντιστοιχεί στις γεωλογικές συνθήκες της περιοχής του έργου, το 4° αφορά τις τεχνικογεωλογικές συνθήκες της περιοχής έρευνας και το 5° τη τεχνικογεωλογική συμπεριφορά της βραχόμαζας στο υπόγειο και τα στόμια. Οι προτάσεις μέτρων άμεσης υποστήριξης καταγράφονται στο 6° κεφάλαιο εστιάζοντας στην ποιοτική εκτίμησή τους βάση της αναμενόμενης συμπεριφοράς της βραχόμαζας στο υπόγειο, αλλά μόνο για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας. Τα μέτρα δηλαδή, αφορούν συγκεκριμένα τα προβλήματα ευστάθειας που αναλύθηκαν στην μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, καθώς στην πραγματικότητα απαιτείται λεπτομερής γεωτεχνική ανάλυση.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Τέλος, με την ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να απευθύνω θερμές ευχαριστίες στον επιβλέπων κ. Βασίλειο Μαρίνο, Επίκουρο Καθηγητή της σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, το ενδιαφέρον του και τις πολύτιμες συμβουλές κατά την συγγραφή της εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την κατανόησή τους, καθώς και φίλους/συναδέλφους για την ιδιαίτερή τους συνεισφορά



1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι ένα πραγματικό υπόγειο τεχνικό έργο, του οποίου η κατασκευή δεν έχει ακόμη ξεκινήσει. Ονομάζεται σήραγγα Σ2Ν («Πέτρα») και δεδομένα που δόθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή είναι επίσης πραγματικά, από μετρήσεις και παρατηρήσεις στο πεδίο, καθώς και από δεδομένα εργαστηριακών και επιτόπου δοκιμών και την τεχνικογεωλογική αξιολόγηση των πυρήνων γεωτρήσεων.

Για την βραχόμαζα που απαντάται τόσο στην ευρύτερη περιοχή όσο και κατά μήκος της σήραγγας, πραγματοποιήθηκε γεωλογική και τεχνικογεωλογική αξιολόγησή της, με στόχο την όσο το δυνατόν ακριβέστερη εκτίμηση των γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών συνθηκών που θα απαντηθούν κατά την εκσκαφή της σήραγγας και την διερεύνηση του τρόπου συμπεριφοράς της βραχόμαζας στο υπόγειο. Για τον λόγο αυτό κατηγοριοποιείται η βραχόμαζα με όμοια γεωμηχανικά χαρακτηριστικά κατά μήκος του υπογείου και με τελικό σκοπό στην ποιοτική εκτίμηση των μέτρων άμεσης υποστήριξης που θα απαιτηθούν σε κάθε ενότητά της κατά την διάνοιξη. Τέλος, αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί και η αξιολόγηση των προβλημάτων ευστάθειας που εντοπίζονται στα πρανή εκατέρωθεν των στομίων από την κινηματική ανάλυση, μέσω της εκτέλεσης αναλύσεων ευστάθειας.

1.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΟΥ

1.2.1 Θέση

Η σήραγγα «Πέτρα» (Σ2Ν) αποτελεί στοιχείο ενός εκ των ένδεκα (11) Κάθετων Αξόνων της Εγνατίας Οδού και συγκεκριμένα αυτόν που ξεκινά από την Ξάνθη, διασχίζει τον Εχίνο και καταλήγει στα Ελληνοβουλγαρικά Σύνορα. Ανήκει στον Δήμο Μύκης, της Περιφερειακής Ενότητας Ξάνθης, της Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, στο Δημοτικό Διαμέρισμα της Θράκης. Στην ακόλουθη εικόνα χρωματίζεται με κόκκινο ο δήμος Μύκης, με το τεχνικό να βρίσκεται εντός της περιοχής που ορίζει το κίτρινο τετράγωνο.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 1.2.1.1 Με κόκκινο χρώμα αποτυπώνεται ο Δήμος Μύκης, στον οποίο βρίσκεται η θέση του υπό μελέτη τεχνικού έργου (https://el.wikipedia.org/wiki/Δήμος_Μύκης) και επισημαίνεται με κίτρινο τετράγωνο η ευρύτερη περιοχή στην οποία ανήκει η σήραγγα

Στον παρακάτω χάρτη απεικονίζονται οι κάθετοι άξονες της Εγνατίας Οδού. Ο Κάθετος Άξονας που ενδιαφέρει την παρούσα μελέτη, ονόματι «Ξάνθη – Εχίνος – Ελληνοβουλγαρικά Σύνορα», τοποθετείται μεταξύ των κάθετων αξόνων «Σέρρες – Δράμα – Καβάλα» και «Κομοτηνή - Νυμφαία - Ελληνοβουλγαρικά σύνορα». Στον παρακάτω χάρτη (2013) παριστάνεται με την παλαιά του ανατολικότερη χάραξη και όχι με την νέα δυτικότερη χάραξη που είναι και η οριστική.



Εικόνα 1.2.1.2 Το βέλος υποδεικνύει την σχεδιαζόμενη παλαιότερη (ανατολικότερη) χάραξη του Κάθετου Άξονα «Ξάνθη – Εχίνος – Ελληνοβουλγαρικά Σύνορα». Πηγή: OpenStreetMap (2013) (https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=93822889)

Όπως προαναφέρθηκε, πραγματοποιήθηκε επαναχάραξη του οδικού δικτύου, σε σχέση με αυτό που προτάθηκε στην αρχή, καθώς μετά από εξέταση των υπαρχουσών μελετών και μετά από επιτόπιες αυτοψίες διαπιστώθηκαν σημαντικά γεωλογικά-γεωτεχνικά προβλήματα. Εξετάστηκε και εγκρίθηκε λοιπόν μια δυτικότερη χάραξη, στην περιοχή του Δημαρίου (μήκους 8km περίπου) η οποία προστίθεται μαζί με τη βελτίωση του υφιστάμενου δρόμου "Μελίβοια-Δημαριό", μήκους 10 km, ώστε το τμήμα αυτό του Κάθετου Άξονα να αποκτήσει διατομή και ταχύτητα που προδιαγράφει η Διακρατική Συμφωνία (Εγνατία Οδός Α.Ε.).

Ακολουθεί χάρτης της ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε. με τους Κάθετους Άξονές της, ενώ διακρίνεται στην περίπτωση αυτή η νέα (δυτικότερη) χάραξη του άξονα «Ξάνθη – Εχίνος – Ελληνοβουλγαρικά Σύνορα». Με διαφορετικό χρώμα απεικονίζονται οι Κάθετοι Άξονες ανάλογα το στάδιο στο οποίο βρίσκονται (π.χ. υπό μελέτη, υπό κατασκευή, κλπ), κατά την ημερομηνία κατασκευής του χάρτη (Αύγουστος, 2014).



Εικόνα 1.2.1.3 Η Εγνατία Οδός και οι Κάθετοι Άξονες (ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε, 2014) (http://thrakilive.blogspot.com/2011/05/blog-post_848.html)

Περισσότερο εστιασμένος στην περιοχή του Κάθετου Άξονα που ενδιαφέρει είναι ο επόμενος χάρτης, ο οποίος περιλαμβάνει την νέα χάραξη του οδικού δικτύου «Xanthi – Rudozem (BG)», από την πόλη της Ξάνθης μέχρι την περιοχή του τελικού σημείου ελέγχου διέλευσης των συνόρων (Border Crossing Check Point - BCCP Dimario –Rudozem), στο μπλε σημαιάκι.



Εικόνα 1.2.1.4 Εγνατία Οδός Α.Ε. (2017) (https://www.egnatia.eu/erga/kathetoi-axones/o-kathetosaxonas xanthi-exinos-ellinovoulgarika-synora/)

Στη συνέχεια παραθέτεται ο κάθετος άξονας 70 της Εγνατίας Οδού «Ξάνθη – Εχίνος – Ελληνοβουλγαρικά σύνορα» (2016), κλίμακας 1:105000, με τα επιμέρους υπό-τμήματά του.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα1.2.1.5 Cooperation Programme INTERREG V-A "Greece-Bulgaria 2014-2020" & CROSSBO PROJECT: AIMING AT IMPROVING CROSS - BORDER ACCESSIBILITY (http://www.crossbo.eu/Images/SP1/VA_70_105K_arc10_p1.jpg)

Η υπό-μελέτη σήραγγα Σ2Ν, ονομάζεται «Πέτρα» από την ομώνυμη βουνοκορφή «Πέτρα» με υψόμετρο 1524m η οποία αποτελεί φυσικό σύνορο Ελλάδας-Βουλγαρίας. Το υπόγειο έργο βρίσκεται στις νοτιοδυτικές παρυφές της Ροδόπης, σε ευθεία περίπου 28.5km BBΔ του Νομού Ξάνθης, πολύ κοντά στην περιοχή των Ελληνοβουλγαρικών συνόρων. Απέχει σε ευθεία περίπου 3.5km από το χωριό Δημαριό.

Όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί τμήμα της παραλλαγής της χάραξης του υπότμήματος «Δημαριό – Ελληνοβουλγαρικά Σύνορα» (μήκους 8km), του τμήματος «Μελίβοια – Ελληνοβουλγαρικά Σύνορα» (μήκους 18km) του Κάθετου Άξονα 70 της Εγνατίας Οδού «Ξάνθη – Εχίνος – Ελληνοβουλγαρικά Σύνορα». Είναι η τρίτη σε σειρά και τελευταία σήραγγα όλου του Κάθετου Άξονα.

Το υπό-τμήμα «Δημαριό - Ελληνοβουλγαρικά Σύνορα» περιλαμβάνει συνολικά τρία υπόγεια έργα, τις οδικές σήραγγες Σ1, Σ1Ν («Δημαρίου») και Σ2Ν («Πέτρα»). Η περιοχή στην οποία αυτές απαντώνται, περιβάλλεται από το κόκκινο τετράγωνο στον παρακάτω χάρτη όλων των Ελληνικών Σηράγγων και Υπογείων Έργων (Μαρίνος Β. & Μπενάρδος Α., 2020).



Εικόνα 1.2.1.6 Χάρτης των ελληνικών σηράγγων και υπογείων έργων .Τα δεδομένα συλλέχθηκαν και αποτυπώθηκαν στο χάρτη από μέλη του ΔΠΜΣ – ΣΚΥΕ (Επίκ. Καθ. Β. Μαρίνο και Αν. Καθ. Α. Μπενάρδο, 2020) https://www.tunnelling.ntua.gr/greek_tunnels/

Ακολουθεί τμήμα του χάρτη όλων των Ελληνικών Σηράγγων και Υπογείων Έργων (Μαρίνος Β. & Μπενάρδος Α., 2020), με υπόβαθρο εικόνα από τον δορυφόρο, εστιασμένο στις θέσης των τριών σηράγγων (Σ1, Σ1Ν, Σ2Ν) κατά μήκος της χάραξης του οδικού δικτύου. Εδώ είναι εμφανή τα Ελληνοβουλγαρικά σύνορα και η σχετικές αποστάσεις των σηράγγων από αυτά. Με κόκκινο βέλος επισημαίνεται η θέση της σήραγγας Σ2N («Πέτρα») που ενδιαφέρει την παρούσα εργασία.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 1.2.1.7 Απόσπασμα από τον χάρτη των ελληνικών σηράγγων και υπογείων έργων των Μαρίνος B. & Μπενάρδος A. (2020) (Πηγή: https://www.tunnelling.ntua.gr/greek_tunnels/)

Στον παρακάτω χάρτη προβάλλεται ξεκάθαρα τόσο το υφιστάμενο οδικό δίκτυο (κίτρινη γραμμή), όσο και τμήμα της νέας χάραξης του Κάθετου Άξονα (μαύρη γραμμή) με τις θέσεις των σηράγγων.



Εικόνα 1.2.1.8 Κατασκευή χάρτη μέσω QGIS (πηγή αεροφωτογραφίας: Google Earth)

Στον ακόλουθο πίνακα συγκεντρώθηκαν ορισμένα στοιχεία που αφορούν την χιλιομετρική απόσταση της σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα») από διάφορες σημαντικές περιοχές. Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν μέσω της εφαρμογής «Maps» της Google, ενώ το τελευταίο τμήμα του άξονα βρισκόταν υπό κατασκευή. Επομένως, πιθανόν να μην αντιστοιχούν με απόλυτη ακρίβεια στις πραγματικές αποστάσεις, όπως θα ισχύει μετά την πλήρη κατασκευή του οδικού δικτύου (αναμενόμενη ελάττωση χρόνου και απόστασης). Οι παρακάτω τιμές υπολογίστηκαν κατά προσέγγιση.

	TIMH			
Χιλιομετρική Θέση σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα») στον Κάθετο Άξονα 12+800 - 12+970				
Χιλιομετρική	Ελληνοβουλγαρικά Σύνορα	2.8km		
απόσταση σήραγγας	Ξάνθη	50km		
Σ2Ν («Πέτρα») από:	Εχίνος	24km		

Πίνακας 1.2.1 Χιλιομετρική απόσταση της σήραγγας «Πέτρα» από σημαντικές θέσεις

1.2.1 Σκοπός Στο σημείο αυτό θα αναφερθούν λίγα γενικά στοιχεία για την σημασία των Κάθετων Αξόνων. Οι Κάθετοι Άξονες της Εγνατίας Οδού συνδέουν την Ελλάδα με τα Βαλκάνια. Οδηγούν προς τα σύνορα με την Αλβανία (Τίρανα), προς τη Δυτική Βουλγαρία (Σόφια), προς την Ανατολική Βουλγαρία (Μπουργκάς) και προς την ΠΓΔΜ (Σκόπια).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 1.2.2.1 Κεντρικό και Εκτεταμένο Διευρωπαϊκό Δίκτυο Μεταφορών για όλα τα μέσα μεταφοράς, στην Ελλάδα και τις γειτονικές χώρες. Με μαύρο βέλος υποδεικνύεται η θέση σύνδεσης του Κάθετου Άξονα με το αντίστοιχο δίκτυο στην Βουλγαρία (Πηγή: Παρατηρητήριο Εγνατίας Οδού)

Με την παρουσία τους, μειώνεται σημαντικά η απόσταση και ο χρόνος απόκρισης, με αποτέλεσμα σε περίπου τρεις ώρες να μπορεί κανείς να φθάσει από τις πρωτεύουσες των χωρών της Νότιας Βαλκανικής στη Θεσσαλονίκη, με σημαντικά οικονομικά οφέλη για την χώρα μας. Έτσι, οι Κάθετοι Άξονες, σαν τμήματα των Πανευρωπαϊκών Διαδρόμων, εξασφαλίζουν τη σύνδεση τις Ελλάδας όχι μόνο με τις Βαλκανικές χώρες αλλά και την υπόλοιπη Ευρώπη (πηγή: Εγνατία Οδός).



Εικόνα 1.2.2.2. Η Εγνατία Οδός και οι Κάθετοι Άξονες (κόκκινο χρώμα), ως τμήματα των Πανευρωπαϊκών Διαδρόμων, εξασφαλίζουν τη σύνδεση τις Ελλάδας με τις Βαλκανικές χώρες και την Ευρώπη (κίτρινο δίκτυο) (πηγή: Εγνατία Οδός)

Συγκεκριμένα, η κατασκευή της σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα») είναι μέρος του προγράμματος συνεργασίας «Greece-Bulgaria 2014-2020» που εγκρίθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στις 13/12/2016 με την απόφαση C (2016) 8708. Το εν λόγω πρόγραμμα συνεργασίας περιλαμβάνει ένα βασικό «project» που ονομάζεται «Aiming at Improving Cross - Border Accessibility / CrossBo». To «CrossBo» project περιλαμβάνει με την σειρά του τέσσερα (4) μεγάλα υποπρογράμματα («Subprojects»), το πρώτο εκ των οποίων (Sub-project 1) αποκαλείται «Construction of the new road section Dimario - GR/BG Borders (ch.12+820-ch. 16+147)» (κατασκευή της νέας χάραξης του οδικού δικτύου Δημάριο-Ελληνοβουλγαρικά σύνορα (ΧΘ 12+800 - XO 16+147)» και τμήμα του είναι και η υπό μελέτη σήραγγα Σ2Ν («Πέτρα»). Το «Sub-project 3» περιλαμβάνει την κατασκευή του νέου σημείο ελέγχου διέλευσης των συνόρων «Dimario-Rudozem» και του δρόμου πρόσβασης. Ονομάζεται «Construction of the new Border Crossing Check Point Dimario-Rudozem and the access road» («κατασκευή του νέου σημείου ελέγχου διέλευσης των συνόρων Δημάριο – Rudozem και του δρόμου πρόσβασης σε αυτό») (μεταφρασμένο από τη γράφουσα, από Egnatia Odos S.A.)

Το 85% του συνολικού project χρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (European Regional Development Fund - ERDF) και το 15% από Εθνικούς πόρους της Ελλάδας και της Βουλγαρίας. Από την ελληνική πλευρά, η Εγνατία Οδός Α.Ε. συμμετέχει ως επικεφαλής δικαιούχος του έργου και είναι υπεύθυνη για τη συνολική διαχείριση και συντονισμό του έργου. Το πρόγραμμα «Interreg V-A» αποτελεί δηλαδή πηγή χρηματοδότησης για την αντιμετώπιση της ανεπαρκούς ποιότητας των οδικών υποδομών στη διασυνοριακή περιοχή, γεγονός που αμφισβητεί την ασφαλή και γρήγορη προσβασιμότητα και μετακίνηση του πληθυσμού των δύο χωρών (Egnatia Odos S.A.).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Είναι γνωστό ότι, εντός της Ελληνικής επικράτειας, το μήκος του άξονα ανέρχεται σε 49 km. περίπου, εκ των οποίων στα 40 km (τμήμα "Ξάνθη-Εχίνος-Δημάριο") ο υφιστάμενος δρόμος παρουσίαζε μειωμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (ταχύτητα Ve=30 km/h περίπου) και στα επόμενα 8 km (τμήμα "Δημάριο-Ελληνοβουλγαρικά Σύνορα"), υπήρχε μόνο ένας δασικός χωματόδρομος.

Το κύριο μέλημα του «project» λοιπόν, είναι η καλύτερη σύνδεση της διασυνοριακής υποδομής με τα Πανευρωπαϊκά Δίκτυα Μεταφορών (Trans-European Transport Networks (TEN-T network), συμβάλλοντας έτσι στον συνολικό στρατηγικό στόχο του προγράμματος. Ειδικότερα, το έργο θα αυξήσει την κινητικότητα και την προσβασιμότητα στη διασυνοριακή περιοχή μέσω της κατασκευής της νέας διόδου μεταφοράς, στοχεύοντας στη βελτίωση της λειτουργίας του άζονα TEN-T Plovdiv-Smolyan-Rudozem-Xanthi καθώς και του ήδη υπάρχοντος δικτύου μεταφορών στην περιοχή αυτή. Σκοπός του συνολικού «project» δηλαδή, είναι η δημιουργία νέων και η αναβάθμιση των παλαιών οδικών δικτύων που συνδέουν τις δύο χώρες. Είναι σημαντικός για τις εμπορευματικές και επιβατικές μεταφορές, όσο και για τους κατοίκους της Ξάνθης και της ορεινής περιοχής προκειμένου να χρησιμοποιούν ένα ασφαλές και σύγχρονο οδικό δίκτυο (Egnatia Odos S.A.).

Σύμφωνα με όσα αναφέρει η διμερής συμφωνία, αναμένεται να ενισχύσει την άμεση πρόσβαση, τη διασυνοριακή κινητικότητα, την εύκολη και ασφαλή μεταφορά των αγαθών των υπηρεσιών και των ανθρώπων στη διασυνοριακή περιοχή καθώς και να συνεισφέρει στην οικονομική ανάπτυξη, την συνοχή και συνεργασία των δύο χωρών. Πιο συγκεκριμένα, αναμένεται ότι θα εξασφαλίσουν καλύτερη πρόσβαση σε ελληνικά θερινά θέρετρα και θέρετρα σκι στο Παμπόροβο, ενώ ταυτόχρονα θα προτιμηθεί η ανάπτυξη κοινών τουριστικών πακέτων, βελτιώνοντας έτσι την προσβασιμότητα και την επικοινωνία μεταξύ των ανθρώπων και στις δύο πλευρές των συνόρων (Egnatia Odos S.A.). Σήμερα, βασικό σχέδιο του έργου πλέον, είναι η κατασκευή και διάνοιξη του τελευταίου τμήματος του άξονα «Ξάνθη - Εχίνος - Ελληνοβουλγαρικά Σύνορα», μήκους 8 km περίπου και σε αυτό ανήκει επίσης η εξεταζόμενη σήραγγα «Πέτρα». Το υποτμήμα «Δημαριό-Ελληνοβουλγαρικά σύνορα», χωρίζεται σε τρία επιμέρους τμήματα ανάλογα με την πηγή χρηματοδότησής του. Το τμήμα Α περιλαμβάνει περίπου τα πρώτα 1,49 km της αρτηρίας, το τμήμα Β περιλαμβάνει περίπου τα επόμενα 3,16 km της αρτηρίας και το τμήμα Γ περιλαμβάνει περίπου τα τελευταία 3,33 km της αρτηρίας έως τα Ελληνοβουλγαρικά σύνορα. Στο σύνολο του έργου περιλαμβάνονται γενικά εργασίες χωματουργικών, τεχνικών, οδοστρωσίας, ασφαλτικών, σήμανσης-ασφάλειας, οδικών σηράγγων, Η/Μ εγκαταστάσεων, οικοδομικών και έργων πρασίνου.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 1.2.2.3 Διακρίνεται το υποτμήμα «Δημαριό-Ελληνοβουλγαρικά σύνορα» του τμήματος «Μελίβοια-Σύνορα» του Κάθετου Άξονα 70 της Εγνατίας Οδού «Ξάνθη - Εχίνος - Ελληνοβουλγαρικά Σύνορα», με τα τρία τμήματά του ανάλογα το πρόγραμμα χρηματοδότησηςCooperation Programme INTERREG V-A "Greece-Bulgaria 2014-2020" & CROSSBO PROJECT: AIMING AT IMPROVING CROSS - BORDER ACCESSIBILITY Α.Π.Θ Όπως αναφέρει η Εγνατία Οδός Α.Ε., η Διακρατική Συμφωνία μεταξύ των δύο χωρών, καθόρισε για όλο τον άξονα, τόσο σε Ελληνικό όσο και Βουλγαρικό έδαφος, τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά της οδού. Ακολουθεί πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της υπό μελέτης σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα»).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

μήμα Γεωλογίας

1.2.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά

ΣΤΟΙΧ	EIO	ТІМН
Χαρακτηρισμός		Μονού Κλάδου και Διπλής Κατεύθυνσης
Χιλιομετρική Θέση		12+800 έως 12+970
Μήκος		170m
Διατομή		Πεταλοειδής
Μέγιστο Ύψος Πετάλου		10.09m
Μέγιστο Πλάτος Πετάλο	υ	12.22m
Βάση του πετάλου		11.42m
Εμβαδόν Πετάλου		~106.5m ²
Προσανατολισμός Σήραγ	γας	Βοράς - Νότος
Κλίση Ερυθράς		3.7° προς Βόρεια (σταθερή)
Υψόμετρο Στομίου Εισό	δου	1040m
Υψόμετρο Στομίου Εξόδ	ov	1053m
Μέγιστο υπερκείμενο		39m
Ελάνιστο Υπερκείμενο	Στόμιο Εισόδου	3.6-8.7m
	Στόμιο Εξόδου	5.7-16.8m
Τρόπος εκσκαφής	· · · ·	Συμβατικός (Μηχανικά μέσα & εκρηκτικά)
Φάσεις Εκσκαφής		A & B
Βήμα προχώρησης		Μέτριο
Μήκος λωρίδας κυκλοφο	ρίας	4.25m
Ταχύτητα μελέτης		60 km/h

Πίνακας 1.2.3Τεχνικά χαρακτηριστικά σήραγγας «Πέτρα»



Εικόνα 1.2.3.1 Τυπικό σχέδιο πεταλοειδούς διατομής της σήραγγας Σ2Ν

Οριζοντιογραφικά, ο άξονας της σήραγγας αναπτύσσεται σχηματίζοντας μία ελαφριά στρέψη προς τα αριστερά (με έναρξη το στόμιο εισόδου), εκτελώντας ένα αρκετά ανοικτό τόξο. Συγκεκριμένα η χάραξη κατευθύνεται από BBA (B015°) στο στόμιο εισόδου σε διεύθυνση BBΔ (B347°) στο στόμιο εξόδου, δηλαδή εκτελείται, κατά την θεωρητική όδευσή μας εντός της σήραγγας, από την στιγμή εισόδου έως στην στιγμή εξόδου από αυτήν, μία «στρέψη» προς τα αριστερά (δυτικά) κατά 28°. Μηκοτομικά, η ερυθρά θα βρίσκεται σε συνεχή ανοδική κατά μήκος κλίση (i=6.5%).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 1.2.3.2 Δορυφορική εικόνα της σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα»), κατασκευασμένη στο QGIS



Εικόνα 1.2.3.3 Οριζοντιογραφία της σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα») κατασκευασμένη στο AutoCAD (Πηγή: Αλεξιάδου, 2014)



Εικόνα 1.2.3.4 Μηκοτομή της σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα»), κατασκευασμένη στο AutoCAD (Πηγή: Αλεξιάδου, 2014)

1.3 ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Για την σύνταξη της παρούσας εργασίας ήταν διαθέσιμα τα κάτωθι δεδομένα, τα περισσότερα εκ των οποίων περιλαμβάνονταν στην Οριστική Γεωλογική Μελέτη του Κάθετου Άξονα 70 της Εγνατίας Οδού «Ξάνθη-Εχίνος-Ελληνοβουλγαρικά Σύνορα» (70223933RGR3CGR01, Μ.Χ. Αλεξιάδου, Νοέμβριος 2014). Για όσα εξ αυτών λήφθηκαν από την Οριστική Γεωλογική Μελέτη (70225526RGR3A001) στο τμήμα παραλλαγής XΘ.11+420 έως 13+904 από Μαρίνο Β. (2020), γίνεται ειδική αναφορά.

- Η Οριστική Γεωλογική Μελέτη του Κάθετου Άξονα 70 της Εγνατίας Οδού «Ξάνθη-Εχίνος-Ελληνοβουλγαρικά Σύνορα» (70223933RGR3CGR01, Μ.Χ. Αλεξιάδου, Νοέμβριος 2014) με τα συνοδά σχήματα, τομές, οριζοντιογραφίες, κ.λπ.
- Μετά την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, αυτή «ελέγχθηκε» με βάση την Οριστική Γεωλογική Μελέτη (70225526RGR3A001) στο τμήμα παραλλαγής XØ.11+420 έως 13+904 από από Μαρίνο Β. (2020)
- Φωτογραφίες από τα κασάκια των γεωτρήσεων παλαιότερων ή νεότερων φάσεων έρευνας και οι θέσεις στους (συντεταγμένες) κατά μήκος του έργου.
- Γεωλογική οριζοντιογραφία σε αρχείο μορφής AutoCAD Drawing (.dwg) με την νέα θέση του ίχνους του ρήγματος της σήραγγας από Μαρίνο B. (2020)

- Γεωμορφολογικό ανάγλυφο κατά μήκος της σήραγγας, αρχείο μορφής AutoCAD Drawing (.dwg)
- 12 Σχέδια διατομών της σήραγγας (στις θέσεις των στομίων, σε ποικίλες θέσεις κατά μήκος της σήραγγας, στα πρανή εκατέρωθεν των στομίων) σε αρχείο μορφής AutoCAD Drawing (.dwg)
- 17 Μετρήσεις στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα σε ορισμένες από
 τις ερευνητικές γεωτρήσεις στις οποίες τοποθετήθηκε πιεζόμετρο
- 2 Νέα τεκτονικά διαγράμματα που συντάχθηκαν από Μαρίνο Β. (2020) για την στενή περιοχή μελέτης
- 1 Τεκτονικό διάγραμμα της φάσης μελέτης του 2014 (δίνεται το φύλλο αναγραφής ασυνεχειών και οι οικογένειες ασυνεχειών στο δίκτυο Schmidt) για την στενή περιοχή μελέτης.
- 4 Τεκτονικά διαγράμματα ακόμη παλιότερων φάσεων μελέτης (δίνονται μόνο οι οικογένειες ασυνεχειών πάνω στο Schmidt) για την στενή περιοχή μελέτης.
- 55 Μητρώα Γεωτρήσεων της ευρύτερης περιοχής, έξι (6) εκ των οποίων αντιστοιχούν στη στενή περιοχή της σήραγγας και περιλαμβάνουν πληροφορίες από τις παρακάτω επιτόπου και εργαστηριακές δοκιμές:

Α. Για τους βραχώδεις σχηματισμούς

- Επιτόπου δοκιμές διαπερατότητας (δοκιμές εισπίεσης Maag και Lugeon)
- Δοκιμές Άμεσης Διάτμησης ασυνεχειών βράχου (c,φ)
- Αντοχή σε Ανεμπόδιστη Θλίψη δοκιμίων πετρωμάτων σ_c (MPa) με ταυτόχρονο προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας Ε (MPa) και του λόγου Poisson (v)
- Πορώδες n (%)

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

- Φαινόμενο Βάρος γ (gr/cm³)
- Αντοχή σε Σημειακή Φόρτιση $I_{s(50)}$ (MPa)
- Αντοχή σε Εφελκυσμό σt (MPa)
- Γεωλογική-Τεκτονική-Γεωτεχνική περιγραφή κατά μήκος των γεωτρήσεων,
 με αντίστοιχη λιθολογική στήλη (τομή γεώτρησης)
- Ταξινόμηση κατά RMR
- Ταξινόμηση πετρωμάτων σύμφωνα με τον βαθμό αποσάθρωσης
- Ταξινόμηση κατά RQD (%)

Ποσοστό ολικής πυρηνοληψίας TCR (%) σε ορισμένες από τις γεωτρήσεις Περιγραφές ασυνεχειών ανάλογα τον τύπο τους, την απόστασή τους, τον αριθμό τους ανά μέτρο (N_{umber} /m), την κλίση τους, την κατάσταση των επιφανειών τους, το υλικό πλήρωσης

Β. Για τους εδαφικούς σχηματισμούς

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

unua

- Επιτόπου δοκιμές πρότυπης διεισδύσεως (SPT)
- Δοκιμές κατάταξης (κατάταξη κατά A.U.S.C.S.): Κοκκομετρικές Αναλύσεις
 και όρια Atterberg
- Φυσικές Ιδιότητες: Φυσική Υγρασία w (%), Υγρό φαινόμενο βάρος γ_w (kN/m³), Ξηρό φαινόμενο βάρος γ_d (kN/m³), Ειδικό Βάρος (Gs), ποσοστό οργανικών (%)
- Δοκιμή Ανεμπόδιστης Θλίψης qu / e (kPa / %)
- Δοκιμή Τριαξονικής Φόρτισης c , φ (kPa , °)
- Δοκιμές Στερεοποίησης
- Δοκιμές Άμεσης Διάτμησης (CU, CD, UU)

Τα μητρώα γεωτρήσεων αποτελούν στοιχεία γεωτεχνικών ερευνών που εκτελέστηκαν από τους μελετητές:

- GEOPLAN Ltd
- ΕΜΒΕΛΕΙΑ Α.Ε. ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ
- N. AOYKATOS & SYNEPFATES A.E.M.
- ΓΕΩΤ.ΕΡ Διδασκάλου Ε.Ε.

1.4 ZHTOYMENA

Από την παρούσα εργασία αναμένεται να παραχθεί το γεωλογικό και τεχνικογεωλογικό μοντέλο για την σήραγγα Σ2Ν («Πέτρα»), μέσα από την αξιολόγηση της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς της βραχόμαζας που θα απαντηθεί κατά μήκος της σήραγγας, ώστε τελικά να προκύψουν από τα παραπάνω προτάσεις για την προσωρινή της υποστήριξη. Ορισμένα από τα βασικά ζητούμενα της εργασίας είναι: Γεωλογική μηκοτομή και διατομές

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

- Τεχνικογεωλογικές Μηκοτομές και διατομές (π.χ. GSI, RQD)
- Εξαγωγή παραμέτρων σχεδιασμού και αντιπροσωπευτικών τιμών διαφόρων τεχνικογεωλογικών παραμέτρων των σχηματισμών (π.χ. σt, γs, n)
- Εξαγωγή Τεχνικογεωλογικών Ενοτήτων και του τρόπου συμπεριφοράς της βραχόμαζας στο υπόγειο
- Αναλύσεις ευστάθειας στα πρανή των στομίων
- Αναλύσεις σφηνοειδών αστοχιών σε τμήματα κατά μήκος της σήραγγας με το λογισμικό UnWedge της Rocscience
- Προτάσεις μέτρων προσωρινής υποστήριξης (ποιοτικά) και κατασκευή ενός
 τελικού ολοκληρωμένου μοντέλου για τη σήραγγα

1.5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Αρχικά, συγκεντρώθηκαν στοιχεία για την γεωμορφολογία, τη γεωλογία, την υδρογεωλογία και την τεκτονική της ευρύτερης και στενής περιοχής της σήραγγας. Επίσης, τα αντίστοιχα στοιχεία σεισμικότητας και τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων που απαντώνται εντός της σήραγγας. Δίνεται ακόμη ένα θεωρητικό υπόβαθρο για τη χρήση των διαφόρων μέτρων υποστήριξης και την μέθοδο διάνοιξης.

Κατασκευάστηκε η γεωλογική μηκοτομή και διατομές, σύμφωνα με τις έξι (6) γεωτρήσεις της στενής περιοχής, οι οποίες προβάλλονταν κάθετα στη σήραγγα: Γ-26, Γ-27, Γ-28Α, ΔΤ-40, ΔΟ-28, ΔΝΤ-12 και το σύνολο των διαθέσιμων γεωλογικών στοιχείων της στενής περιοχής μελέτης.

Έπειτα, καταγράφηκαν σε υπολογιστικό φύλλο του Excel τα δεδομένα των μητρώων που προέκυψαν από δοκιμές σε δείγματα των γεωτρήσεων αλλά και από μετρήσεις πεδίου. Οι γεωτρήσεις των οποίων τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν, δεν ήταν μόνο οι 6 πιο κοντινές στη σήραγγα αλλά όλες αυτές της λίγο πιο ευρύτερης περιοχής, που φυσικά η λιθολογία τους αντιστοιχούσε στις λιθολογίες που ενδιαφέρουν τη σήραγγα. Στόχος αυτού ήταν η εξαγωγή όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικών τιμών παραμέτρων, λαμβάνοντας υπόψη περισσότερες τιμές από

δοκιμές στην ίδια λιθολογία. Ο ακόλουθος χάρτης που κατασκευάστηκε στο GIS, προβάλλει τις θέσεις όλων των γεωτρήσεων της ευρύτερης περιοχής.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 1.5.1 Χάρτης με υπόβαθρο εικόνα από τον δορυφόρο, της θέσης των γεωτρήσεων κατά μήκος της νέας και παλαιάς χάραξης

Ο επόμενος χάρτης, εστιάζει στη θέση της σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα») και τις έξι (6) γεωτρήσεις που παρευρίσκονται επιτόπου. Τα δεδομένα αυτών επεξεργάστηκαν επίσης με ξεχωριστή στατιστική επεξεργασία, προκειμένου να γίνει σύγκριση μεταξύ των μέσων τιμών των ιδιοτήτων των εξεταζόμενων σχηματισμών στη στενή περιοχή της σήραγγας και των αντίστοιχων τιμών που προκύπτουν από την ευρύτερη περιοχή μελέτης. Ακόμη, στόχος είναι να διαπιστωθεί ποιες από τις τιμές που εξάγονται για την ευρύτερη περιοχή εκφράζουν ταυτόχρονα και την στενή (τις 6 γεωτρήσεις περιμετρικά της σήραγγας). Προέκυψαν κατάλληλα ιστογράμματα συχνοτήτων, διαγράμματα διασποράς και στατιστικές παράμετροι που δίνουν στοιχεία για τη διακύμανση των τιμών κάθε τεχνικογεωλογικής παραμέτρου.





Εικόνα 1.5.2 Χάρτης με υπόβαθρο εικόνα από τον δορυφόρο με τις γεωτρήσεις της στενής περιοχής της σήραγγας «Πέτρα»

Στη συνέχεια οι τιμές GSI με παρατήρηση των φωτογραφιών των πυρήνων γεωτρήσεων στα κασάκια, σε συνδυασμό με την περιγραφή των ασυνεχειών στα μητρώα και, καταγράφηκαν στο φύλλο Excel. Επίσης ομαδοποιήθηκαν αρχικά σύμφωνα με την δομή και έπειτα την ποιότητα ασυνεχειών και, οι κατηγορίες που προέκυψαν σημειώθηκαν επί του διαγράμματος GSI.

Το ίδιο έγινε και με τις τιμές RQD (%) οι οποίες, αν και στα μητρώα είχαν ήδη εξαχθεί, δεν ήταν αντιπροσωπευτικές της πραγματικότητας και συνεπώς υπολογίστηκαν ξανά ανά «βουτιά». Ομαδοποιήθηκαν σύμφωνα με την κατάταξη κατά Deree (1967). Ακόμη, λόγω της χρήσης στα μητρώα, από τις εταιρίες, διαφορετικών συστημάτων χαρακτηρισμού ως προς την αποσάθρωση των πετρωμάτων (ISRM, 1981 και BS 5930, 1999), εξάχθηκαν ξανά οι τιμές αποσάθρωσης, σε ένα ενιαίο σύστημα κατά την ISRM (1981).

Οι τιμές των παραμέτρων των συστημάτων ταξινόμησης, επεξεργάστηκαν επίσης στατιστικά με το πρόγραμμα IBM SPSS Statistics αλλά και με το

υπολογιστικό φύλλο του Excel. Τέλος, για τις παραμέτρους που εμφανίζουν διαφοροποίηση με το βάθος, κατασκευάζονται τεχνικογεωλογικές μηκοτομές.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Οι τιμές ορισμένων από τις προαναφερθέντες παραμέτρους ομαδοποιούνται σε κατηγορίες όμοιων τιμών με τελικό στόχο την εξαγωγή Τεχνικογεωλογικών Ενοτήτων (ΤΕ) κατά μήκος της σήραγγας. Κάθε μία ΤΕ περιγράφεται κατάλληλα με τις αντιπροσωπευτικές της παραμέτρους, τις αντίστοιχες παραμέτρους σχεδιασμού, μέσω του κριτηρίου Hoek-Brown και της αποδίδεται μία αντιπροσωπευτική φωτογραφία.

Κάνοντας χρήση του διαγράμματος TBC (Μαρίνος B., 2007), για κάθε μία ενότητα κατά μήκος της σήραγγας εκτιμάται ο αναμενόμενος μηχανισμός αστοχίας. Επίσης, κατά το μήκος της η σήραγγα ελέγχεται ως προς τις σφηνοειδείς αστοχίες με το πρόγραμμα Unwedge της Rocscience.

Ακόμη, τα πρανή των στομίων εισόδου και εξόδου ελέγχονται ως προς τις δυνητικές ολισθήσεις (σφηνοειδής, επίπεδη, από ανατροπή) μέσω του προγράμματος Dips 6.0 της Rocscience και χρησιμοποιώντας τις διαθέσιμες μετρήσεις που λήφθηκαν από τους μελετητές στο πεδίο. Εκτελούνται αναλύσεις ευστάθειας, σε εκείνες τις περιπτώσεις που προκύπτει δυνητική αστοχία σύμφωνα με το Dips. Για τις αναλύσεις δίνεται η δυνατότητα χρήσης των προγραμμάτων RocPlane (Rocscience) σε περίπτωση δυνητικής επίπεδης αστοχίας και SWedge για σφηνοειδείς αστοχίες (Rocscience). Οι τιμές που αφορούν τις ιδιότητες τις βραχόμαζας και εισήχθησαν στα προγράμματα αυτά, προέκυψαν από την προηγηθείσα στατιστική επεξεργασία και εξαγωγή αντιπροσωπευτικών παραμέτρων, ενώ τα στοιχεία ασυνεχειών (π.χ. κλίση/ διεύθυνση κλίσης) από τα αντίστοιχα (κοντινότερα στα πρανή) διαθέσιμα τεκτονικά διαγράμματα.

Τέλος, σύμφωνα με τους μηχανισμούς αστοχίας που αναμένονται κατά μήκος της σήραγγας, λαμβάνοντας υπόψη εμπειρικούς πίνακες, βιβλιογραφικά δεδομένα και βασιζόμενοι στην εμπειρία που αποκτήθηκε από την κατασκευή της σήραγγας Σ1 στο ίδιο γεωυλικό, προτείνονται ποιοτικά μέτρα υποστήριξης. Παραθέτεται λοιπόν συγκεντρωτικός πίνακας με τα τελικά ποιοτικά προτεινόμενα μέτρα ανά ΤΕ, το βήμα και τις φάσεις εκσκαφής. Ακόμη, γίνεται αναφορά στη σειρά τοποθέτησης των μέτρων υποστήριξης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Α.Π.Θ

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύονται οι γεωλογικές συνθήκες της ευρύτερης και στενής περιοχής του έργου, οι οποίες συγκεκριμένα περιλαμβάνουν στοιχεία γεωμορφολογίας, γεωλογίας, τεκτονικής, υδρογεωλογίας και σεισμικότητας. Σύμφωνα με το παρακάτω δενδροδιάγραμμα (Μαρίνος Β., 2020), αντιστοιχούν στο πρώτο (1°) βήμα σχεδιασμού των σηράγγων.



Εικόνα 2.1 Δενδροδιάγραμμα Βημάτων Σχεδιασμού Σηράγγων (Tunnel Design Flowchart) (Πηγή: Μαρίνος Β., 2012)

Αρχικά, δίνεται ένα θεωρητικό υπόβαθρο ορισμένων εξ αυτών των στοιχείων, ληφθέντων από τη βιβλιογραφία και έπειτα, στα επόμενα κεφάλαια, αναλύονται και αξιολογούνται τα πραγματικά δεδομένα από τις επιτόπου μετρήσεις και παρατηρήσεις για τη στενή περιοχή.

2.1. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΚΑΙ ΣΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Στην περιοχή μελέτης αναπτύσσεται το έντονα λοφώδες, πολυσχιδές και ορεινό ανάγλυφο της Δυτικής Ροδόπης (Αλεξιάδου, 2014). Τα υψόμετρα, κατά μήκος του Κάθετου Άξονα τις Εγνατίας Οδού στο τμήμα Δημάρι-Ελληνοβουλγαρικά σύνορα ξεκινούν, στα Βόρεια από 1100m περίπου (στις ποιο ορεινές περιοχές κοντά στα σύνορα), ενώ προς τα Νότια ελαττώνονται μέχρι και τα 750m απόλυτο υψόμετρο (κοντά στο χωριό Δημαριό).

Ειδικότερα, η νέα χάραξη (μαύρη γραμμή του χάρτη) ακολουθεί τα ανατολικά πρανή της κορυφής «Πέτρα» (1024m), δυτικά του υψώματος «Κοπριλέκη» (948m) και τα απόλυτα υψόμετρα κυμαίνονται από 930 έως 1090m (Μαρίνος Β., 2020). Παραθέτεται στη συνέχεια ο τοπογραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης.



Εικόνα 2.1.1 Τοπογραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης κατασκευασμένος στο QGIS, με πηγή υψομετρικών δεδομένων από την USGS (United States Geological Survey) και χρησιμοποιώντας ως χάρτη υποβάθρου το "Google Terrain Hybrid»

Ακολουθεί μία ενδεικτική γεωμορφολογική τομή με έναρξη στα βόρεια, κοντά στην θέση των συνόρων και λήξη νοτιότερα κοντά στο Δημάρι, από την οποία
λαμβάνονται πληροφορίες για την Βορρά-Νότου διακύμανση του αναγλύφου στην εν λόγω περιοχή. Η θέση της σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα») αντιστοιχεί στη θέση που υποδεικνύει το βέλος. Η εικόνα τρισδιάστατης όψης λήφθηκε από το Google Earth.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 2.1.2 Η εικόνα τρισδιάστατης όψης της ευρύτερης περιοχής και ενδεικτική γεωμορφολογική τομή κατά μήκος αυτής, από Βόρεια προς Νότια (πηγή: Google Earth).

Βέβαια, οι κορυφογραμμές των οροσειρών που αποτελούν φυσικό σύνορο Ελλάδας – Βουλγαρίας και παράλληλα υδροκρίτη των τοπικών υδρολογικών λεκανών των δύο χωρών, έχουν υψόμετρα στην περιοχή που φτάνουν τα 1200-1500 m. Μόνο η θέση στην οποία θα βρίσκεται το σημείο ελέγχου διέλευσης συνόρων (BCCP) Dimario - Rudozem έχει χαμηλότερο υψόμετρο σε σχέση με τις υπόλοιπες κορυφογραμμές, περίπου στα 1010-1020m, κάτι το οποίο ίσως συνδέεται με το γεγονός της ευκολότερης πρόσβασης στις δύο χώρες.

Από την άλλη πλευρά, στη στενή περιοχή της σήραγγας, τα υψόμετρα κυμαίνονται από 1040m στο στόμιο εισόδου, φτάνουν μέχρι 1080m στην περιοχή των μέγιστων υπερκείμενων, ενώ καταλήγουν σε 1053m στο στόμιο εξόδου. Η γεωμορφολογική τομή της σήραγγας «Πέτρα», με υψομετρική κλίμακα στα αριστερά, απεικονίστηκε προηγουμένως στην Εικόνα 1.3.4.

Στην περιοχή της νέας χάραξης με το συμπαγές και ανθεκτικό στη διάβρωση βραχώδες ηφαιστειοιζηματογενές υπόβαθρο, οι κλίσεις των φυσικών πρανών είναι μέτριες και τοπικά μόνο απότομες, ενώ κυμαίνονται από 35° έως 50°. «Οι κλίσεις

εξομαλύνονται στις εκατέρωθεν περιοχές της στέψης του αφιένα από όπου διέρχονται τα υπόγεια έργα», όπως αναφέρεται στην Οριστική Γεωλογική Μελέτη (Μαρίνος Β., 2020).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη





Εικόνα 2.1.3 Χάρτης κλίσεων (slope) της ευρύτερης περιοχής μελέτης

Γενικά στην ευρύτερη περιοχή, το υδρογραφικό δίκτυο είναι δενδροειδούς μορφής, με το νερό των μικρότερων κλάδων των ρεμάτων να κινείται περίπου από ΝΔ προς ΒΑ στην μία πλευρά της υδρολογικής λεκάνης και από ΒΑ προς ΝΔ στην άλλη. Οι δύο (2) «πλευρές» της λεκάνης διακρίνονται εύκολα στον παρακάτω χάρτη.





Το υδρογραφικό δίκτυο καταλήγει τελικά σε μεγαλύτερο ποταμό ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης που ονομάζεται «Κομψάτος» ο οποίος ξεκινά ΝΑ της Μελίβοιας και διασχίζει τον Εχίνο. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η παλαιά χάραξη του οδικού δικτύου (δασικός χωματόδρομος) που διέσχιζε τον Εχίνο, τη Μελοιβία και κατέληγε στα Ελληνοβουλγαρικά σύνορα, ακολουθούσε σχεδόν παράλληλα την πορεία του κύριου κλάδου του υδρογραφικού δικτύου.

Στη στενή περιοχή, πριν την είσοδο στην σήραγγα και μετά την έξοδο από αυτήν απαντώνται ρέματα διεύθυνσης περίπου Δ-Α που διασχίζουν σχεδόν κάθετα την νέα χάραξη του οδικού δικτύου (διεύθυνσης περίπου Β-Ν). Αυτό σημαίνει ότι κατά την διάνοιξη της σήραγγας πρακτικά «τρυπάται», κατά το πλάτος του, ένα μεγάλο αντέρεισμα, εκατέρωθεν του οποίου χαρτογραφούνται μεγαλύτερα ή μικρότερα ρέματα. Με άλλα λόγια, ο «αφιένας» που φιλοξενεί την σήραγγα, οριοθετείται στον Βορά και στον Νότο από ρέματα περίπου Δ-Α. Τα κατάντη λοιπόν για την στενή περιοχή, είναι προς τα ΑΝΑ.



Εικόνα 2.1.5 Τρισδιάστατη απεικόνιση των χαράξεων των σηράγγων Σ1Ν («Δημαρίου») και Σ2Ν («Πέτρα») με κόκκινο χρώμα, του υφιστάμενου οδικού δικτύου με κίτρινο χρώμα και της νέας χάραξης του Κάθετου Άξονα με πράσινο χρώμα (χωρίς την απεικόνιση της γέφυρας και του οχετού στις θέσεις διέλευσης

Συγκεκριμένα, μεταξύ της σήραγγας Σ1Ν («Δημαρίου») (στόμιο εξόδου της) και Σ2Ν («Πέτρα») (στόμιο εισόδου της) χαρτογραφήθηκε ρέμα (ονόματι «Φλοιός») διεύθυνσης περίπου Δ-Α που έπειτα στρέφεται σε ΝΔ-ΒΑ διεύθυνση και για το λόγο αυτό κατασκευάζεται γέφυρα (L=120m) που περνάει πάνω από το ρέμα και συνδέει τις δύο σήραγγες.



Εικόνα 2.1.6 Γέφυρα μεταξύ των σηράγγων Σ1-Σ1Ν («Δημαρίου») του Κάθετου Άξονα της Εγνατίας Οδού «Ξάνθη-Εχίνος –Ελληνοβουλγαρικά σύνορα» (φωτογραφία από την άσκηση υπαίθρου ΠΜΣ «Τεχνική Γεωλογία και Περιβάλλον», 2018)

Από την άλλη πλευρά του αντερείσματος, δηλαδή μετά το στόμιο εξόδου της Σ2Ν («Πέτρα»), χαρτογραφείται μικρότερης δυναμικότητας ρέμα (ΔΒΔ-ΑΝΑ), που



Εικόνα 2.1.7 Οριζοντιογραφία σηράγγων Σ1Ν («Δημαρίου»)-Σ2Ν («Πέτρα») με υπόδειξη των θέσεων κατασκευής έργων για το πέρασμα των ρεμάτων εκατέρωθεν της Σ2Ν («Πέτρα»)



Εικόνα 2.1.8 Οριζοντιογραφία σηράγγων Σ1Ν («Δημαρίου»)-Σ2Ν («Πέτρα») με υπόδειξη των θέσεων κατασκευής έργων για το πέρασμα των ρεμάτων εκατέρωθεν της Σ2Ν («Πέτρα»)

Αν και θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο, αξίζει να αναφερθεί στο σημείο αυτό ότι, η παρουσία ρεμάτων δεν επηρεάζει την κατασκευή της σήραγγας καθώς αυτά, παρά το γεγονός ότι εμφανίζονται σχεδόν κάθετα σε αυτήν, διαμορφώνονται σε απόλυτα υψόμετρα μικρότερα σε σχέση με αυτό της ερυθράς (Μαρίνος Β., 2020).

Επίσης, στην ευρύτερη περιοχή της σήραγγας, αλλά όχι ακριβώς στη θέση αυτής, παρουσιάζονται εδαφικές αστάθειες με παρουσία υλικών παλαιών κατολισθήσεων (Μαρίνος Β., 2020). Τα ασταθή αυτά υλικά υποδεικνύουν πρόσφατη επανενεργοποίηση των κατολισθητικών κινήσεων και αποτελούν κίνδυνο για την ευρύτερη περιοχή, χωρίς βέβαια να επηρεάζουν άμεσα την σήραγγα «Πέτρα», αλλά ενδεχομένως την γειτονική της σήραγγα Σ1Ν («Δημαρίου»).

Ακολουθεί μία σειρά χαρτών που κατασκευάστηκαν στο QGIS, με υψομετρική πληροφορία από την USGS και περιλαμβάνουν:



- Χάρτη Σκιασμένου Αναγλύφου (Hillshade) της ευρύτερης περιοχής μελέτης
- Χάρτη Τραχύτητας Εδάφους (Roughness) της ευρύτερης περιοχής μελέτης



Εικόνα 2.1.9 Χάρτης ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου αναγλύφου (DEM) ευρύτερης περιοχής μελέτης







Εικόνα 2.1.11 Χάρτης σκιασμένου αναγλύφου (hillshade) ευρύτερης περιοχής μελέτης

30



Εικόνα 2.1.12 Χάρτης τραχύτητας εδάφους (roughness) της περιοχής των σηράγγων Σ1, Σ1Ν («Δημαρίου»), Σ2Ν («Πέτρα»)

2.2 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

Κατά το Ιουρασικό και Κρητιδικό έλαβε χώρα μία εκτεταμένη υποβύθιση του ωκεανού της Τηθύος κάτω από την Ευρασιατική ήπειρο που είχε σαν αποτέλεσμα τον σχηματισμό των οροσειρών των Άλπεων και των Ιμαλάϊων. Η υποβύθιση αυτή και το κλείσιμο του ωκεανού επηρέασαν και την Ροδόπη (Burg 2012, Kounov et al. 2015, Kydonakis et al. 2015) προκαλώντας την μεταμόρφωση των προϋπαρχόντων πετρωμάτων.

Σύμφωνα με τους Kounov et al. (2015) και με βάση χρονολογήσεις U-Pb σε ζιρκόνια, καταγράφηκαν υψηλής πίεσης γεγονότα πριν από 145 Ma βόρεια της Ξάνθης με το σχηματισμό εκλογιτών. Επίσης, σύμφωνα με τους Bonev et al. (2006) μεταξύ 119 και 65 Ma, με κορύφωση στο Μέσο Κρητιδικό, δρούσαν συμπιεστικές τάσεις με αποτέλεσμα τη δημιουργία ρηγμάτων «thrust» και την αύξηση του πάχους του φλοιού.

Αμέσως μετά, κατά το Παλαιόκαινο (65-56 Ma), ξεκίνησε η κατάρρευση του ορογενούς που ήταν αποτέλεσμα δράσης των εκτατικών δυνάμεων με τη δημιουργία ρηγμάτων αποκόλλησης (detachment faults) λόγω της υποχώρησης (roll-back) της καταδυόμενης ωκεάνιας πλάκας (Bonev et al. 2006, Brun and Sokoutis 2007, Burg 2012, Bonev et al. 2015, Kydonakis et al. 2015).



Εικόνα 2.2.1 Τα εκτατικά γεγονότα του Μεσοζωικού με το σχηματισμό ρηγμάτων αποκόλλησης (detachment faults) λόγω της κατάρρευσης του ορογενούς (Bonev et al. 2015).

Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την εκταφή (exhumation) μεταμορφικών συμπλεγμάτων όπως αυτό της Νότιας Ροδόπης (SRCC). Η εκταφή των μεταμορφικών συμπλεγμάτων συνεχίστηκε στην μάζα της Ροδόπης έως και το Μέσο Μειόκαινο. Σύμφωνα με τους Kilias et al. (2015) και Kydonakis et al. (2015) η έκταση αυτή είχε σαν αποτέλεσμα την εκτεταμένη ανάπτυξη ηπειρωτικών και θαλάσσιων ιζηματογενών λεκανών. Η ιζηματογένεση στις λεκάνες συνοδεύτηκε από ασβεσταλκαλική και τοπικά σοσονιτική, όξινη έως ενδιάμεση ηφαιστειότητα, Ολιγοκαινικής-Μειοκαινικής ηλικίας.



Εικόνα 2.2.2 Τομή κατά μήκος των Βόρειων Ελληνίδων που δείχνει τις διαφορετικές θέσεις της Μεσοελληνικής αύλακας και της λεκάνης της Θράκης, κατά την Τριτογενή Ορογενετική διαδικασία στις Ελληνίδες. Η εκτατική τεκτονική δρα παράλληλα με την συμπιεστική τεκτονική κατά την διάρκεια της ορογένεσης, καθώς παρατηρείται μετανάστευση αυτής της δυναμικής, προς τα ΝΔ-ΝΝΔ (Kilias et al, 2015). Με κόκκινο βέλος σημειώνεται από την γράφουσα η ενδεικτική θέση της περιοχής μελέτης, που αντιστοιχεί όπως φαίνεται σε «μολασσικά ιζήματα και ηφαιστειακά πετρώματα»

Ειδικότερα, η έντονη μαγματική δραστηριότητα που αναπτύχθηκε μετά την σύγκρουση (post-collision magmatism) στην μάζα της Ροδόπης και οφείλεται στο roll-back της καταδυόμενης πλάκας, στην κατάρρευση του ορογενούς, στην λέπτυνση της λιθόσφαιρας, στην αποκόλληση τμημάτων του φλοιού και της λιθόσφαιρας,

καθώς και στην διάρρηξη της λιθοσφαιρικής πλάκας (Pe-Piper et al. 1998, Ersoy and Palmer 2013), προήλθε από την τήξη της καταδυόμενης ωκεάνιας πλάκας που αναμείχθηκε με την ασθενόσφαιρα και διείσδυσε σε μικρά βάθη μέσω των ρηγμάτων αποκόλλησης, δημιουργώντας πλουτωνικά, υποηφαιστειακά και ηφαιστειακά πετρώματα, βασικής έως όξινης σύστασης με χαρακτήρα ασβεσταλκαλικό, υψηλού καλίου ασβεσταλκαλικό και σοσονιτικό.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 2.2.3 Σχηματικές τομές που αναπαριστούν την γεωδυναμική εξέλιξη των Ελληνίδων στη 2^η περίοδο της Αλπικής ορογένεσης. Δείχνονται οι κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών, η υποβύθιση του ωκεανού της Νέο-Τηθύος κάτω από την ενιαία ηπειρωτική πλάκα, η συμπιεστική τεκτονική παραμόρφωση-λεπίωση και η πάχυνση του φλοιού στη θέση σύγκλισης, καθώς και η εσωτερική τεκτονική στο εσωτερικό της ηπείρου και η επακόλουθη λέπτυνση του φλοιού, η ανύψωση, εκταφή τμημάτων της κάτω πλάκας και η μαγματική άνοδος (κατά Mountrakis, 2005, 2006).

Στην παρακάτω σχηματική τομή κυκλώνεται με κόκκινο χρώμα το υλικό από το οποίο θα προκύψουν τα ηφαιστειακά πετρώματα στην περιοχή μελέτης, κατά την ηφαιστειακή δραστηριότητα του Ηωκαίνου – Ολιγοκαίνου.



Εικόνα 2.2.4 Σχηματική τομή κατά μήκος του μεταμορφικού συμπλέγματος της Ροδόπης και της λεκάνης της Θράκης που δείχνει τα προοδευτικά στάδια παραμόρφωσης που σχετίζονται με την εξέλιξη της λεκάνης. Η Παλαιογενής λεκάνη της Θράκης σχηματίστηκε στην κορυφή της μικρής γωνίας, εκτατικού ρηξιγενούς συστήματος κατά την διάρκεια της Παλαιογενούς-Νεογενούς έκτασης του μεταμορφικού συμπλέγματος της Ροδόπης. Η υποβύθιση της λεκάνης έλαβε χώρα παράλληλα με την άνοδο και εμφάνιση των βαθιών ηπειρωτικών μεταμορφικών ενοτήτων. Ο εφελκυσμός μεταναστεύει από ΝΔ προς ΝΝΔ (Kilias et al, 2015).

2.3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

2.3.1 Γενικά

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης ανήκει στην Μάζα Ροδόπης, η οποία περιλαμβάνει γεωγραφικά, τον ορεινό όγκο της Ροδόπης στη Θράκη και τη Νότια Βουλγαρία, την Ανατολική Μακεδονία με δυτικό όριο την γραμμή του ποταμού Στρυμόνα καθώς και το νησί της Θάσου (Μουντράκης, 2010).



Εικόνα 2.3.1.1 Γεωτεκτονικές Ζώνες Ελλάδας. Με μαύρο κουτάκι σημειωμένη η περιοχή του εξεταζόμενου τεχνικού (Πηγή: https://www.orykta.gr/geologia-oryktologia/geologia-elladas)

Γενικά, η Ροδόπη αποτελεί τμήμα της ορογενετικής ζώνης των Άλπεων και των Ιμαλάϊων. Σύμφωνα με τους Marchev et al. (2005), Himmerkus et al. (2009), Burg (2012), Kydonakis et al. (2015) και Kounov et al. (2015), στα βόρεια η Ροδόπη συνορεύει με τις γεωτεκτονικές ενότητες Sredna Gora και Strandja κατά μήκος του ρήγματος Maritza ή Έβρου. Στα δυτικά συνορεύει με την ενότητα Βερτίσκου της Σερβομακεδονικής μάζας και στα ανατολικά με την Περιροδοπική ζώνη. Στα ανατολικά η Ροδόπη καλύπτεται επίσης από τα Νεογενή ιζήματα της λεκάνης της «Ανατολικής Θράκης» στην Τουρκία, ενώ στα νότια συνορεύει με το Βόρειο Αιγαίο.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 2.3.1.2 Απλοποιημένη Γεωλογική Τομή κατά μήκος των Ελληνίδων. Serbomacedonian massif (Sm), Pelagonian massif (Pl), Axios–Vardar zone (Ax), Circum Rhodope belt (CRB), external Hellenides (Pa: Parnassos zone, Pi: Pindos zone, G: Gavrovo– Tripoli zone, I: Ionian zone, Px: Paxos zone), ophiolitic rocks (SP: subpelagonian zone), blsch: blueschists, MMT: Mesohellenic molassic trough, γκρι βέλη: thrusts, μαύρα βέλη: εκτατικά ρήγματα. Τροποποιημένο από Kilias et al. (2002) και Nance (1981). Με κόκκινο βέλος υποδεικνύεται η θέση του τεχνικού στα Ηωκαινικά-Ολιγοκαινικά πετρώματα της Ροδόπης.

Η μάζα της Ροδόπης αποτελεί ένα ετερογενές τμήμα ηπειρωτικού φλοιού και χωρίζεται στο Σύμπλεγμα της Βόρειας Ροδόπης (Northern Rhodope Domain) και στο Μεταμορφικό Σύμπλεγμα της Νότιας Ροδόπης (Southern Rhodope Core Complex - SRCC) (Kydonakis et al. 2015).



Εικόνα 2.3.1.3 Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της μάζας της Ροδόπης στην ΒΑ Ελλάδα όπου διακρίνονται τα σημαντικότερες τεκτονικές δομές (κυρίως τα ρήγματα αποκόλλησης) και τα μαγματικά πετρώματα του Καινοζωικού (Ηώκαινο-Μειόκαινο) (από Melfos and Voudouris 2017). Συντομογραφίες των μαγματικών πετρωμάτων BES: Barutin-Ελατιά-Σκαλωτή, IER: Ιερισσός, KV: Κοτύλη, KZ: Καλότυχο-Zlatograd, MKL: Μαρώνεια-Κίρκη-Λεπτοκαρυά, SKR: Σκουριές, KVL: Καβάλα, PNG: Παγγαίο, STH: Σιθωνία, VR: Βροντού, XTH: Ξάνθη.

Σύμφωνα με τον Μουντράκη (2010), απαρτίζεται στο μεγαλύτερό της μέρος από κρυσταλλοσχιστώδη και πυριγενή πετρώματα και αποτελείται από μία σειρά τεκτονικών ενοτήτων (καλυμμάτων): την «ανώτερη ενότητα Κύμης», την «ενότητα Κεχριού», την «ενότητα Καρδάμου», την «ενότητα Σιδηρόνερου» και την κατώτερη «ενότητα Παγγαίου».

Συγκεκριμένα, η εξεταζόμενη περιοχή ανήκει στην «ενότητα Σιδηρόνερου» στην οποία συμμετέχουν κυρίως πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα. Τα πυριγενή μπορεί να είναι είτε εκρηξιγενή/ηφαιστειακά πετρώματα είτε πλουτωνικοί όγκοι (π.χ. γρανίτης). Τα μεταμορφωμένα πετρώματα της περιοχής, περιλαμβάνουν για παράδειγμα μιγματίτες, ορθογνεύσιους, παραγνεύσιους, αμφιβολίτες, εκλογίτες και λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων (Μουντράκης, 2010).

Το Αλπικό και Προαλπικό υπόβαθρο λοιπόν, διακόπτεται από τα πυριγενή πετρώματα, τα οποία, όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο της γεωτεκτονικής εξέλιξης, είναι αποτέλεσμα μιας εκτεταμένης μαγματικής δραστηριότητας που έλαβε χώρα στο Τριτογενές. Συγκεκριμένα, στη «Μάζα Ροδόπης» αναγνωρίζονται:

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

- Μεγάλα όξινα πλουτωνικά σώματα στο χώρο ανάπτυξης της Ενότητας Παγγαίου (Ανατολική Μακεδονία) που χρονολογούνται στο Άνω Ολιγόκαινο και Κάτω Μειόκαινο
- Οξινα ηφαιστειογενή πετρώματα στο χώρο της Ενότητας Σιδηρόνερου
- Μολασσικού τύπου Ολιγοκαινικά ιζήματα στο χώρο της Νότιας Θράκης (περιοχή Ξάνθης-Κομοτηνής-Αλεξανδρούπολης)(Μουντράκης, 2003)



Εικόνα 2.3.1.4 Σκαρίφημα του ευρύτερου χώρου της μάζας Ρίλα-Ροδόπης με τις κυριότερες ηφαιστειακές και πλουτωνικές εμφανίσεις και τις αντίστοιχες ηλικίες των ραδιοχρονολογήσεων (Μουντράκης, 2010). Η εξεταζόμενη στην παρούσα εργασία ηφαιστειακή εμφάνιση περιγράφεται με

Στην παρούσα εργασία, ενδιαφέρουν κυρίως τα ηφαιστειακά πετρώματα της Ελληνικής Ροδόπης, τα οποία σύμφωνα με τον Μουντράκη (2010) εμφανίζονται κατά βάση σε δύο περιοχές: στην περιοχή Φερρών-Σαπών του Έβρου και Βόρεια της Ξάνθης-Κομοτηνής στα Ελληνοβουλγαρικά σύνορα, περιοχή που αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Η σύστασή τους κυμαίνεται από ενδιάμεση έως όξινη και ανήκουν σε ασβεσταλκαλικές και σοσονιτικές σειρές που σχηματίστηκαν κατά την εφελκυστική τεκτονική του Τριτογενούς. Η ηλικία τους είναι Ολιγοκαινική (35-25 Ma). Με κόκκινη στίξη σημειώνεται η περιοχή μελέτης και κυκλώνεται η ονομασία των Παλαιογενών μαγματικών πετρωμάτων της περιοχής της Κεντρικής Ροδόπης (KV / Kotili-Vitinya ιγκνιμβρίτες) που την χαρακτηρίζουν.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 2.3.1.5 Τοποθεσία των Παλαιογενών μαγματικών πετρωμάτων της περιοχής της Κεντρικής Ροδόπης (Central Rodhope Area –CRA) (Απλοποιημένο από Dabovski et al, 1989). 1-Νεογενή και Τεταρτογενή, 2α- ηφαιστειακά πετρώματα, 2b- Πυροκλαστικό υλικό από την καλδέρα Levocevo, 3- συστήματα φλεβών, 4- πλουτωνίτες, 5-στρωμένα παλαιογενή πετρώματα (κυρίως ιζηματογενή), 6- υπόβαθρο, 6α- Άνω Κρητιδικά γρανιτοειδή, 6b- υψηλού βαθμού μεταμορφωμένα, γρανίτες, CP-Central Pirin πλουτωνίτης, T-Teshevo πλουτωνίτης, M-Ηφαιστειακά της Mesta, BD-Bracigovo-Dospat ιγκνιμβρίτες, P- Perelik ιγκνιμβρίτες, KV- Kotili-Vitinya ιγκνιμβρίτες, L-καλδέρα Levocevo:συστήματα φλεβών, MD-Momchilovtsi-Davidkovo ιγκνιμβρίτες, ZG-Zagrazden. Το ένθετο δείχνει την γεωτεκτονική θέση των Παλαιογενών μαγματικών πετρωμάτων στο νότιο τμήμα των Bαλκανίων (Dabovski et al, 1989, 1991) MPM – Moesian Plate + deformed plate margin, SZ-collage units + subduction related Late Cretaceous Srednogorie zone, MRNAMZ-collage units + zone of collisional related Paleogene magmatic rocks (Central Rodhope Area –CRA is framed) D-main Tethys suture (inner Dinarides) (μεταφρασμένο από Marchev, Pécskay, et al, 1998).

Σύμφωνα με τον υδρογεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε., σχηματισμοί της ευρύτερης περιοχής μελέτης, είναι οι παρακάτω. Ο εν λόγω χάρτης ψηφιοποιήθηκε εκ νέου στο πρόγραμμα QGIS με υψομετρική πληροφορία προερχόμενη από τη USGS.



Εικόνα 2.3.1.6 Υδρογεωλογικός χάρτης του ΙΓΜΕ, ψηφιοποιημένος στο GIS

Οι παραπάνω σχηματισμοί της ευρύτερης περιοχής περιγράφονταν επίσης ως εξής:

«Η ηφαιστειοιζηματογενής σειρά, στα ανώτερα μέλη της αποτελείται από ιγκνιμβρίτες – ρυόλιθους (Ig) με εμφάνιση να κάνουν στις Βορειοδυτικές περιοχές (Πάχνη)», κοντά στις οποίες απαντάται και το τεχνικό έργο. «Επίσης στα ανώτερα μέλη της αποτελείται και από ιγκνιμβρίτες-ανδεσίτες (Ad-Ig) οι οποίοι βρίσκονται στις BA περιοχές», σε μεγαλύτερη απόσταση από το τεχνικό. «Н ηφαιστειοιζηματογενής σειρά στα κατώτερα μέλη, απαρτίζεται από ρυολιθικούς (ΒΔ) ή ανδεσιτικούς (BA) τόφφους με παρεμβολές ανθρακούχων σχιστολίθων και κροκαλοπαγών βάσεως». Γενικά είναι πετρώματα Ολιγοκαινικά, μολασικού τύπου.

«Οι Ρυόλιθοι-Ιγκνιμβρίτες-Ανδεσίτες και αντίστοιχοι τόφφοι (Ig/Ad-Ig), είναι ηφαιστειακοί σχηματισμοί, τεφρού έως κιτρινόλευκου χρώματος. Συνεκτικοί βραχώδεις σχηματισμοί με χαρακτηριστικό γνώρισμα τον πορφυριτικό ιστό, την παχυστρωματώδη ανάπτυξη στους τόφφους και την λεπτοπλακώδη κατάτμηση στις λάβες που συνδέονται σε μεγάλο βαθμό με τις συνθήκες σχηματισμού του πετρώματος (επιφάνειες απόψυξης)». «Η «μολασσική σειρά» (Κοτύλης) αναπτύσσεται σε μικρό τμήμα της Βορειοδυτικής περιοχής και συνίσταται από υφάλμυρες, λιμναίας φάσης παχυστρωματώδεις εναλλαγές συνεκτικών έως ημισυνεκτικών ψαμμιτών, με τεφρές μάργες, ελαφρά σχιστοποιημένες, γενικά εύθρυπτες και κατά θέσεις στιφρές έως πολύ σκληρές με τοπικές παρεμβολές οριζόντων λιγνίτη. Ο σχηματισμός στη βάση του αρχίζει με συνεκτικά κροκαλοπαγή πάχους μέχρι 20m ηλικίας Ηωκαίνου».

«Τα Τριτογενή **κροκαλοπαγή** είναι πολύμικτα, συνεκτικά έως ημισυνεκτικά και αποτελούν τη βάση των ενοτήτων του Τριτογενούς (ψαμμίτες-μάργες, φλύσχης, ρυολιθικοί τόφφοι). Τα αδρομερή έχουν μέγεθος 10-15cm, ενώ το συνδετικό υλικό είναι ψαμμιτικό έως ασβεστοψαμμιτικό και κατά θέσεις αμμοιλυώδες. Το είδος του συνδετικού υλικού, προσδιορίζει τον βαθμό συνεκτικότητας του πετρώματος και την γεωμηχανική του συμπεριφορά. Γενικά, ο σχηματισμός διατηρεί πρανή, χωρίς σοβαρές αστοχίες».

2.3.2 Λεκάνη Θράκης / Ροδόπης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Η λεκάνη της Θράκης έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στη συγκεκριμένη περίπτωση, καθώς τα ιζήματά της απαντώνται στην ευρύτερη περιοχή του τεχνικού. Είναι μία από τις μεγαλύτερες λεκάνες του Τριτογενούς στο Βόρειο Αιγαίο και καταλαμβάνει μία εκτεταμένη περιοχή πολλών τετραγωνικών χιλιομέτρων στην Ελλάδα και την Τουρκία, ενώ παρόμοιες ηλικιακά και λιθολογικά λεκάνες έχουν απαντηθεί και στη Νότια Βουλγαρία.

Στο ελληνικό τμήμα της λεκάνης της Θράκης και στη συνέχισή του προς το Βορρά στη Βουλγαρία, τα τριτογενή ιζήματα με συνολικό πάχος περίπου 3–5km, επικαλύπτουν τα πετρώματα του υποβάθρου της Ροδόπης (Burchfiel et al. 2003, Χριστοδούλου, 1958, Kopp, 1965).

Οι αποθέσεις της λεκάνης της Θράκης αποτελούνται από ιζηματογενή πετρώματα μολασσικού τύπου του Παλαιογενούς, καθώς και από ιζήματα του Νεογενούς και Τεταρτογενούς (Burchfiel et al., 2003; Christodoulou, 1958; Görür and Okay, 1996; Kopp, 1965; Meinhold and BonDagher-Fadel, 2010; Turgut et al., 1991, Zagorchev, 1998). Τα Παλαιογενή μολασσικά ιζήματα παρεμβάλλονται με μεγάλου όγκου ασβεσταλκαλικά και μερικώς σοσονιτικά ηφαιστειακά προϊόντα. Τα τελευταία σχηματίζουν ροές λάβας, δεβριτικές ροές, υδροκλαστίτες, θόλους, φλέβες (dykes) και πολλά πυροκλαστικά.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Οι ηλικίες Κ/Ar κυμαίνονται από 33,4 έως 20 Ma, δηλαδή Κ. Ολιγόκαινο έως Κ. Μειόκαινο (Christofides et al., 2004). Ωστόσο, παρεμβολές ηφαιστειακών προϊόντων με τα παλαιότερα κλαστικά ιζήματα του Μέσο-Άνω Ηωκαίνου της λεκάνης της Θράκης (Burchfiel et al., 2003; Christodoulou, 1958; Dragomanov et al., 1986; Kopp, 1965; Meinhold and BonDagher-Fadel, 2010; Zagorchev, 1998) δείχνουν ότι η ηφαιστειακή δραστηριότητα ξεκίνησε κατά το Μέσο-Άνω Ηώκαινο. Στην παρακάτω εικόνα, κυκλώνεται η θέση της περιοχής μελέτης, πάνω στις αποθέσεις των ιγκνιμβριτών Kotili-Vitinya (KV), ενώ δίνονται και στοιχεία για την συγκεκριμένη απόθεση.





Όπως προαναφέρθηκε, τα ιζήματα της λεκάνης της δυτικής Θράκης στην Ροδόπη, έχουν Μέση-Άνω Ηωκαινική έως Ολιγοκαινική ηλικία. Αποτελούν μια περίπλοκη στρωματογραφική ακολουθία αποτελούμενη από παρεμβολές στρωμένων κροκαλοπαγών, λατυποπαγών, ψαμμίτη, νουμουλιτικών ασβεστολίθων, τουρβιδιτικών στρωμάτων και σχιστόλιθων (Kilias et al, 2013). Συγκεκριμένα, η ιζηματογένεση ξεκίνησε με εναπόθεση ηπειρωτικών ιζημάτων (κυρίως λατυποπαγών και ψαμμιτών), ακολουθούμενη κατά τη διάρκεια του Άνω Ηωκαίνου-Ολιγοκαίνου από θαλάσσιες, τουρβιδιτικού τύπου αποθέσεις και ασβεστόλιθους ενδιαστρωμένους με τα ηφαιστειακά προϊόντα (Εικ. 3; Burchfiel et al., 2003, Christodoulou, 1958; Dragomanov et al., 1986; Kopp, 1965; Zagorchev ;, 1998) (μεταφρασμένο από Kilias et al, 2013).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Μια παχιά ιζηματογενής ακολουθία του Νεογενούς επικαλύπτει με ασυμφωνία τα παλαιογενή στρώματα της λεκάνης και αποτελείται από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και αργίλους. Χαλίκια, άργιλος και ψαμμίτες σχηματίζουν τα νεότερα τεταρτοταγή ιζήματα της στρωματογραφικής στήλης (μεταφρασμένο από Kilias et al, 2013).

ERATHEN	SYSTEM	SERIES EPOCH	AGE (Ma)	тніс	KNESS	LITHOLOGY		
	ary	Holocene	0.0117		<u>î</u>	° ° ° ° ° °		
0	Quatern	Pleistocene	-2,588			=======	テエニトニー 、 。 。 。 ニーニーニー 第語 11 Pebbles, clay and s	Pebbles, clay and sandstones
	Neogene	Pliocene		F	۶			
		Miocene		1-2kr		Neogene sediments	10	Conglomerates, sandstones and shales
ZO			23,03	<u> </u>			29	Basaltic rocks
G	Paleogene	Oligocene	- 33,90 E YC	[,]	↑		••• 8	Sandstones (mainly turbiditic)
Ŭ				П etachmer e basin	si me		==7	Shales (partly hemipelagic)
					e ba		E 6	Nummulitic limestones
				ЗКI	hrac		<u>::</u> 5	Sandstones and shales(mainly turbiditic)
		Eocene		~	Sup		ের 4	Volcanics (acid to intermediate)
							ిళ్ల్ 3	Conglomerates and sandstones
				Ŷ	Ļ		°∘∘ 2	Basal conglomerates
		Delesses				+ + + + + + + + + + + + +		
<u>.</u>	ن	Paleocene	- 65,50			+ + + + + + + + + + + + + + + + + + +		Metamorhic rocks
Meso zoic	Creta	Upper				basement	+ + 1	of the Rhodope massif. Gneisses and schists

Εικόνα 2.3.2.2 Σχηματική στρωματογραφική στήλη της λεκάνης της Θράκης. Kilias et al (2013) από δεδομένα των Christodoulou (1958), Kopp (1965), Lescuyer et al. (2003) and Burchfiel et al. (2003).

Οι παρακάτω δύο στρωματογραφικές στήλες προέρχονται από μελέτη Παλαιογενών Λεκανών στην πλευρά της Βουλγαρικής επικράτειας. Αξιολογείται ότι η στρωματογραφική στήλη Β αντιπροσωπεύει εν μέρη και την αντίστοιχη στρωματογραφική στήλη της Παλαιογενούς Λεκάνης στην Ελληνική πλευρά.



Εικόνα 2.3.2.3 Οι αλληλεπιδράσεις των όξινων ηφαιστειοκλαστικών και ιζηματογενών πετρωμάτων στις τομές ορισμένων CRA (Central Rodhope Area) Παλαιογενών Λεκανών. Α-κεντρικό τμήμα του Mesta graben (Harkovska, 1983, απλοποιημένο), Β-ανώτερο τμήμα της τομής της λεκάνης του Smolyan (τροποποιημένη από Harskovska,1984 και Moskovski, 1994): 1-Υπόβαθρο: α) υψηλού βαθμού μεταμορφωμένα, b) γρανίτες, 2α – σχηματισμοί κροκαλοπαγών – λατυποπαγών, 2b – ολισθόλιθοι/ολισθόπλακες μαρμάρων, 3- ψαμμιτικοί σχηματισμοί, 4-5 ηφαιστειακοί σχηματισμοί: 4α) αδιαίρετα πύρο-/επί-κλαστικά, 4b) - όξινοι τόφφοι (πτώση από αέρα) και αποθέσεις πυροκλαστικών ροών, 5-Perelik lava-like ιγκνιμβρίτες (μεταφρασμένο από Marchev, Pécskay, et al, 1998)

Σύμφωνα με πρόσφατη χαρτογράφηση που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή μελέτης (Αλεξιάδου, 2014). αυτή περιλαμβάνει σχηματισμούς μολασσικού τύπου του Τριτογενούς («Μολάσσα Ροδόπης») που διακρίνονται σε ηφαιστειακούς σχηματισμούς και σε ιζηματογενείς σχηματισμούς (ηφαιστειοιζηματογενής σειρά). Ειδικότερα, τα ηφαιστειακά προϊόντα περιλαμβάνουν τους «Ιγκνιμβρίτες» που διακρίνονται επιμέρους σε ηφαιστειακούς τόφφους και ηφαιστειακά λατυποπαγή. Τα ιζηματογενή πετρώματα που τοποθετούνται κοντά αλλά όχι κατά μήκος της σήραγγας, περιλαμβάνουν τη «μολάσσα», δηλαδή εναλλαγές παχυστωματωδών ψαμμιτών και ιλυολίθων ή μαργών, υφάλμυρης λιμναίας φάσης. Στη μελέτη 2014), αναφέρεται επίσης ότι παρατηρούνται ανδεσίτες του (Αλεξιάδου, Ολιγοκαίνου, ηφαιστειακής προέλευσης, ως ογκόλιθοι διάσπαρτοι από ανάντη καταπτώσεις, ενώ μόνο σε ένα σημείο ο σχηματισμός αξιολογείται ότι βρίσκεται επιτόπου. Τέλος, τα υλικά του τεταρτογενούς καλύπτουν τις παραπάνω λιθολογίες. Αυτά μπορεί να είναι κορήματα, υλικά κατολισθήσεων, αποθέσεις κοίτης, αποθέσεις αναβαθμίδας, αλλουβιακά ριπίδια ή παλαιές αλλουβιακές αποθέσεις.

Τα Ηωκαινικά – Ολιγοκαινικά ιζήματα και ηφαιστειακά πετρώματα της περιοχής μελέτης βρίσκονται εντός της κόκκινης οριοθετημένης περιοχής που παρακάτω χάρτη, από Bonev et al. (2006), Brun and Sokoutis (2007), Kilias et al. (1999).



Εικόνα 2.3.2.4 Απλοποιημένος Γεωλογικός Χάρτης της Ροδόπης. Η λεκάνη της Θράκης και οι κύριες ενότητες της μάζας Ροδόπης και της Σερβομακεδονικής, με τις τεκτονικές τους σχέσεις. Τροποποιημένο από: Bonev et al. (2006), Brun and Sokoutis (2007), Kilias et al. (1999)

Η παραπάνω θέση της εξεταζόμενης περιοχής υποδεικνύεται με το κόκκινο

βέλος στην παρακάτω αντίστοιχη τομή.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 2.3.2.5 Geometry of kinematics during Paleogene–Neogene extension of Rhodope Massif and formation of the Paleogene volcano-sedimentary Thrace basin on top of the Paleogene extensional detachment fault system, simultaneously with uplift of deep crustal metamorphic Rhodope units. Extension migrates towards SW–SSW.

2.3.3 Ηφαιστειακά Πετρώματα

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

μήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

Πυριγενή πετρώματα είναι εκείνα τα πετρώματα που δημιουργούνται μετά από τη στερεοποίηση του μάγματος. Όταν το μάγμα φθάνει στην επιφάνεια και πετρώματα ονομάζονται ηφαιστίτες στερεοποιείται, τα ή εκρηξιγενή. Στα ηφαιστειακά πετρώματα, λόγω της απότομης ανόδου του μάγματος προς την επιφάνεια, η θερμοκρασία του πέφτει απότομα με συνέπεια να σχηματισθούν υαλώδεις ή μικρό-κρυσταλλικές μάζες. Στην πρώτη περίπτωση μιλάμε για υαλώδη ιστό (πχ. οψιδιανός) και στη δεύτερη περίπτωση μιλάμε για αφυρικό ιστό. Πολλές φορές όμως μέσα στην υαλώδη ή μικροκρυσταλλική μάζα βρίσκονται κρύσταλλοι διαφόρων ορυκτών μικροί ή μεγάλοι, οι οποίοι σχηματίζονται πριν την έκχυση της λάβας και οι οποίοι ονομάζονται φαινοκρύσταλλοι. Ο συνδυασμός της υαλώδους ή μικροκρυσταλλικής φαινοκρυστάλλων μάζας και των γαρακτηρίζεται ως πορφυριτικός ιστός (πχ. ανδεσίτης). Πορφυριτικός ιστός αναφέρεται ότι χαρακτηρίζει τον ιγκνιμβρίτη της στενής περιοχής μελέτης, σύμφωνα με το Ι.Γ.Μ.Ε.

2.3.3.1 Προέλευση - σχηματισμός

Τα προϊόντα που δημιουργούν οι ηφαιστειακές εκρήξεις ποικίλουν πολύ και εξαρτώνται κυρίως από τη σύσταση του μάγματος, το ιξώδες του και την περιεκτικότητά του σε αέρια. Οι πυροκλαστικές ροές, τα λαχάρ και οι τεράστιες αποθέσεις τέφρας, είναι συχνές σε βίαιες ανδεσιτικές έως ρυολιθικές εκρήξεις που σχετίζονται με τα στρωματοηφαίστεια (Σολδάτος). Η εκρηκτική δράση των αερίων έχει ως αποτέλεσμα τον κατακερματισμό του μάγματος και των πετρωμάτων. Όσο πιο εκρηκτική η ηφαιστειακή δράση τόσο πιο έντονος ο κατακερματισμός.

Στην συνέχεια θα δοθούν οι απαραίτητοι ορισμοί συγκεκριμένων εννοιών, με απώτερο σκοπό την κατανόηση του τρόπου σχηματισμού και της σύστασης των ηφαιστειακών πετρωμάτων της εξεταζόμενης περιοχής.

Πυροκλαστικά (pyroclasts)	Είναι τα μεμονωμένα ηφαιστειακά θραύσματα.
Τέφρα (tephra)	Είναι το σύνολο των πυροκλαστικών θραυσμάτων που εκτοξεύονται από τον πόρο κατά τη διάρκεια των εκρηκτικών ηφαιστειακών δράσεων. Η τέφρα αποτελείται από χαλαρά υλικά.

2 and	Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη	~
GE	Πυροκλαστικό	ΟΣ"
D. Hant	πέτρωμα λογί	Είναι το συμπαγές πέτρωμα που σχηματίζεται από τη στερεοποίηση
8	(pyroclastic	των πυροκλαστικών υλικών.
	rock)	

Πίνακας 2.3.1. Ορισμοί ηφαιστειακών υλικών

Τα πυροκλαστικά υλικά ταξινομούνται ανάλογα με το μέγεθός τους σε:

	Μέγεθος < 2 mm. Αποτελείται κυρίως από πολύ λεπτόκοκκα υαλώδη
Στάχτη (ash)	θρύψαλα (shards), αλλά και από θρυμματισμένους κρυστάλλους και
	λιθικά.
	Μέγεθος 2-64 mm. Αποτελούνται από πυροκλαστικά υλικά μεγέθους
Λιθάρια	μπιζελιού έως κάστανου. Συχνά μοιάζουν με κάρβουνα. Σε εκρήξεις με
(lapilli)	συμμετοχή νερού η υγρή στάχτη μπορεί να σχηματίσει σφαιρόμορφα
	λιθάρια που ονομάζονται λιθάρια επαύξησης (accretionary lapilli).
Τεμάχη	Μέγεθος >64 mm. Οι ηφαιστειακές βολίδες εκτινάσσονται ως
(blocks) και	πυρακτωμένη λάβα, και στερεοποιούνται κατά την τροχιά τους στον αέρα
βολίδες	παίρνοντας αεροδυναμικά σχήματα. Τα τεμάχη εκτινάσσονται ως στερεά
(bombs)	θραύσματα με γωνιώδη σχήματα.

Πίνακας 2.3.2. Ταξινομήσεις πυροκλαστικών υλικών

Ενίοτε τα χαλαρά πυροκλαστικά υλικά συγκολλούνται ή συμπαγοποιούνται και σχηματίζουν συμπαγή πυροκλαστικά πετρώματα. Αυτά διακρίνονται με βάση το ποσοστό των πυροκλαστικών υλικών από τα οποία αποτελούνται:

Τόφφος (tuff, ash tuff)	Πέτρωμα που αποτελείται κυρίως από στάχτη.		
Τόφφος λιθαριών (lapilli tuff)	Πέτρωμα που αποτελείται κυρίως από λιθάρια.		
Τοφφικό λατυποπαγές (tuff	Πέτρωμα που αποτελείται από 25-75% τεμάχη ή/και		
breccia)	βολίδες.		
Πυροκλαστικό λατυποπαγές (pyroclastic breccia)	Πέτρωμα που αποτελείται τουλάχιστον από 75% τεμάχη και βολίδες.		
Σύναγμα (agglomerate)	Πέτρωμα που αποτελείται τουλάχιστον από 75% βολίδες.		
Σύμφυρμα (agglutinate)	Πέτρωμα που αποτελείται από συγκολλημένα βασαλτικά θραύσματα.		

Πίνακας 2.3.3 Διάκριση πυροκλαστικών πετρωμάτων με βάση το ποσοστό των πυροκλαστικών υλικών

Η πυροκλαστική ροή (pyroclastic flow) λοιπόν, γνωστή και ως πυροκλαστικό ρεύμα πυκνότητας (pyroclastic density current), είναι ένα ρευστοποιημένο μίγμα από στερεά και σχεδόν στερεά θραύσματα και από υπέρθερμα διαστελλόμενα αέρια που κατέρχεται έρποντας την πλαγιά ενός ηφαιστειακού οικοδομήματος. Η απόθεση πυροκλαστικής ροής ακολουθεί μία εξαιρετικά εκρηξιγενή ηφαιστειότητα (Walker, 1983).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Οι αποθέσεις ιγκνιμβρίτη δύναται να καλύψουν τεράστιες περιοχές πολλών τετραγωνικών χιλιομέτρων, με μεγάλο πάχος και επομένως μπορεί να θεωρηθεί ότι αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό γεωυλικό σε πολλές περιοχές του κόσμου (Moon, 1993). Είναι βέβαια, εξαιρετικά μεταβλητοί τόσο στον όγκο που καταλαμβάνουν (0,1 έως πάνω από 1000 km³) όσο και στην έκταση (1 έως πάνω από 100 km) (Sandatlas). Μικρότερες εναποθέσεις συνδέονται με παλαιότερα ρέματα ποταμών καθώς, οι πυροκλαστικές ροές είναι ελεγχόμενες από την βαρύτητα και επομένως τείνουν να ακολουθούν τις κοιλάδες. Οι μεγαλύτερες πυροκλαστικές ροές δεν σχετίζονται πολύ με την τοπογραφία, απλώς καλύπτουν πρώην κοιλάδες με παχύτερες αποθέσεις και κινούμενοι προς τα μεγαλύτερα υψόμετρα, με λεπτότερες αποθέσεις. Ανάλογα με την ποσότητα των υλικών που μεταφέρουν, σχηματίζουν χαλαρές αποθέσεις με πάχος από 1-200 m.

Μεταφέρουν κομμάτια πετρωμάτων με μέγεθος από στάχτη μέχρι ογκόλιθους. Αυτά τα θηριώδη νέφη είναι εξαιρετικά καυτά, με θερμοκρασίες που μπορούν να φτάσουν έως 1000 °C (συνήθως 200-700 °C). Είναι βαρύτερα από τον αέρα, περιέχουν τοξικά αέρια και κινούνται ως ροοστιβάδες με ταχύτητες που συχνά ξεπερνούν τα 100 km/hr και φτάνουν έως και 700km/h. Δημιουργούνται από εκρήξεις στρωματοηφαιστείων και τα προϊόντα τους είναι όξινης έως ενδιάμεσης σύστασης.



Εικόνα 2.3.3.1.1 Πυροκλαστική ροή (Sufriere Hills, 1997, Montserrat). Photo: Heard R., Cole P.

Η ταξινόμηση των πυροκλαστικών ροών (pyroclastic flows) και των πυροκλαστικών αποθέσεων (pyroclastic flow deposits) είναι περίπλοκη. Σε γενικές γραμμές υπάρχουν δύο ακραίοι τύποι πυροκλαστικών ροών.

Πυρακτωμένα νέφη (nuée ardentes)	Περιέχουν συμπαγή κομμάτια λάβας που προέρχονται από την κατάρρευση είτε ενός αναπτυσσόμενου θόλου λάβας, είτε ενός ρεύματος ιξώδους λάβας που σχηματίστηκε κατά την ανάπτυξη του θόλου.
Ρεύματα κίσσηρις (pumice flows)	Περιέχουν κομμάτια ελαφριάς κίσσηρις που προέρχονται από την κατάρρευση μιας εκρηκτικής στήλης.

Πίνακας 2.3.4. Ακραίοι τύποι πυροκλαστικών ροών

Οι αποθέσεις που προκύπτουν από τα πυρακτωμένα νέφη ονομάζονται αποθέσεις τεμαχών και στάχτης (block-and-ash deposits), ενώ οι αποθέσεις που προκύπτουν από τα ρεύματα κίσσηρις ονομάζονται **ιγκνιμβρίτες ή** πυρομβρίτες (ignimbrites). Ιγκνιμβρίτης είναι το πέτρωμα της στενής περιοχής μελέτης και στη συνέχεια αναφέρονται επιπρόσθετα χαρακτηριστικά του.

2.3.4 Ιγκνιμβρίτης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Πολλοί όγκοι ιγκνιμβρίτη, κυρίως ρυολιθικής σύστασης, έχουν αποτεθεί σε πολλές περιοχές του κόσμου όπως στις Δυτικές Η.Π.Α., στην Κεντρική και Νότια Αμερική, στη Μεσόγειο, στην Ιαπωνία, την Ινδονησία, τη Νέα Ζηλανδία (Cas and Wright, 1987).

Ο ιγκνιμβρίτης ή πυρομβρίτης (ignimbrites) είναι πέτρωμα πυριγενές, ηφαιστειακό, πυροκλαστικό και δημιουργείται όπως προαναφέρθηκε, από απόθεση πυροκλαστικής ροής (Waltham, 2002). Συχνά εμφανίζονται σε συμπαγή, μερικώς συγκολλημένα στρώματα που μοιάζουν με ροές λάβας (Σολδάτος).

Κυρίως ο ιγκνιμβρίτης αποτελείται από ελαφρόπετρα που, αποδεικνύει ότι έχει εναποτεθεί ως συμπυκνωμένη και θερμή ροή σωματιδίων (Walker, 1983). Μερικές φορές περιλαμβάνονται και μεγαλύτερα ηφαιστειακά τεμάχια, αλλά το επικρατέστερο μέρος του ιγκνιμβρίτη είναι λιθάρια και τέφρα (Sandatlas). Ειδικότερα δύναται να αποτελείται από κλάστες ελαφρόπετρας (διακριτά θραύσματα ελαφρόπετρας), κρυστάλλους, λιθικούς κλάστες (βραχώδη θραύσματα που ενσωματώνονται στην ακολουθία της έκρηξης) και αλεσμένη μάζα γυάλινων θραυσμάτων (γυαλί μεγέθους τέφρας που προκύπτουν από την αποσύνθεση της ελαφρόπετρας). Αυτά εξάγονται μαζί με άφθονες ποσότητες αερίων που απελευθερώνονται από το μάγμα. Σε γενικές γραμμές, τα θραύσματα της αλεσμένης μάζας είναι χαοτικά διατεταγμένα, και οι ελαφρόπετρες, οι λιθικοί κλάστες και οι κρύσταλλοι διαχωρίζονται από την αλεσμένη μάζα (Sparks et al., 1973; Walker et al., 1980).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Ο όρος «ιγκνιμβρίτης» είναι συνώνυμο με τις έννοιες: πλημμύρα τόφφων (flood tuff), συγκολλημένοι τόφφοι (welded tuff), τόφφοι ροής στάχτης (ash-flow tuff) και εναπόθεση πυροκλαστικής ροής (pyroclastic flow deposit). Ο όρος, επινοήθηκε από γεωλόγο της Νέας Ζηλανδίας, τον Patrick Marshall, το 1935 και χρησιμοποιήθηκε αρχικά, μόνο για να αναφέρεται σε συγκολλημένους τόφφους (Sandatlas). Δηλαδή, για πυροκλαστικά πετρώματα που ήταν τόσο καυτά αμέσως μετά την απόθεση από το πυροκλαστικό νέφος που μεμονωμένοι κλάστες προσκολλήθηκαν ο ένας στον άλλο. Ωστόσο, ο περιορισμός αυτός δεν ισχύει πλέον, καθώς ο όρος περιλαμβάνει όλες τις εναποθέσεις πυροκλαστικής ροής, ανεξάρτητα από το αν είναι συγκολλημένες ή όχι (Sandatlas).

Χαρακτηρισμός	Περιγραφή
Μη συγκολλημένοι	Έχουν συνήθως πυροκλαστική (θρυμματισμένη) υφή και
ιγκνιμβρίτες	αποτελούνται από κομμάτια κίσσηρις που βρίσκονται μέσα σε
(unwelded ignimbrites)	μία πιο λεπτόκοκκη θεμελιώδη μάζα.
Συγκολλημένοι	Όταν σχηματίζονται έχουν αρκετά μεγάλη θερμοκρασία, ώστε
ιγκνιμβρίτες	η κίσσηρη και η στάχτη να είναι ακόμη εύπλαστες. Έτσι, παχιά
(welded ignimbrites)	στρώματα τέτοιων ιγκνιμβριτών συχνά συμπαγοποιούνται
	λιώνοντας τα θραύσματα και σχηματίζοντας μια
	συγκολλημένη ροή (welded flow). Σε αυτές τις περιπτώσεις, τα
	κομμάτια κίσσηρις συγκολλούνται σε υαλώδη φλογοειδή
	σχήματα που λέγονται φλόγες (fiamme). Η υφή αυτή
	λέγεται ευταξιτική υφή (eutaxitic texture).
Ρεομορφικοί	Η συγκόλληση είναι αρκετά έντονη και συνοδεύεται από μία
ιγκνιμβρίτες	εσωτερική ροή, ώστε τα χαρακτηριστικά της αρχικής ροής να
(rheomorphic	διαγράφονται. Είναι έντονα παραμορφωμένοι ιγκνιμβρίτες και
ignimbrites)	συχνά μοιάζουν με ροές λάβας.

Ισχύει ότι, εάν οι ιγκνιμβρίτες θα είναι συγκολλημένοι ή όχι εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία του υλικού αμέσως μετά την εναπόθεση.

Πίνακας 2.3.5 Είδη ιγκνιμβριτών ανάλογα τον βαθμό συγκόλλησης

Οι ιγκνιμβρίτες της στενής περιοχής είναι συγκολλημένοι. Οι περισσότεροι ιγκνιμβρίτες τείνουν να είναι χρωματικά λευκοί ή σαλικοί, αν και έγχρωμες ή φεμικές

ποικιλίες είναι επίσης γνωστές. Η εμφάνισή τους λοιπόν είναι επίσης μεταβλητή με ποικιλία χρωμάτων. Συχνά, μεταβάλλονται υδροθερμικά και τότε εμφανίζεται εντυπωσιακά πολύχρωμος.

2.3.4.1 Ιγκνιμβρίτες Kotili-Vitinya

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Λήφθηκαν υπόψη και μελέτες που διεξάχθηκαν στην περιοχή της Βουλγαρίας αναφορικά με τον υπό εξέταση ιγκνιμβρίτη, καθώς ο ίδιος καταλαμβάνει περιοχή τόσο στην Ελληνική όσο και στην Βουλγαρική επικράτεια. Σύμφωνα με τους Marchev et al (1998) οι συγκεκριμένοι ιγκνιμβρίτες ονομάζονται Kotili-Vitinya και ομοιάζουν με λάβα (lava-like). Χρονολογούνται στα 30.5-28.5Ma (Ρουπέλιο του Ολιγοκαίνου) και χαρακτηρίζονται από μία ενιαία, ισχυρά συγκολλημένη εμφάνιση σαν λάβες (Kackov, 1980; Bahneva et al,1984; Harkovska&Sirakov, 1986;, Alfieris & Kiriakopoulos, 1990).



Εικόνα 2.3.4.1.1 Σχηματικός Γεωλογικός Χάρτης της μάζας της Ροδόπης που δείχνει τις δομές μεταμορφικών θόλων, τις μεγαλύτερες περιοχές πετρωμάτων διείσδυσης και ηφαιστειακές περιοχές και τα συστήματα φλεβών. BD = Bratsigovo–Dospat; Br = Borovitsa; Db = Dambaluk; HBTB = High-Ba trachybasalts; IT = Iran Tepe; KE = Kirki–Esimi; KV = Kotili–Vitinia; KZ = Kaloticho–Zlatograd; Le = Levochevo; LFD = Loutros–Fere–Dadia; Lz = Lozen; Me = Mesta; Md = Madjarovo;
Pe = Perelic; Pt = Petrota; SI = Sveti Ilia; Zd = Zvezdel; Yb = Yabalkovo. Plutons: CP = Central Pirin; RG = Rila granite; Sm = Smilian; Te = Teshevo; Vr = Vrondou; Xt = Xanthi; Yg = Yugovo. Συντάχθηκε από τον Ricou et al. (1998), Arikas and Voudouris (1998), Harkovska et al. (1998a), Marchev et al., 1998a, Marchev et al., 1998b, and unpubl. data), Nedialkov and Pe-Piper (1998); Yanev et al. (1998a) and 1 : 100 000 map of Bulgaria. Το ένθετο δείχνει την κατανομή των

Παλαιογενών πετρωμάτων διείσδυσης και των ηφαιστειακών και ίσο-γραμμές του πάχους του φλοιού που λήφθηκαν από τους Shanov and Kostadinov (1992).

Όπως προαναφέρθηκε, καλύπτουν το μεταμορφωμένο υπόβαθρο και τα ανώτερα τμήματα των Παλαιογενών στρωμάτων. Ανακουφίζονται λόγω της απουσίας υπερκείμενων, με τις ασυνέχειες να εκφράζονται κοντά στην επιφάνεια. Επίσης οι ασυνέχειες είναι σπάνιες και συνήθως «ραμμένες» στους βαθύτερους ορίζοντες. Φαίνεται ξεκάθαρα ότι διαχωρίζονται από λεπτά ιζήματα (VutsevHristov, 1981) ή/και από ζώνες τεκτονικής καταπόνησης. Το πάχος τους κυμαίνεται από λίγα μέτρα μέχρι και 500-600m (Kackov, 1980; Innocenti et al, 1984; Bahneva et al, 1984). Επίσης σε αυτούς σημειώνεται η παρουσία υαλοφυρικών σωμάτων μήκους 30-40cm έως 350m, και πάχους λίγων εκατοστών έως 1-50m. Είναι ανάλογοι των ισχυρά συγκολλημένων ιγκνιμβριτών που ομοιάζουν με λάβες (lava-like) (Benek, 1980; Lipman et al, 1993).

Η Harkovska (1992) αναφέρει ότι τα μικρά όξινα διατρίμματα που φιλοξενούνταν στο κρυσταλλικό υπόβαθρο των ανατολικών ιγκνιμβριτών της Kotili-Vitinya, οι οποίοι περιέχουν πολλούς σπασμένους φαινοκρυστάλλους και ξενοκρυστάλλους του υποβάθρου (Sklavounos & Kasoli-Fournaraki, 1989), μπορεί να αποτελούν πιθανούς τροφοδότες για αυτούς τους ιγκνιμβρίτες (Harkovska, 1998).

2.3.4.2 Πετρογραφία

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Α.Π.Θ

Οι ιγκνιμβρίτες της Κεντρικής Ροδόπης (CRA-Central Rodhope Area) χαρακτηρίζονται από τα παρακάτω.

- Μεγάλη ποικιλία τόσο στις μικρό-δομές (π.χ. υαλώδης, μικροκοκκώδης, όσο και στις μικρό-υφές (π.χ. ash-like) που κυμαίνονται από τυπικές πυροκλαστικές δομές έως lava-like δομές.
- Λιθικά και κρυσταλλικά τεμάχη από το μεταμορφωμένο υπόβαθρο ενσωματώνονται μέσα στα στρώματα των ιγκνιμβριτών μεταξύ των σπάνιων λίθων από τα παλαιογενή ιζηματογενή πετρώματα και τους όξινους τόφφους.
- Μεγάλος όγκος (40-50%) φαινοκρυστάλλων και κρύσταλλο-κλαστών του σανιδίνου, του πλαγιοκλάστου, του χαλαζία, του βιοτίτη, σπάνιας κεροστίλβης και του κλινοπυρόξενου (Harkovska, 1998).

Α.Η. τεκτονική της μάζας Ροδόπης, περιλαμβάνει τα παρακάτω στοιχεία Αλπικής και Μετά-αλπικής τεκτονικής.

2.4.1 Αλπική Τεκτονική

2.4 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Στο κρυσταλλοσχιστώδες της ενότητας Ροδόπης, έπειτα από τεκτονική ανάλυση, εντοπίστηκαν τρείς (3) φάσεις πτυχώσεων των σχηματισμών. Με την 3^η εξ αυτών (ηλικίας Ολιγοκαίνου), που περιλαμβάνει ανοικτές πτυχές που επαναπτυχώνουν τις προγενέστερες, συνδέεται η εφίππευση της «ενότητας Σιδηρόνερου» πάνω στην «ενότητα Παγγαίου». Όλες οι φάσεις πτυχώσεων, επιβεβαιώνουν την άποψη ότι η μάζα Ροδόπης επηρεάστηκε από τις Αλπικές παραμορφώσεις.

Εξαιτίας της συμπιεστικής τεκτονικής (σύγκρουση Απουλίας μικροπλάκας με Ευρασία), δημιουργήθηκαν οι πτυχώσεις, τα ανάστροφα ρήγματα, τα τεκτονικά καλύμματα και τα λέπια του Τριτογενούς. Λόγω της εφελκυστικής τεκτονικής που ακολούθησε και εξελίχθηκε στο Τριτογενές, δημιουργήθηκαν κανονικά ρήγματα αποκόλλησης (detachments) μικρής γωνίας κλίσης. Αυτά οδήγησαν σε κατάρρευση των προαναφερθέντων καλυμμάτων και λεπίων, την κατάρρευση των βαθύτερων μεταμορφικών οριζόντων της ενότητας Σιδηρόνερου και αποκάλυψη της «ενότητας Παγγαίου» (βαθύτερος μεταμορφικός ορίζοντας). Η «ενότητα Σιδηρόνερου» στην οποία ανήκει η περιοχή μελέτης, εφιππεύει την «ενότητα Παγγαίου» από τον Βορρά προς τον Νότο, σχηματίζοντας τεκτονική γραμμή μεγάλου μήκους, διεύθυνσης ΔΒΔ-ΑΝΑ (110°).

Στα πετρώματα της μάζας της Ροδόπης διακρίνονται έντονες διατμητικές τάσεις νοτιοδυτικής κατεύθυνσης που δημιουργήθηκαν κάτω από μεταμόρφωση αμφιβολιτικής και πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Η Ροδόπη γενικά αποτελεί μία πολύμεταμορφωμένη μάζα κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων που υπέστη κατά την εξέλιξη της διαφορετικές φάσεις μεταμόρφωσης. Όλα αυτά βέβαια, αφορούν την «κρυσταλλοσχιστώδη μάζα της Ροδόπης» και τα αντίστοιχα πετρώματα, τα οποία όμως δεν παρίστανται στην ευρύτερη περιοχή της σήραγγας, αλλά εικάζεται ότι είναι παρόντα σε πολύ μεγαλύτερο βάθος.



Εικόνα 2.4.1.1 Γεωλογικός χάρτης των Ελληνίδων με τις κύριες τεκτονικές γραμμές και την συνέχισή τους στις περιβάλλουσες ορογενετικές ζώνες. Η θέση της Ροδόπης και της λεκάνης της Θράκης που ενδιαφέρει στην συγκεκριμένη περίπτωση, επισημαίνεται με τετράγωνο. Επίσης η μετανάστευση του Τριτογενούς μαγματισμού προς τα ΝΝΔ, μέχρι και σήμερα (ελληνικό ηφαιστειακό τόξο) επίσης γίνεται εμφανές στην εικόνα. 1. Rhodope (Rh), Serbomacedonian (Sm) and Sakarya massifs, 2. Pelagonian massif (Pl), 3. Menderes massif, 4. Strandja massif, 5. Attico-cycladic massif (AC), 6. Axios–Vardar zone (Ax), Circum Rhodope belt (CRB) and Izmir–Ankara oceanic unit, 7. external Hellenides (Pa: Parnassos zone, Pi: Pindos zone, G: Gavrovo–Tripoli zone, I: Ionian zone, Px: Paxos zone), 8. internal HP metamorphic belt, 9. External HP metamorphic belt, 10. ophiolitic rocks (SP: subpelagonian zone), 11. Mesohellenic molassic trough, 12. Thrace basin (Paleogene-Neogene), 13. thrust faults, 14. A-A' cross-section of Fig. 16, 15. Upper Cretaceous magmatic arc, 16. Eocene–Oligocene magmatic arc, 17. Miocene magmatic arc. Μετατροπή μετά από Aubouin (1959), Kilias et al. (2002, 2010), Mountrakis (1986), and Ring et al. (2010).

2.4.2. Μετά-αλπική Τεκτονική

Στο Βορειοελλαδικό χώρο τη συνέχεια των πετρωμάτων που συγκροτούν το Αλπικό και Προαλπικό υπόβαθρο διακόπτουν επιμήκεις λεκάνες, οι οποίες πληρώνονται με Μεταλπικά ιζήματα. Οι λεκάνες αυτές διακρίνονται:

 στις μολασσικές αύλακες που αναπτύχθηκαν στο Ολιγόκαινο-Μέσο Μειόκαινο και πληρώνονται με μολασσικού τύπου ιζήματα. Η σημαντικότερη είναι η BBΔ- NNA διεύθυνσης Μεσοελληνική Αύλακα στο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας- Θεσσαλίας, η BBΔ-NNA διεύθυνσης Αύλακα Αξιού-Θερμαϊκού στη Κεντρική Μακεδονία και η Μολασσική Αύλακα στο χώρο του Έβρου. Στην παρακάτω εικόνα διακρίνονται οι κυριότερες μολασσικές λεκάνες της Ελλάδας, οι οποίες σχηματίστηκαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους και θέσεις. Πιο συγκεκριμένα, ακολουθούν την γεωγραφική και χρονολογική «κίνηση» του ορογενετικού κύματος, από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά. Συνεπώς, η υπό μελέτη μολασσική λεκάνη Ροδόπης Βορείου Αιγαίου, έχει την μεγαλύτερη ηλικία από όλες τις όμοιές της του Ελληνικού χώρου.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 2.4.2.1 Οι κυριότερες μολασσικές λεκάνες του Ελληνικού τόξου. 1.Ροδόπης Βορείου Αιγαίου (Μ. Ηώκαινο - Α. Ολιγόκαινο), 2.Μεσοελληνική αύλακα (Α.Ηώκαινο -Μ.Μειόκαινο), 3.Ηπείρου-Ακαρνανίας (Α.Ολιγόκαινο-Μ.Μειόκαινο), 4.Κυκλάδων (Κατώτερο Μειόκαινο), 5.Κρητικού πελάγους (Α.Μειόκαινο-Τεταρτογενές). Η ευρύτερη περιοχή μελέτης σημειώνεται με κόκκινο κουτάκι

Λόγω του ότι δημιουργήθηκαν μετά την Αλπική ορογένεση, τα πετρώματά τους δεν έχουν υποστεί σημαντική συμπίεση, διάτμηση και γενικά τεκτονική διατάραξη. Χαρακτηρίζονται μόνο από τοπικές μικροδιατμήσεις και μικροπτυχώσεις καθώς έχουν δημιουργηθεί σε ήρεμο τεκτονικό περιβάλλον και οι ζώνες των ρηγμάτων είναι περιορισμένες σε έκταση. Δεν παρουσιάζουν δηλαδή, οργανωμένα συστήματα διακλάσεων, πτυχώσεων ή διατμήσεων, παρά μόνο ήπιες κυμάνσεις κάμψης των στρωμάτων με μικρή κλίση, που σπάνια ξεπερνάει τις 30°.

Εξαίρεση αποτελούν τα περιθωριακά κράσπεδα των μολασσικών λεκανών, οπού απαντώνται αρκετά ανάστροφα ρήγματα. Εκεί οι σχηματισμοί μπορεί να

είναι επωθημένοι και παραμορφωμένοι από μία ύστερη, τοπική, δημιουργία τεκτονικών καλυμμάτων κατά την «απόσβεση» των πτυχώσεων.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

στις Νεογενείς και Τεταρτογενείς λεκάνες, οι οποίες έχουν σχηματιστεί από το Άνω Μειόκαινο εξαιτίας μιας καθολικής εκτατικής παραμόρφωσης, η οποία οδήγησε στη δραστηριοποίηση μεγάλων ρηξιγενών δομών και στο σχηματισμό λεκανών, οι οποίες πληρώνονται από Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα. Οι λεκάνες αυτές αναπτύσσονται πάνω στο αλπικό υπόβαθρο ή/και πάνω στις ήδη σχηματιζόμενες μολασσικές αύλακες. Παρουσιάζουν διάφορες διευθύνσεις προσανατολισμού ΒΒΔ-ΝΝΑ έως ΒΔ-ΝΑ, ΑΒΑ-ΔΝΔ και Α-Δ ανάλογα με την ηλικία σχηματισμού της κάθε μίας και επομένως ανάλογα με τη διεύθυνση των ρηγμάτων που τις οριοθετούν. Ενδεικτικά αναφέρονται οι λεκάνες: Φλώρινας-Αμυνταίου-Πτολεμαΐδας, Θεσσαλίας, Αξιού-Θεσσαλονίκης, Κατερίνης, Στρυμόνα, Δράμας και Ξάνθης-Κομοτηνής.

Από όλα τα παραπάνω για την περιοχή μελέτης ισχύει ότι τα Τριτογενή ιζήματά της, αποτέθηκαν πάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο και συνθέτουν την «λεκάνη της Ροδόπης» ή «λεκάνη της Θράκης». Χαρακτηρίζονται όλα μαζί με τον όρο «Μολάσσα Ροδόπης» και αποτελούν μία σειρά ιζημάτων που σχηματίστηκαν και εξελίχθηκαν μετά την κύρια ορογένεση.

Επίσης, στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, διακρίνεται από τον παρακάτω χάρτη ένα ρήγμα αποκόλλησης (detachment) Ηωκαινικής-Ολιγοκαινικής ηλικίας που του υποδεικνύεται κόκκινη γραμμή. Αυτό, χωρίζει το ίχνος με τα κρυσταλλοσχιστώδη της ενότητας Σιδηρόνερου (δεξιά) από τα Ηωκαινικής -Ολιγοκαινικής ηλικίας ιζήματα και ηφαιστειακά πετρώματα πάλι της ενότητας Σιδηρόνερου (αριστερά). Συγκεκριμένα κλίνει προς τα ιζήματα της λεκάνης (νεότερα). Τα τελευταία λοιπόν, υπέρκεινται των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων, καθώς φαίνεται να είχαν αποτεθεί πάνω σε αυτά στο παρελθόν αλλά με την αποκόλληση φανερώθηκαν τα υποκείμενα κρυσταλλοσχιστώδη της ενότητας Σιδηρόνερου.



Εικόνα 2.4.2.2 Λιθολογικός-τεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης της Θράκης. Η περιοχή στην οποία κατασκευάζεται το τεχνικό έργο, αποτελείται από τα Ηωκαινικής – Ολιγοκαινικής ηλικίας ιζήματα και ηφαιστειακά πετρώματα, και βρίσκεται λίγο βορειότερα στον χάρτη, χωρίς να φαίνεται ακριβώς, στην προκειμένη περίπτωση (περίπου στο κόκκινο βέλος).

Επίσης, στην οριστική γεωλογική μελέτη για το τμήμα παραλλαγής της χάραξης (Μαρίνος Β., 2020) αναφέρεται ότι «η σημαντικότερη τεκτονική δομή είναι αυτή στην Χ.Θ. 15+500 με ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνση. Η τελευταία φέρνει σε επαφή την μολάσσα με το γρανιτικό υπόβαθρο». Οι δύο (2) προαναφερθείσες αναφορές (του χάρτη και της μελέτης) συγκλίνουν και συνεπώς αναφέρονται κατά πάσα πιθανότητα στην ίδια τεκτονική δομή. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι η χάραξη του Κάθετου Άξονα στη Χ.Θ. 15+500, θα διασχίσει το εν λόγω ρήγμα, αλλά τούτη η θέση δεν αντιστοιχεί σε θέση της εξεταζόμενης σήραγγας «Πέτρα» (Χ.Θ. 12+800-Χ.Θ. 12+970).

Κατά τον Μουντράκη (2003) ο ρηξιγενής ιστός στο χώρο της Ροδόπης, περιλαμβάνει ρήγματα μεγάλης γωνίας κλίσης τα οποία προσανατολίζονται σε διάφορες διευθύνσεις, κυρίως όμως: Α-Δ, ΒΑ- ΝΔ και Β-Ν. Τα ρήγματα που βρίσκονται μέσα στα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα των λεκανών εμφανίζουν μία ή δύο διαφορετικές γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης. Τα ρήγματα του υποβάθρου χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη κινηματική πολυπλοκότητα και εμφανίζουν μια επιλεκτική δραστηριοποίηση κατά τη νεοτεκτονική και σύγχρονη περίοδο υπό μορφή κανονικών και πλαγιοκανονικών ρηγμάτων σε διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ για το διάστημα Άνω Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου και Α-Δ κατά το Τεταρτογενές.



Εικόνα 2.4.2.3 Σεισμικά (βυσσινί), ενεργά (κόκκινα) και πιθανώς ενεργά (πορτοκαλί) ρήγματα και τοπικοί άξονες Τ (εφελκυσμού) από γεωλογικά (μαύρα βέλη) και σεισμολογικά (πράσινα βέλη) στοιχεία στην ευρύτερη περιοχή των ρηγμάτων. Με μεγάλα μαύρα και πράσινα βέλη παρουσιάζεται το μέσο πεδίο τάσης. Η περιοχή μελέτης κυκλώνεται με κόκκινο.

Στον παρακάτω γεωλογικό χάρτη της μάζας Ροδόπης, φαίνονται τα ίχνη των

μεγάλων ρηγμάτων της.



Εικόνα 2.4.2.4 Πηγή: ΙΓΜΕ, Γεωλογικός χάρτης Ελλάδος 1:500000, Lalechos & Savoyat 1977, Martin 1987

Η σημαντικότερη ρηξιγενής ζώνη στην ευρύτερη περιοχή μελέτης είναι το μεγάλο ρήγμα Καβάλας - Ξάνθης - Κομοτηνής, το οποίο εκτείνεται από τον κόλπο της Καβάλας έως βόρεια της Κομοτηνής, στην ανατολική Ροδόπη. Συνολικά έχει μήκος περίπου 110km, γεγονός πολύ μεγάλης σημασίας στο ενδεχόμενο μιας σεισμικής δραστηριοποίησης της ρηξιγενούς ζώνης ή έστω ενός μεγάλου τμήματός της.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 2.4.2.5 Η ρηξιγενής ζώνη Καβάλας-Ξάνθης-Κομοτηνής στο τμήμα Ξάνθης-Κομοτηνής. Η ζώνη προσδιορίζεται από τη συνένωση προϋπαρχόντων ρηγμάτων σε διάφορες διευθύνσεις όπως ΒΑ-ΝΔ, Α-Δ και ΔΒΔ-ΑΝΑ. Με μπλε τετράγωνο ο ιστορικός σεισμός της Κομοτηνής, όπως αναφέρεται από τους Papazachos & Papazachou, (1997).

Η ρηξιγενής αυτή ζώνη Καβάλας - Ξάνθης - Κομοτηνής, μολονότι συνιστά συνολικά μια ΑΒΑ-ΔΝΔ έως Α-Δ διεύθυνσης ρηξιγενή ζώνη, ωστόσο, αποτελείται από επιμέρους προϋπάρχοντα τμήματα ρηγμάτων τα οποία έχουν διαφορετικούς προσανατολισμούς.

Τα τμήματα αυτά από τα δυτικά προς τα ανατολικά είναι τα εξής:

- Ι. το τμήμα ρήγματος Καβάλας-Ξάνθης με διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ έως ΒΑ-ΝΔ
- II. το τμήμα ρήγματος Ξάνθης-Ιάσμου με διεύθυνση Α-Δ,
- ΙΙΙ. το τμήμα ρήγματος Ιάσμου-Αγιάσματος με διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ
- IV. το τμήμα ρήγματος Αγιάσματος-Σκάλωμα με ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνση

Το εξεταζόμενο έργο βρίσκεται ~27 km βόρεια του ρήγματος αυτού και δεν θεωρείται ότι επηρεάζεται άμεσα.



Εικόνα 2.4.2.6 Το ίχνος του ρήγματος Καβάλας-Ξάνθης-Κομοτηνής, προβάλλεται με κόκκινη γραμμή και η θέση της σήραγγας με κόκκινη στίξη

2.4.3. Τεκτονικά χαρακτηριστικά «Μολάσσας»

Η «μολάσσα της Ροδόπης», όπως ονομάζεται ,αποτέθηκε πάνω στα μεταμορφωμένα πετρώματα της Ροδόπης. Οι παλαιότερες αποθέσεις μολάσσας στη λεκάνη της Ροδόπης ή Θράκης, έχουν ηλικία Κάτω-Μέσο Μειόκαινο και οι νεότερες ηλικία στο όριο Μειοκαίνου-Ολιγοκαίνου. Πρέπει να τονιστεί επίσης ότι στη συγκεκριμένη λεκάνη, κατά το Ολιγόκαινο, παρατηρείται ηφαιστειακή δραστηριότητα, η οποία έδωσε τα ηφαιστειακά πετρώματα που προαναφέρθηκαν. Τα τελευταία ενδιαστρώνονται μαζί με τα μετά-ορογενετικά ιζηματογενή προϊόντα (π.χ. ψαμμίτες και ιλιόλιθους) και συνιστούν μία ηφαιστειοιζηματογενή σειρά. Η τελευταία αποτελεί μέρος της συνολικής στρωματογραφικής στήλης της «Μολάσσας Ροδόπης».

Η μολάσσα λοιπόν, με την ευρύτερή της έννοια αποτελεί μία σειρά ιζημάτων που σχηματίστηκαν και εξελίχθηκαν μετά την κύρια ορογένεση και επομένως δεν έχουν υποστεί σημαντική συμπίεση, διάτμηση και γενικά τεκτονική διατάραξη. Χαρακτηρίζονται μόνο από τοπικές μικροδιατμήσεις και μικροπτυχώσεις καθώς έχουν δημιουργηθεί σε ήρεμο τεκτονικό περιβάλλον και οι ζώνες των ρηγμάτων είναι περιορισμένες σε έκταση. Δεν παρουσιάζουν δηλαδή, οργανωμένα συστήματα
διακλάσεων, πτυχώσεων ή διατμήσεων, παρά μόνο ήπιες κυμάνσεις κάμψης των στρωμάτων με μικρή κλίση, που σπάνια ξεπερνάει τις 30°. Εξαίρεση αποτελούν τα περιθωριακά κράσπεδα των μολασσικών λεκανών, οπού απαντώνται αρκετά ανάστροφα ρήγματα. Εκεί οι σχηματισμοί μπορεί να είναι επωθημένοι και παραμορφωμένοι από μία ύστερη, τοπική, δημιουργία τεκτονικών καλυμμάτων κατά την «απόσβεση» των πτυχώσεων.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Στις παρακάτω εικόνες είναι εμφανής η επαφή της μολάσσας με το υπόβαθρο της μάζας Ροδόπης.



Εικόνα 2.4.3.1 Μεγάλης γωνίας κανονικά ρήγματα κόβουν τους κατακλαστίτες των χαμηλής γωνίας κανονικών ρηγμάτων αποκόλλησης που σχετίζονται με το αρχικό «άνοιγμα» της λεκάνης της Θράκης. Φωτογραφία κάτω αριστερά: κατακλαστική επικράτηση της ζώνης του ρήγματος αποκόλλησης. Στην παραπάνω εικόνα, που λήφθηκε κοντά στο χωριό Ιππικό, είναι εμφανείς οι δείκτες κινηματικής και διάτμησης που δείχνουν μετατόπιση προς ΝΝΔ.



Εικόνα 2.4.3.2 Μικρής γωνίας κανονικό ρήγμα μεταξύ του υποβάθρου της Ροδόπης και των μολασσικών ιζημάτων, βόρεια του χωριού Δαρμένι. Στην φωτογραφία κάτω δεξιά υπάρχουν ίχνη διάτμησης στο κάτω τέμαχος του υποβάθρου που υποδεικνύει διατμητική κίνηση από πάνω προς τα ΝΝΔ.

Βέβαια, όπως σε όλες τις μετατεκτονικές λεκάνες, δύναται να απαντηθούν και ρήγματα βαρύτητας (συνιζηματογενή), χωρίς βέβαια να επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του πετρώματος.

Η στρώση είναι η βασική επιφάνεια ασυνέχειας που απαντάται στον εν λόγω σχηματισμό. Συνήθως έχουν εξαιρετικά διακριτές δομές (στρώση) κοντά στην επιφάνεια σε σύγκριση με εκείνες που είναι περιορισμένες σε βάθος («ραμμένες»). Αντιθέτως δηλαδή, η στρώση στο βάθος εκφράζεται ως λανθάνουσα επιφάνεια, ισχυρά σφραγισμένη λόγω σύσφιξης της βραχόμαζας και δύσκολα αποχωρίζεται για να δώσει βαρυτικές αστάθειες. Θα αποχωριστεί όμως όταν είναι εκπεφρασμένη (Μαρίνος Β, 2007, p.422). Επιφανειακά η μολάσσα μπορεί να εμφανίζει εδαφοποιημένο μανδύα, με άργιλο, ιλύ.

Ειδικότερα, ο ηφαιστειακός σχηματισμός του ιγκνιμβρίτη που απαντήθηκε στην στενή περιοχή μελέτης είναι γενικά ισότροπο υλικό. Η ανισοτροπία εμφανίζεται σπάνια και σε μικρό μέγεθος, με την κατακόρυφη αντοχή να είναι λίγο μεγαλύτερη της οριζόντιας αντοχής (λόγος κατακόρυφη / οριζόντια αντοχή = 1.2). Οι κύριες ασυνέχειες στους ιγκνιμβρίτες, είναι εφελκυστικές δομές (tension fractures) που σχηματίζονται κατά την ψύξη και συμπαγοποίηση της μάζας. Βέβαια, λόγω τις μεγάλης απόστασής τους τα γεωυλικά μπορεί να αντιμετωπίζονται σε ορισμένες περιπτώσεις και ως άρρηκτα (Moon, 1993, p.38-42).

2.5. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ

Σύμφωνα με το χάρτη ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας που περιέχεται στον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ, 2000) και με βάση την τελευταία τροποποίησή του (2003), η χάραξη διέρχεται από τη Ζώνη Ι.

Η εδαφική επιτάχυνση αναγομένη στην επιτάχυνση της βαρύτητας για τη συγκεκριμένη ζώνη είναι α = 0.16. Ειδικότερα οι πλησιέστερες πόλεις στην περιοχή ενδιαφέροντος (Ξάνθη) κατατάσσονται στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας (Ι) με βάση τον ΕΑΚ.



Εικόνα 2.5.1 Νέος Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας

Όπως φαίνεται και από τον ακόλουθο χάρτη, στην ευρύτερη περιοχή μελέτης και σε ακτίνα μικρότερη των 25km, δεν σημειώνονται σημαντικά σεισμικά επίκεντρα.



Εικόνα 2.5.2 Κατανομή σεισμικών επικέντρων, μεγέθους >4 βαθμών της κλίμακας Richter (Κατάλογος Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, από 1901, από οριστική Γεωλογική Μελέτη: Αλεξιάδου, 2014).

Σύμφωνα με τον Μουντράκη (2003), η σεισμικότητα στη περιοχή αυτή είναι σχετικά αραιή, μολονότι έχουν αναφερθεί ιστορικά μεγάλοι σεισμοί (π.χ. Δράμας). Περεταίρω στοιχεία για τις ρηξιγενείς ζώνες της ευρύτερης περιοχής αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Η σημαντικότερη είναι το ρήγμα Ξάνθης-Αμφίπολης ή Καβάλας-Ξάνθης-Κομοτηνής, όπως διακρίνεται στον παρακάτω χάρτη.



Εικόνα 2.5.3 Ρήγμα Ξάνθης-Αμφίπολης. Τμήμα από τον χάρτη της Ελληνικής Βάσης Δεδομένων GreDaSS (Spyros Pavlides, et. Al, 2014) <u>http://eqgeogr.weebly.com/database-of-active-faults.html</u>

Από την περιοχή διέλευσης της σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα») δεν διέρχονται σημαντικά ρήγματα, παρά μόνο δευτερογενείς – συνιζηματογενείς διαρρήξεις

τοπικού χαρακτήρα οι οποίες επηρεάζουν σε μικρή έκταση το χαρακτήρα του πετρώματος. Όπως προαναφέρθηκε, αξιολογείται ότι οι διαρρήξεις αυτές εντάσσονται στον ιζηματογενή κύκλο της μολασσικής λεκάνης, δεν αναμένεται να εκτείνονται σε μεγάλο μήκος και θεωρούνται ως ανενεργές (Αλεξιάδου, 2014). Ακολουθεί απόσπασμα από το Σεισμοτεκτονικό Χάρτη της Ελλάδας (IΓΜΕ 1989).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 2.5.4 Απόσπασμα της ευρύτερης περιοχής του έργου από το Σεισμοτεκτονικό Χάρτη της

Ελλάδας, κλίμακας 1:500.000 (ΙΓΜΕ, 1989).

2.6. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Τμήμα του υδροκρίτη της υδρολογικής λεκάνης βάση του υδρογεωλογικού χάρτη της ορεινής περιοχής Ν. Ροδόπης (Ι.Γ.Μ.Ε.) αποτελούν οι βουνοκορφές των συνόρων Ελλάδας-Βουλγαρίας. Οι μικρότεροι κλάδοι ρεμάτων, ενώνονται μεταξύ τους και δημιουργούν μεγαλύτερης δυναμικότητας κλάδους, με τελικό προϊόν ένα δίκτυο δενδροειδούς μορφής.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Όλες οι υπολεκάνες ενώνονται μεταξύ τους σε ένα μεγαλύτερο δενδροειδές δίκτυο που καταλήγει τελικά στα κατάντη, σε ποταμό που ονομάζεται «Κομψάτος» (ομώνυμος του «Βιότοπου Κομψάτου») ο οποίος μέχρι και την περιοχή του Εχίνου έχει διεύθυνση περίπου ΒΔ-ΝΑ και διασχίζει την Μελιβοία και φυσικά τον Εχίνο. Μετά από μαιανδρισμούς του στις λιγότερο ορεινές αλλά λοφώδεις περιοχές οπού αποκτά γενική διεύθυνση περίπου Α-Δ (μέχρι το χωριό Τσούκκα), στρέφεται ξανά σε ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση μέχρι περίπου τον Ίασμο και τέλος καταλήγει στην λίμνη Βιστωνίδα και τον όρμο Βιστονίας στο Θρακικό Πέλαγος.

Τα παραπάνω φαίνονται στον ακόλουθο χάρτη των υπολεκανών της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Η περιοχή στην οποία παρευρίσκεται η σήραγγα «Πέτρα», σημειώνεται στην υπολεκάνη κόκκινου χρώματος, ονόματι «Ξηροπόταμος», με τον ποταμό «Κομψάτο» να τη διασχίζει. Επίσης, το όριο των λεκανών αυτών στην πλευρά των συνόρων (βόρεια), αποτελεί και υδροκρίτη αυτών, όπως προαναφέρθηκε.



Εικόνα 2.6.1 Χάρτης υπολεκανών ευρύτερης περιοχής μελέτης. Με κόκκινο χρώμα αποτυπώνεται η λεκάνη «Ξηροπόταμος» στην οποία ανήκει το τεχνικό έργο

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, φαίνεται από τον υδρογεωλογικό χάρτη ότι η σήραγγα «Πέτρα» πρακτικά διατρυπά ένα αντέρεισμα, το οποίο βρίσκεται μεταξύ δύο ρεμάτων διεύθυνσης περίπου ΔΝΔ-ΑΒΑ (εικόνα 3). Στα εν λόγω ρέματα ρέει νερό μόνο κατά την διάρκεια των υγρών μηνών του υδρολογικού έτους, όταν δηλαδή υπάρχει σημαντική επιφανειακή απορροή. Για τον λόγο αυτό, θα κατασκευαστεί κυβοειδής οχετός μετά το στόμιο εξόδου (προς τα βόρεια), για την διέλευση των υδάτων του ρέματος στο βόρειο τμήμα του αντερείσματος. Για το νότιο τμήμα του αντερείσματος από το οποίο διέρχεται μεγαλύτερου βαθμού κλάδος ρέματος, σχεδιάζεται η κατασκευή γέφυρας, τα νερά του οποίου θα διέρχονται υπό αυτής.

2.7. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΣΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής μελέτης γίνεται προκειμένου να εντοπισθούν πιθανά αναμενόμενα προβλήματα στα προβλεπόμενα έργα λόγω δράσης του υπόγειου νερού καθώς επίσης και να εντοπισθούν οι αξιόλογες υδροφορίες της περιοχής, που χρήζουν προστασίας.

Ακολουθούν τα υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων της στενής περιοχής. Η ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών ως προς την κατηγορία του συντελεστή περατότητας k έγινε με βάση την ταξινόμηση κατά Terzaghi and Peck (1967) και παρουσιάζεται στον πίνακα, που ακολουθεί.

Συντελεστής k (m/sec)	Χαρακτηρισμός
$10^{-3} \le k$	Υψηλή
$10^{-5} \le k < 10^{-3}$	Μέτρια
$10^{-7} \le k < 10^{-5}$	Χαμηλή
$10^{-9} \le k < 10^{-7}$	Πολύ Χαμηλή
k < 10 ⁻⁹	Πρακτικά αδιαπέρατος σχηματισμός

Πίνακας 2.7.1 Κατηγορίες συντελεστών περατότητας κατά Terzaghi and Peck (1967) Επίσης η IAEG (1979) προτείνει την παρακάτω ταξινόμηση του συντελεστή

περατότητας k.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Κατηγορία	Τιμές Περατότητας k (m/sec)
Πολύ υψηλής υδροπερατότητας	>10 ⁻²
Υψηλής υδροπερατότητας	$10^{-2} - 10^{-4}$
Μέσης υδροπερατότητας	10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁵
Χαμηλής υδροπερατότητας	10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁷
Πολύ χαμηλής υδροπερατότητας	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁹
Πρακτικά αδιαπέρατος	<10 ⁻⁹

Πίνακας 2.7.2 Κατηγοριοποίηση του συντελεστή υδροπερατότητας k κατά IAEG (No 19, pp 364-371, 1979)

Οι μολασσικοί σχηματισμοί (ιγκνιμβρίτης) που συναντώνται στη στενή περιοχή μελέτης αποτελούν γενικά συνεκτικά πετρώματα και κατατάσσονται στην υποκατηγορία των διαρρηγμένων ή ρωγμωμένων πετρωμάτων (από μελέτη της Αλεξιάδου, 2014). Η εν λόγω υποκατηγορία ονομάζεται αλλιώς και μακροπερατοί σχηματισμοί, καθώς πρόκειται για πετρώματα που η περατότητά τους οφείλεται στο δευτερογενές πορώδες και η κίνηση του νερού γίνεται διαμέσου των πάσης φύσεως ασυνεχειών (Βουδούρης, 2013).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 2.7.1 Δενδροδιάγραμμα της κατηγορίας των σχηματισμών βάση περατότητας (στοιχεία από μελέτη της Εγνατίας Οδού: Αλεξιάδου, 2014)

Στην πραγματικότητα, η ίδια η συμπαγής (άρρηκτη) μάζα των μολασσικών ιζημάτων (mo) είναι σχεδόν αδιαπέρατη (χαμηλή έως πολύ χαμηλή περατότητα), με τη διακύμανση της περατότητας να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την παρουσία και πυκνότητα ασυνεχειών. Συμπαγείς-άρρηκτες μάζες θα παρουσιάζουν τη σχετικά χαμηλότερη περατότητα ενώ διακλασμένες-στρωσιγενείς ή τοπικά κερματισμένες μάζες τη σχετικά υψηλότερη. Το δευτερογενές πορώδες προέκυψε από τα διάκενα που δημιουργήθηκαν λόγω τεκτονισμού, αποσάθρωσης, κ.λπ. και έχει εξαιρετική σημασία για το τεχνικό έργο. Γενικά ισχύει ότι, η υδροπερατότητα συνήθως μειώνεται με το βάθος και με την αύξηση της ηλικίας των ηφαιστιτών.

2.8. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΣΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Στο παρόν υποκεφάλαιο αναλύονται, αρχικά σε θεωρητικό επίπεδο, βασισμένα στη διαθέσιμη βιβλιογραφία, τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών θα απαντηθούν κατά την εκσκαφή της σήραγγας. Ο σχηματισμός αυτός, είναι ο ηφαιστειακός σχηματισμός του ιγκνιμβρίτη (τόφφοι και λατυποπαγή) και παρουσιάζει ένα ευρύ φάσμα γεωμηχανικών χαρακτηριστικών (Moon, 1993). Η αυξανόμενη χρήση των ιγκνιμβριτών ως «θεμελιώδεις» βράχους μιας ποικιλίας έργων Πολιτικού Μηχανικού, έχει επισημάνει τη σημασία αυτών των γεωυλικών ως βασικούς πόρους της γεωτεχνικής μηχανικής (Moon, 1993). Ωστόσο, δεν απουσιάζουν και αστοχίες τεχνικών έργων του παρελθόντος που σχετίζονται με τη συγκεκριμένη λιθολογία, π.χ. των συστημάτων ισχύος Ruahihi και Wheao στη Νέα Ζηλανδία (Anonymous, 1982).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

μήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

2.8.1. Γενικά

Στο παρελθόν, σημαντικό ρόλο στην δυσκολία «αντιμετώπισης» του ιγκνιμβρίτη στα τεχνικά έργα, έπαιζε η κακή επικοινωνία μεταξύ μηχανικών και γεωλόγων, αναφορικά με τον ορισμό του. Ωστόσο, οι ηφαιστειολόγοι όρισαν έναν αποδεκτό ορισμό, του όρου «ignimbrite» που περιλαμβάνει όλα αυτά τα ελαφριά υλικά που αποτίθενται από μια πυροκλαστική ροή (Walker, 1983). Επίσης, ο καθορισμός της γεωμηχανικής συμπεριφοράς του υλικού συμβάλλει καθοριστικά στην ευκολότερη ερμηνεία των γεωλογικών περιγραφών.

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται ορισμένα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά, των σχηματισμών που απαντώνται στην περιοχή κοντά στη σήραγγα και που έχουν προκύψει από προηγούμενες μελέτες (2014 & 2020). Ο σχηματισμός του ιγκνιμβρίτη που θα συναντηθεί κατά την εκσκαφή, αντιστοιχεί στην σειρά «Μολάσσα Ροδόπης – Τόφφοι και Ηφαιστειακά Λατυποπαγή». Ομαδοποιήθηκαν ανάλογα την λιθολογική τους σύσταση, την ευστάθειά τους σε ορύγματα, την εκσκαψιμότητά τους, την καταλληλότητά τους ως υλικά για χρήση σε επιχώματα, την διαπερατότητά τους, την ευκολία στην αποσάθρωση, την σεισμική τους επικινδυνότητα και την ανομοιομορφία τους.

NUGE	Δ Φ Φ Δ	STOE	61					
ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ /ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ	ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ	ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ	ΚΛΙΣΕΙΣ ΠΡΑΝΩΝ	ЕΞΚΑΨΙΜΟΤΗΤΑ	ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΥΛΙΚΩΝ	ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΥΝΔΥΝΟΤΗΤΑ Κατά ΕΑΚ (2000)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Υλικά κατολισθήσεων (L)	LS, LM (K1)	IV	Ш	П 3-4	(Απαιτείται κατάλληλη αντιστήριξη)	Г3-В4	E1-E2	Х
Κορήματα (SF)		III	III	П 3-4	1:3 - 1:2	Г2	E0-E1	Х
Αλλουβιακό Ριπίδιο (AF)		Ш	Ш	П 2-4	1:2 - 2:3	Γ3 (80%) – Γ2 (20%)	E2	В
Μολάσσα Ροδόπης – Τεφροί ιλυόλιθοι και ψαμμίτες	Mo.sd (A1)	ш	п	K 3-4	3:2 - 3:1	B4(15%) - B5(85%)	E2 (15%) - E3/4 (85%)	A
Μολάσσα Ροδόπης – Τόφφοι και ηφαιστειακά λατυποπαγή	Mo.it – Mo.ib (A2)	ш	п	K 3-4	3:2 - 3:1	B4(15%) - B5(85%)	E2 (15%) - E3/4 (85%)	A
					7 Faiof	ΙΜΙΒΡΑΧΟΣ		
Σημ.: Οι χαρακτηρισμοί βασίζονται σε μακροσκοπικές παρατηρήσεις	3,4 І. МІКРН ІІ. МЕТРІА ІІІ. МЕГАЛН ІV. ПОЛҮ МЕГАЛН	 10⁻³≤ k υψηλή 10⁻⁵≤ k < 10⁻³ μέτ 10⁻⁷≤ k < 10⁻⁵ χαμ 10⁻⁹≤ k < 10⁻⁷ πολ 10⁻⁹< k πρακτικά 	5 ρια ηλή ύ χαμηλή αδιαπέρατος	Π: Πορώδες μέσο Κ: Καρστικό και ρωγματωμένο μέσο Α: Πρακτικά αδιαπέρατος σχηματισμός	Γ1 Χειρονακτυ Γ2 Εύκολα με μ (εκσκαφέας) Γ3 Δύσκολα με (προωθητήρας) ΒΡ Β4 Δύσκολα με και πιθανή χρή Β5 Εκρηκτικά	κά μέσα ιηχανικά μέσα μηχανικά μέσα ΑΧΟΣ : μηχανικά μέσα η εκρηκτικών	E0 АКАТАЛЛНАО E1 аподекто E2 каталлнао E3/4 епілекто	8

Ψηφιακή συλλογή **Βιβλιοθήκη**

> Πίνακας 2.8.1 Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά σχηματισμών του τμήματος παραλλαγής της χάραξης (Αλεξιάδου, 2014 & Μαρίνος Β., 2020)

Σύμφωνα με τον χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε., ο σχηματισμός της περιοχής μελέτης περιγράφεται ως «ηφαιστειακοί σχηματισμοί τεφρού έως κιτρινόλευκου χρώματος. Συνεκτικοί βραχώδεις σχηματισμοί με χαρακτηριστικό γνώρισμα τον πορφυριτικό ιστό, την παχυστρωματώδη ανάπτυξη στους τόφφους και την λεπτοπλακώδη κατάτμηση στις λάβες, στοιχεία που συνδέονται με τις συνθήκες σχηματισμού του πετρώματος (επιφάνειες απόψυξης). Συνήθως εμφανίζονται σε υγιή κατάσταση και παρουσιάζουν ικανοποιητικές μηχανικές αντοχές και αντοχή στη διάβρωση που δικαιολογούν το έντονο ανάγλυφο στις περιοχές που εμφανίζονται αλλά και την χρήση τους ως δομικό λίθο (κυρίως σε στέγες σπιτιών)». Επίσης αναφέρεται στο υπόμνημα του χάρτη του ΙΓΜΕ ότι: «η όλη συμπεριφορά της βραχόμαζας δεν ευνοεί την εκδήλωση αστοχιών (σφήνας ή και επιπέδου) με εξαίρεση μικρής κλίμακας καταπτώσεις ή και απολεπίσεις σε μεγάλου ύψους τεχνητά πρανή, ενώ η αντίστασή τους στη διάβρωση δεν συμβάλει στην παραγωγή φερτών υλικών (πολύ μικρή στερεοπαροχή)».

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 2.8.1.1 Τοίχος σπιτιού αποτελούμενος από λίθους ιγκνιμβρίτη. Εικόνα από την περιοχή των Gran Canaria, Ισπανία (διαδικτυακή πηγή : Sandatlas)

Στο σύνολό τους αποτελούν κατά κανόνα συμπαγή και βραχώδη σχηματισμό, με καλά χαρακτηριστικά βραχόμαζας και σχετικά υψηλές αντοχές ακέραιου πετρώματος. Η δομή του σχηματισμού αναμένεται πιο συμπαγής με το βάθος, καθώς οι ασυνέχειες θα είναι κατά κανόνα κλειστές. Σε μικρότερα βάθη, κοντά στην επιφάνεια, λόγω της αναμενόμενης αποτόνωσης της βραχόμαζας, η οποία είναι ιδιαίτερα χαρακτηριστική στους μολασσικούς σχηματισμούς, το δίκτυο των ασυνεχειών είναι πυκνότερο. Η γενικότερη συμπεριφορά του σχηματισμού στα τεχνητά πρανή, ελέγχεται σε μεγάλο βαθμό από τα συστήματα ασυνεχειών και κυρίως από τα επίπεδα της στρώσης, τα οποία παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη εμμονή στο χώρο.

Η προέλευση του ιγκνιμβρίτη διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην γεωμηχανική συμπεριφορά του. Όπως προαναφέρθηκε, ο ιγκνιμβρίτης είναι πέτρωμα πυριγενές, ηφαιστειακό, πυροκλαστικό και δημιουργείται από απόθεση πυροκλαστικής ροής. (Waltham,2002). Η έκρηξη και η επακόλουθη πυροκλαστική ροή η οποία μεταφέρει τα υλικά, μπορεί να είναι εξαιρετικά ενεργητική, έχοντας ως αποτέλεσμα μία σχετικά κρύα απόθεση η οποία μπορεί να εμφανίζει σημαντική ταξινόμηση των μεμονωμένων κλαστών. Αντιθέτως, η έκρηξη μπορεί να είναι πιο ήσυχη αλλά μεγάλου όγκου, με αποτέλεσμα την δημιουργία παχιάς και καυτής εναπόθεσης, με πολύ μικρή ταξινόμηση των μεμονωμένων συστατικών. Μία θερμή εναπόθεση μπορεί να υποστεί συμπαγοποίηση και συγκόλληση των μεμονωμένων γυάλινων θραυσμάτων μετά την απόθεση, ενισχύοντας έτσι την σκληρότητα, ενώ μια δροσερή εναπόθεση δεν θα υποστεί σημαντική σκλήρυνση.

Μεταξύ αυτών των δύο ακραίων περιπτώσεων, υπάρχει ένα ολόκληρο φάσμα ιγκνιμβριτών, με τα χαρακτηριστικά του καθενός να προσδιορίζονται από μεμονωμένους συνδυασμούς έκρηξης, μεταφοράς, απόθεσης και μετά-αποθετικές συνθήκες εξαλλοίωσης (Moon, 1993).

2.8.2. Σταθερά mi

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Ο υπό-μελέτη σχηματισμός ανήκει στα πυριγενή πετρώματα και συγκεκριμένα στην ομάδα των ηφαιστειακών και πυροκλαστικών πετρωμάτων. Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας με τις βιβλιογραφικές τιμές της σταθεράς m_i του κριτηρίου αστοχίας Hoek and Brown (Hoek and Marinos, 2001).

Τύπος		Ομάδα		KOKK	OMETPIA	
0			Χονδρή	Μέση	Λεπτή	Πολύ λεπτή
OFENH	Κλαστικό		Κροκαλοπαγή • Λατυποπαγή •	Ψαμμίτες 17 ± 4	Ιλυόλιθοι 7 ± 2 Γραουβάκες (18 ± 3)	Αργιλόλιθοι 4 ± 2 Αργ.σχιστόλιθοι (6 ± 2) Μάργες (7 ± 2)
IZHMAT		Ανθρακικά	Κρυσταλλικοί Ασβεστόλιθοι (12 ± 3)	Σπαριτικοί Ασβεστόλιθοι (10 ± 2)	Μικριτικοί Ασβεστόλιθοι (9 ± 2)	Δολομίτες (9 ± 3)
	Μη κλαστικό	Εβαπορίτες		Γύψος 8 ± 2	Ανυδρίτης 12 ± 2	
		Οργανικά				Κρητίς 7 ± 2
POMENA	Μη πτυχωμέν	va	марµаро 9±3	Κερατόλιθοι (19 ± 4) Μεταψαμμίτες (19 ± 3)	Χαλαζίτες 20 ± 3	
AMOP	Ελαφρά πτυχ	(ωμένα	Μιγματίτες (29 ± 3)	Αμφιβολίτες 26 ± 6	Γνεύσιοι 28 ± 5	
MET	Πτυχωμένα**			Σχιστόλιθοι 12 ± 3	Φυλλίτες (7 ± 3)	Σχίστες 7 ± 4
Timor	1	0.00		KOKKO	METPIA	
ionos		opuou	Χονδρή	Mégn	Λεπτή	Πολύ λεπτή
Πλουτώνια	Ανοικτό- χρωμα	Γρανίτης 32 ± 3 Γρανοί (29	Διορίτης 25 ± 5 διορίτης ± 3)			
	Πλουτώνια	Σκοτεινό- χρωμα	Γάββρος 27 ± 3 Νορίτης 20 ± 5	Δολερίτης (16 ± 5)		
ПҮРІГЕ	Υποαβυσσικά	à	Πορφύρης (20 ± 5)		Διαβάσης (15 ± 5)	Περιδοτίτης (25 ± 5)
	Ηφαιστειακά	Λάβα		Ρυόλιθος (25 ± 5) Ανδεσίτης 25 ± 5	Δακίτης (25 ± 3) Βασάλτης (25 ± 5)	
		-	Koorgionand		á Támmai	

Εικόνα 2.8.2.1 Τιμές της σταθεράς m_i του κριτηρίου αστοχίας Hoek and Brown (Hoek and Marinos, 2001).

Αναφέρεται για την σταθερά m_i του κριτηρίου αστοχίας Hoek and Brown (Hoek and Marinos, 2001) ότι τα ηφαιστειακά λατυποπαγή (breccia) ή αλλιώς λατυποπαγείς φάσεις ηφαιστειακών πυροκλαστικών πετρωμάτων, έχουν τιμή m_i=19±5. Τα κροκαλοπαγή ή αλλιώς σύναγμα (agglomerate) τιμή m_i=19±3. Οι τόφφοι (tuff), δηλαδή το πέτρωμα που αποτελείται κυρίως από στάχτη, έχουν m_i=13±5. Βέβαια, δεν απαντάται στην περιοχή μελέτης με αυτήν του τη μορφή, αλλά είναι πιο συνεκτικοί-συγκολλημένοι, με παρουσία κυρίως λιθαριών (λάππιλοι συγκολλημένοι με τέφρα ή και με κάποιο ποσοστό μη-ηφαιστειακών υλικών).

Αξίζει εδώ να αναφερθεί ότι, η τιμή της σταθεράς m_i εξαρτάται από το υλικό συγκόλλησης. Με την παραδοχή λοιπόν ότι οι τόφφοι που απαντώνται στην περιοχή μελέτης έχουν περισσότερο χαρακτήρα ψαμμίτη (αμμώδεις τοφίτες) ο οποίος

χαρακτηρίζεται από τιμή mi=17±4, λαμβάνεται ως αντιπροσωπευτική τιμή για τη συγκεκριμένη λιθολογία, η ζυγισμένη τιμή mi=18±4.

2.8.3 Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη σci

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Αναφορικά με την τιμή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη (UCS-σ_{ci}) σε MPa, σύμφωνα με την βιβλιογραφία, ισχύουν οι παρακάτω πίνακες για τους άρρηκτους βράχους των συμπεριλαμβανόμενων πετρωμάτων.

Ειδικότερα, ο ιγκνιμβρίτης αν παρομοιαστεί με την ονομασία «ρυόλιθος», «ψαμμίτης» ή «τόφφος» του πίνακα, ανήκει στην κατηγορία του πολύ ισχυρού, από άποψη αντοχής, πετρώματος, με σ_{ci}=100-250MPa και θραύεται με πολλούς κτύπους με το γεωλογικό σφυρί. Παρ' όλα αυτά, οι τόφφοι που απαντώνται στην περιοχή μελέτης έχουν περισσότερο χαρακτήρα ψαμμίτη, σύμφωνα με την μελέτη της Αλεξιάδου (2014), ο οποίος με βάση τον παρακάτω πίνακα είναι ισχυρό πέτρωμα και ανήκει στο εύρος σ_{ci}=50-100MPa.

Περιγραφή	σ _{ci} (MPa)	Επί τόπου εκτίμηση της αντοχής	Παραδείγματα
Εξαιρετικά ισχυρό	>250	Δεν θραύεται με γεωλογικό σφυρί.	Υγιής βασάλτης, χαλαζίτης, διάβασης, γνεύσιος, γρανίτης, πυριτιόλιθος
Πολύ ισχυρό	100-250	Θραύεται μετά από πολλούς κτύπους με γεωλογικό σφυρί.	Αμφιβολίτης <mark>, ψαμμίτη</mark> ς, βασάλτης, γάββρος, γνεύσιος, γρανοδιορίτης, περιδοτίτης, <mark>ρυόλιθος, τόφφος</mark>
Ισχυρό	50-100	Θραύεται με περισσότερο από ένα κτύπους με γεωλογικό σφυρί.	Ασβεστόλιθος, μάρμαρο <mark>, ψαμμίτης,</mark> σχιστόλιθος
Μετρίως ισχυρό	25-50	Δεν χαράσσεται με μαχαίρι. Θραύεται με ένα μόνο κτύπο με γεωλογικό σφυρί.	Σκυρόδεμα, φυλλίτης, σχιστόλιθος, ιλυόλιθος
Ασθενές	5-25	Χαράσσεται δύσκολα με μαχαίρι.	Κιμωλία, αργιλόλιθος, ποτάσα, μάργα, αργιλικός σχιστόλιθος, ορυκτό αλάτι
Πολύ ασθενές	1-5	Θρυμματίζεται με ισχυρά χτυπήματα με γεωλογικό σφυρί. Χαράσσεται με μαχαίρι.	Έντονα αποσαθρωμένος ή εξαλλοιωμένος βράχος
Εξαιρετικά ασθενές	0.25-1	Χαράσσεται με το νύχι.	Στιφρό υλικό πλήρωσης ρήγματος

Εικόνα 2.8.3.1 Ταξινόμηση βραχώδους υλικού με βάση την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη UCS – σ_{ci} (ISRM, 1981)

Κατά Hoek & Marinos (2000) παραθέτεται ο ακόλουθος πίνακας αντοχών, με βάση τον οποίο ο ψαμμίτης αντιστοιχεί σε εύρος σ_{ci}=60-100MPa και ο τόφφος σε εύρος σ_{ci}=20-60MPa. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι εξεταζόμενοι τόφφοιιγκνιμβρίτες είναι καλά συγκολλημένοι (welded), γεγονός που υποδεικνύει αυξημένη αντοχή σε σχέση με τους μη-συγκολλημένους τόφφους.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

σ _c (MPa)	Περιγραφή	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ
>200	Πολύ υψηλή αντοχή	Χαλαζίτης, δολερίτης, γάββρος, βασάλτης
100-200	Υψηλή αντοχή	Μάρμαρο, γρανίτης, γνεύσιος, ασβεστόλιθος
60-100	Μέση αντοχή	Ψαμμίτης, μαρμαρυγιακός σχιστόλιθος, μαργαϊκός ασβεστόλιθος
20-60	Χαμηλή αντοχή	Ψαμμίτης μέτρια συνεκτικός, τόφφος, ιλυόλιθος, αργιλικός σχιστόλιθος
<20	Πολύ χαμηλή αντοχή	Ιλυόλιθος, αργιλικός σχιστόλιθος, κρητίς, ορυκτό αλάτι, αποσαθρωμένα πετρώματα
<20	=	Μαλακοί βράχοι
<1	-	Έδαφος

Πίνακας 2.8.2 Τιμές ανεμπόδιστης θλίψης UCS – σ_{ci} . Από Hoek & Marinos (2000)

Σύμφωνα με την Moon (1993), οι ιγκνιμβρίτες μπορεί να απαντώνται ως μαλακά, μη διακλασμένα εδάφη με ξηρή αντοχή σε θλίψη <1MPa, έως σκληρά πετρώματα με εκτεταμένα συστήματα ασυνεχειών ψύξης και ξηρή αντοχή σε θλίψη >50MPa. Ο ιγκνιμβρίτης της περιοχής μελέτης ανήκει σαφώς στην δεύτερη κατηγορία.

2.8.4 Δείκτης σημειακής φόρτισης ($I_{s(50)}$) και η σχέση με την UCS

Για ένα πέτρωμα μπορεί να γίνει η ταξινόμηση του I_{S(50)} βάση σχετικών πινάκων όπως ο παρακάτω κατά Bieniawski (1975).

Περιγραφή	Δ είκτης αντοχής σε σημειακή φόρτιση $I_{S(50)}$
Πολύ υψηλής αντοχής	>8
Υψηλής αντοχής	4 - 8
Μέσης αντοχής	2-4
Χαμηλής αντοχής	1-2
Πολύ χαμηλής αντοχής	(<1) Δεν συνιστάται η δοκιμή

Πίνακας 2.8.3 Ταξινόμηση του δείκτη αντοχής σε σημειακή φόρτιση I_{S(50)} κατά Bieniawski (1975)

Στην βιβλιογραφία δεν υπάρχει συγκεκριμένη τιμή ή εύρος τιμών που να αντιστοιχεί απόλυτα στον δείκτη σημειακής φόρτισης για τον ιγκνιμβρίτη, καθώς η συγκεκριμένη τιμή σχετίζεται άρρηκτα με την κατάσταση του πετρώματος (π.χ. αποσαθρωμένο, ξηρό, κορεσμένο, συγκολλημένο ή μη, κλπ). Έτσι, οι ποικίλες μορφές του ιγκνιμβρίτη αναμένεται να παρουσιάζουν εύρος τιμών. Επίσης, επισημαίνεται ότι ο συγκεκριμένος δείκτης δεν αποτελεί μία πλήρως αξιόπιστη μέθοδο ανεύρεσης της αντοχής του πετρώματος αλλά είναι μία πρώτη αδρή ένδειξη αυτής, γεγονός που οδηγεί σε αβεβαιότητες, ειδικά στην περίπτωση που υπολογίζεται το σ_{ci} μέσω αυτού.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Ακολουθεί ένα παράδειγμα υπολογισμού του Is(50) που εντοπίστηκε στη βιβλιογραφία και συγκρίνεται με τον εξεταζόμενο ιγκνιμβρίτη. Ο Kahraman (2014) συγκολλημένους και μη συγκολλημένους ιγκνιμβρίτες μελέτησε (Μείο-Πλειοκαινικούς) από 32 διαφορετικές θέσεις στην περιοχή της Ηφαιστειακής επαρχίας της Καππαδοκίας (CVP) που βρίσκεται στην κεντρική Ανατολία και συγκεκριμένα αυτούς με UCS<50MPa. Προέκυψαν όπως φαίνεται παρακάτω, εξισώσεις οι οποίες έχουν ως συντελεστή Κ τιμές από 10 έως 15 περίπου, ανάλογα τον εκάστοτε κορεσμό του δείγματος. Συνεπώς, αναμένεται για δείγματα ιγκνιμβρίτη μεγαλύτερης αντοχής σε μονοαξονική θλίψη και μεγαλύτερης ηλικίας (Ηώκαινο-Ολιγόκαινο), όπως είναι και ο υπό μελέτη ιγκνιμβρίτης του έργου, ο συντελεστής Κ να χαρακτηρίζεται από αρκετά μεγαλύτερες τιμές. Η τιμή του δείκτη σημειακής φόρτισης που υπολογίστηκε από τον συγκεκριμένο ερευνητή, έδωσε αντοχή «χαμηλή» έως «μέση» για τα ξηρά δείγματα και «χαμηλή» έως «πολύ χαμηλή» για τα κορεσμένα. Επομένως, ο ξηρός και μεγαλύτερης αντοχής ιγκνιμβρίτης της στενής περιοχής, με βάση την γεωλογική λογική και τα αποτελέσματα του Kahraman (2014), αναμένεται με αντογή «μέση» ή μεγαλύτερη. Σαφώς τα συμπεράσματα αυτά μπορεί να παρεκκλίνουν, λόγω πιθανής παρουσίας διαφορετικών συνθηκών που προαναφέρθηκαν (π.χ. αποσάθρωση).

Ορισμένες από τις βιβλιογραφικές τιμές του συντελεστή Κ φαίνονται στον πίνακα στην συνέχεια, χωρίς βέβαια να αντιπροσωπεύουν απόλυτα την περίπτωση του υπό μελέτη ιγκνιμβρίτη. Οι παρακάτω εξισώσεις καταγράφηκαν έτσι ώστε να δοθεί μία πρώτη εντύπωση σχετικά με τον συντελεστή αυτόν, λαμβάνοντας υπόψη ότι ο ιγκνιμβρίτης της περιοχής ομοιάζει με ψαμμιτικό υλικό και γενικά αναμένεται ως «σκληρό» πέτρωμα.

Αναφορά	Εξίσωση
Bieniawski (1975) -Ψαμμίτες	$UCS=23.9I_{s50}$
Read et al. (1980) 1) Sedimentary rocks 2) Basalts	1) UCS = $16I_{s50}$ 2) UCS = $20I_{s50}$
ISRM (1985)	UCS= $(20,, 25)$ I _{s50}
Quane and Russel (2003) 1) Strong rocks 2)Weak rocks	1) UCS = $24.4I_{s50}$ 2) UCS = $3.86(I_{s50})^2 + 5.65I_{s50}$

	νηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη	
"OEC	Tsiambaos G. & Sabatakakis N. (2004) 1) Is<2 MPa 2) Is = 2–5 MPa 3) Is>5 MPa	1) UCS = $13I_{s50}$ 2) UCS = $20I_{s50}$ 3) UCS = $28I_{s50}$
	Kassim and Mohammad (2007) 1)Is<1 MPa 2)Is>1 MPa	1) UCS = $12.23I_{s50} + 1.75$ 2) UCS = $14.45I_{s50} + 0.096$
	Singh et al. (2012) 1) Σκληρότερα πετρώματα 2) Μαλακότερα πετρώματα	1) UCS = $21 $
	Kahraman (2014) -συγκολλημένοι και μη συγκολλημένοι ιγκνιμβρίτες με UCS<50MPa 1) Ξηροί 2) Κορεσμένοι 3) Ξηροί και Κορεσμένοι	 UCS = 14.68Is - 8.67 UCS = 10.83Is - 1.60 UCS = 12.31Is - 3.86

Πίνακας 2.8.4 Βιβλιογραφικές τιμές του συντελεστή Κ

Για τον εξεταζόμενο σχηματισμό θα εξαχθεί σε επόμενο κεφάλαιο, μέσω στατιστικής επεξεργασίας μία αντιπροσωπευτική τιμή Is₍₅₀₎, με βάση τις τιμές που προέκυψαν από την εκτέλεση δοκιμών σε δείγματα από πυρήνες γεωτρήσεων της ευρύτερης και στενής περιοχής του έργου. Επίσης θα υπολογιστεί η τιμή του συντελεστή K μέσα από την εξίσωση A' βαθμού που συνδέει τον Is₍₅₀₎ με το σ_{ci}.

2.8.5 Σταθερά παραμορφωσιμότητας MR

Το μέτρο παραμορφωσιμότητας του άρρηκτου υλικού υπολογίζεται μέσα από την σχέση:

$E_i = MR^*\sigma_{ci}$

,όπου σ_{ci} η αντοχή σε θλίψη του άρρηκτου βράχου και MR η σταθερά παραμορφωσιμότητας.

Όσον αφορά τις τιμές MR, προτάθηκαν από τον Deere το 1968 και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Συγκεκριμένα, για τα ηφαιστειακά λατυποπαγή δίνεται MR=500, τιμή που προέκυψε με βάση την γεωλογική λογική (απουσία διαθέσιμων δεδομένων). Για τους τόφφους δίνεται MR=200-400 και για τα κροκαλοπαγή (ηφαιστειακής προέλευσης) MR=400-600.



Εικόνα 2.8.5.1 Προτεινόμενες τιμές MR από τον Deere (1968) και τους Palmstrom and Singh (2001)

2.8.6 Άλλα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά

Σύμφωνα με την Moon (1993) οι εφελκυστικές αντοχές (σ_t) των ξηρών πετρωμάτων κυμαίνονται από <1MPa έως 7.1MPa, η συνοχή (c) από 0.14 έως 13MPa, και οι γωνίες τριβής (φ) από 27° έως 35°. Τα πορώδη από 17 έως 51%, οδηγούν σε σημαντική απώλεια αντοχής κατά τον κορεσμό και η δευτερογενής αντοχή της φυλλοποίησης κυμαίνεται από 30 έως 99%, με βάση τον δείκτη αντοχής στην φυλλοποίηση (Slake Durability Index).

2.8.7 Μικρό-δομή της βραχόμαζας

Κατά βάση η μικροδομή της βραχόμαζας ελέγχει τη γεωμηχανική συμπεριφορά του ιγκνιμβρίτη. Η αντοχή σε θλίψη και η ανθεκτικότητα στην

φυλλοποίηση ελέγχονται από το πόσο κοντά βρίσκονται τα «μικροτεμάχη» της βραχόμαζας (groundmass) και από τη φύση της συγκόλλησης μεταξύ των μεμονωμένων μικροτεμαχών, στα σημεία επαφής τους. Αυτοί οι παράγοντες ελέγχουν την ευκολία με την οποία μπορούν να «διαδοθούν» οι μικρορωγμές μέσα στην βραχομάζα.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Τα μεγέθη των κρυστάλλων και των κλαστών ελέγχουν δευτερευόντως την αντοχή σε θλίψη, επηρεάζοντας την έναρξη των μικρορωγμών μέσω της συγκέντρωσης τάσης γύρω από ανομοιογενείς περιοχές.

Η εφελκυστική αντοχή επηρεάζεται πρωτίστως από τον βαθμό ευθυγράμμισης των μικροτεμαχών, με μόνο μια μικρή ανισοτροπία να υπάρχει, όσον αφορά την κατεύθυνση της ευθυγράμμισης θραύσης σε σχέση με την διεύθυνση της κύριας τάσης. Η διατμητική αντοχή δεν σχετίζεται καθαρά με τη μικροδομή (Moon, 1993).

2.8.8 Τύποι αστοχιών-συμπεριφορά βραχόμαζας-βαρύτητα μέτρων άμεσης υποστήριξης

Στο σύνολο, οι βραχόμαζες της μολάσσας δεν δημιουργούν απότομα πρανή. Ωστόσο, εκδηλώνονται αρκετές αστάθειες τόσο σε φυσικά όσο και σε τεχνητά πρανή όταν επιχειρείται αλλαγή της γεωμετρίας τους.

Στην επιφάνεια η μολάσσα δημιουργεί επίσης πολλά προβλήματα λόγω της αποσαθρωμένης της φύσης. Αντίθετα σε βάθος, η σχετικά υψηλή αντοχή της, σε συνάρτηση με τις επιτόπου τάσεις σε μικρά έως μεσαία βάθη, δεν εξασφαλίζουν την έντονη δημιουργία τασικών αστοχιών. Με άλλα λόγια, στα υπόγεια έργα έχει γενικώς καλή συμπεριφορά, με ενδεχόμενο να εκδηλώνει μόνο τοπικά δομικές αστάθειες. Έτσι, ο βασικός μηχανισμός αστοχίας στις σήραγγες είναι οι πτώσεις και ολισθήσεις, λόγω βαρύτητας, των βραχοτεμαχών και σφηνών που, ορίζονται από τεμνόμενες διακλάσεις και επίπεδα ασυνεχειών στρώσης. Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι, η συγκεκριμένη συμπεριφορά έχει επιβεβαιωθεί κατά την κατασκευή σηράγγων σε βάθη έως 110m και δεν ισχύει οπωσδήποτε για πολύ μεγαλύτερα βάθη (Marinos V., 2020).

Έτσι λοιπόν, εξαιρώντας τα πρώτα μέτρα του εδάφους όπου η βραχόμαζα υπόκειται στην επίδραση των επιφανειακών συνθηκών και τις ζώνες ρηγμάτων, υπάρχουν βασικοί τύποι μέτρων άμεσης υποστήριξης της μολασσικής βραχόμαζας.

(in the second	^{Ψηφιακή} συλλογή Βιβλιοθήκη	
'OE(<u>Συνθήκες</u>	Βαρύτητα μέτρων υποστήριζης
	Συνθήκες ευστάθειας με αποκλειστικά βαρυτικά-ελεγχόμενες αστοχίες και ελάχιστη έως μηδενική παραμόρφωση. Η πιο συνηθισμένη περίπτωση για όλες τις μολάσσες σε βάθος, για χαμηλά έως μέτρια υπερκείμενα ή και για υψηλά υπερκείμενα (Marinos V., 2020)	Τα πιο ελαφριά συγκριτικά με τις υπόλοιπες περιπτώσεις.
	Συνεκτικές μολάσσες, μακριά από τις περιοχές των στομίων και των ρηγμάτων, παραπέμπει σε συνθήκες με συχνές σφηνοειδείς αστοχίες εξαιτίας της γεωμετρίας των κύριων συστημάτων διακλάσεων και των σχεδόν οριζόντιων επιπέδων στρώσης.	Μέτρια (σίγουρα μία τάξη βαρύτερα από την προηγούμενη περίπτωση)
	Αποσαθρωμένη μολάσσα κοντά στα στόμια της σήραγγας ή οι έντονα διακλασμένες και φτωχές μολασσικές βραχόμαζες κατά μήκος ζωνών ρηγμάτων	Πολύ πιο ισχυρή υποστήριξη. Σημαντικό ρόλο στην διατήρηση της ευστάθειας παίζει και η μείωση του βήματος προχώρησης της εκσκαφής (~1m)

Πίνακας 2.8.5 Βασικοί τύποι μέτρων άμεσης υποστήριξης της μολασσικής βραχόμαζας, ανάλογα τις επικρατούσες συνθήκες.

Σε κάθε περίπτωση απαιτείται ιδιαίτερη αξιολόγηση και υπολογισμός των ακριβών μέτρων προσωρινής υποστήριξης.

2.8.9 Βαθμονόμηση μολασσικών σχηματισμών σε βάθος με το GSI

Όπως προαναφέρθηκε, η δομή των μολασσικών σχηματισμών εμφανίζει διαφορές στην επιφάνεια και σε βάθος. Επομένως, η ταξινόμηση βραχόμαζας που προσδιορίζει τον Γεωλογικό δείκτη Αντοχής (GSI) και γίνεται σύμφωνα με τους Ε. Hoek, Π. Μαρίνος και Β. Μαρίνος (2004), συμπληρώνεται ξεχωριστά για την περίπτωση μολασσικής βραχόμαζας στην επιφάνεια (εφαρμογή για επιφανειακές εκσκαφές) και ξεχωριστά για το βάθος (εφαρμογή για σήραγγες).

Σύμφωνα με τον Μαρίνο Β. (2007), για την αδιατάρακτη και συνεχή σε βάθος βραχόμαζα χρησιμοποιείται το βασικό κλασσικό διάγραμμα GSI για ρωγματωμένους βράχους. Αυτό προκύπτει επειδή η βραχόμαζα σε βάθος είναι περισφυγμένη, με τις στρώσεις να μην εμφανίζονται ως σαφώς καθορισμένες επιφάνειες ασυνεχειών, παρόλο που υπάρχει λιθολογική ποικιλία. Με άλλα λόγια, οι μολασσικοί λιθότυποι σε συνθήκες βάθους βαθμονομούνται ενιαία, σαν μία λιθολογία, αφού εμφανίζουν μία συνεχή δομή. Σύμφωνα με τους Hoek et al (2004) μολασσικοί σχηματισμοί βαθμονομούνται σε δύο περιοχές (M1 και M2) του διαγράμματος GSI και αφορούν τις μολάσσες υπό περιορισμό, δηλαδή βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στις σήραγγες.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Χαρακτηριστικό	Περιοχή Μ1	Περιοχή Μ2
Δομή	Άρρηκτη έως Μέτρια κερματισμένη (αφού η βοαγόμαζα είναι	Στρωματώδης-Κερματισμένη (σε περιοχές κερματισμένες από ρήγματα ή σε μικοά βάθη επηρεασμένες από τις
	συμπαγής και συνεχής)	επιφανειακές συνθήκες αποσάθρωσης)
Ποιότητα ασυνεχειών	Πολύ καλή έως μέτρια- οριακά πτωχή, ανάλογα με το αν επικρατεί ψαμμίτης ή ιλυόλιθος αντίστοιχα	Καλή έως Μέτρια
Θραύσματα- Ασυνέχειες	Περιορισμένα λόγω του ιστορικού σχηματισμού της βραχόμαζας.	Έντονα κερματισμένη ή λατυποπαγής μολάσσα σε ζώνες ρηγμάτων.
GSI	>50-60	25-40

Πίνακας 2.8.6 Χαρακτηριστικά μολάσσας υπό περιορισμό (περιοχές M1 και M2 του διαγράμματος GSI κατά Hoek, Marinos and Marinos, 2004)

Έτσι, για τις ταξινομήσεις της βραχόμαζας της «μολάσσας Ροδόπης» που συμπεριλαμβάνει πρακτικά και τον ιγκνιμβρίτη του τεχνικού έργου, ακολουθήθηκε προαναφερθείσα «μεθοδολογία» κατά GSI.



Σημειώσεις

Ψηφιακή συλλογή

Όταν δεν υπάρχουν ασυνέχειες στη βραχόμαζα, προτείνεται να χρησιμοποιούνται απευθείας εργαστηριακές δοκιμές

Το διάγραμμα GSI δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για χαλαρά κροκολοπαγή. Το υλικό τότε μπορεί να προσομοιωθεί

ως ένα ελαφρώς συγκολλημένο ποτάμων αποθέσεων (κυρίως χαλίκια) γεωυλικό

Εικόνα 2.8.9.1 Διάγραμμα GSI για μολάσσα υπό περιορισμό, με εφαρμογή κυρίως σε σήραγγες (Hoek, Marinos and Marinos, 2004)

Από την άλλη, σε περιπτώσεις επιφανειακών εκσκαφών, η δομή της μολάσσας έχει χαλαρώσει λόγω της σχάσης, του κερματισμού και της αποσάθρωσης. Για αυτή την περίπτωση μολάσσας, προτάθηκε από τους Hoek, Marinos P. και Marinos V. (2004), η χρήση ενός νέου διαγράμματος GSI, που αφορά την σχάσιμη μολάσσα (σε περιβάλλον κοντά στην επιφάνεια.). Το εν λόγω διάγραμμα περιλαμβάνει πέντε (5) περιοχές, M3-M7 που αντιστοιχούν στους λιθότυπους της μολάσσας ανάλογα με την ποσόστωση ψαμμίτη-ιλυόλιθου.

Στη περίπτωση της σήραγγας «Πέτρα» δεν πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση GSI για «μολάσσα» στην επιφάνεια, καθώς δεν υπήρχαν επαρκή διαθέσιμα στοιχεία για την «εικόνα» της στην επιφάνεια, παρά μόνο στοιχεία βάθους από τις εκτελεσθείσες γεωτρήσεις.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Στις θέσεις των στομίων λοιπόν, αποδόθηκε τιμή GSI με βάση τις κοντινότερες σε αυτά εκτελεσθείσες γεωτρήσεις, την γεωλογική λογική και την παρατήρηση δύο (2) φωτογραφιών των θέσεων των στομίων (από Mapívo B., 2020), προς επιβεβαίωση της γεωλογικής λογικής. Στις εν λόγω περιοχές δεν απαντώνται εναλλαγές ψαμμίτη-ιλυόλιθου και συνεπώς δεν κρίνεται απόλυτα ορθή η χρήση του παρακάτω διαγράμματος, αλλά θεωρείται από τη γράφουσα ως σωστότερη η εξαγωγή εύρους τιμών GSI με την γεωλογική κρίση και την παρατήρηση των διαθέσιμων εικόνων.



Εικόνα 2.8.9.2 Διάγραμμα GSI για σχάσιμη μολάσσα όπου οι επιφάνειες των στρώσεων ιλυολίθωναργιλολίθων είναι συχνές και καλώς εκπεφρασμένες. Για περιοχές κοντά στην επιφάνεια, επιφανειακές εκσκαφές και πρανή (Marinos, Hoek and Marinos, 2004)

2.9 MEOOAOS KATASKEYHS THS SHPAFFAS

2.9.1 Διάνοιξη σήραγγας με τη μέθοδο ΝΑΤΜ

Η «Νέα Αυστριακή Μέθοδος Διάνοιξης Σηράγγων» (New Austrian Tunneling Method) περιλαμβάνει μία σειρά μεθοδολογιών διάνοιξης και υποστήριξης σηράγγων, οι οποίες αρχικά εφαρμόστηκαν την δεκαετία του 1960 κατά την

κατασκευή των μεγάλων οδικών και σιδηροδρομικών σηράγγων των Άλπεων. Στην μέθοδο αυτή («μέθοδος NATM») ενσωματώνονται όλες οι σύγχρονες τεχνικές διάνοιξης, υποστήριξης και ενόργανης παρακολούθησης των σηράγγων.

Βασική της «φιλοσοφία» είναι η ενεργοποίηση της αντοχής της περιβάλλουσας (στην εκσκαφή) βραχόμαζας, έτσι ώστε να ελαττωθεί όσο το δυνατόν περισσότερο η αποσυμπίεση και η χαλάρωσή της. Το τελευταίο πραγματοποιείται με την τοποθέτηση μέτρων προσωρινής υποστήριξης (κυρίως εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και αγκύρια) τα οποία θα ενισχύσουν την περιβάλλουσα βραχόμαζα, δημιουργώντας έναν «δακτύλιο υποστήριξης». Αυτός, συμβάλλει στην πίεση σταθεροποίησης που παράγεται από το φαινόμενο της θολωτής δράσης.

Κατά την εφαρμογή της ΝΑΤΜ ισχύουν κάποιες βασικές αρχές και προϋποθέσεις κατά την εκσκαφή και διάνοιξη της σήραγγας, την άμεση υποστήριξη των τοιχωμάτων και του μετώπου και την ενόργανη παρακολούθηση της συμπεριφοράς της περιβάλλουσας στη σήραγγα βραχόμαζας, οι οποίες περιγράφονται ακολούθως.

2.9.1.1 Διάνοιξη-Εκσκαφή

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Στη ΝΑΤΜ, η σήραγγα διανοίγεται με την χρήση μηχανικών μέσων ή εκρηκτικών και η προχώρηση είναι μικρή ανά βήμα εκσκαφής (1-4m) καθοριζόμενη από τις εκάστοτε γεωτεχνικές συνθήκες στην περιοχή του έργου. Το ανυποστήρικτο τμήμα υποστηρίζεται ελάχιστα πιο πίσω (από παρουσίαση Γεωργίου, 2020). Για την αντιμετώπιση των ασταθειών στη συμβατική μέθοδο υπάρχουν γενικά διάφοροι τρόποι, όπως εκσκαφή της διατομής σε φάσεις, κατασκευή της άμεσης υποστήριξης σε μικρή απόσταση από το μέτωπο εκσκαφής, ολοκλήρωση του δακτυλίου του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο σύνολο της διατομής, κ.α. (Καββαδάς, 2000). Σκοπός της κατασκευής φάσεων είναι:

- η ελάχιστη δυνατή αποδιοργάνωση της βραχόμαζας
- ο περιορισμός των συγκλίσεων
- η βελτίωση της ευστάθειας του μετώπου
- η χρήση των λιγότερων δυνατών μέτρων προσωρινής υποστήριξής (από παρουσίαση Τεχνικής Γεωλογίας)

Όπως προαναφέρθηκε, συνήθως η σήραγγες διανοίγονται σε περισσότερες από μία φάσεις και την παρούσα περίπτωση της σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα»), η εκσκαφή πραγματοποιήθηκε σε δύο (2) μόνο φάσεις. Ειδικότερα, η πρώτη (Α') φάση περιλαμβάνει τον θόλο ή την τοξωτή άνω ημιδιατομή (top heading). Η δεύτερη (Β') αποτελεί το υπόλοιπο τμήμα παραλληλόγραμμου σχήματος που ονομάζεται δάπεδο (bench). Αυτή η μέθοδος εκσκαφής καταγράφεται στην ξένη βιβλιογραφία ως «heading and bench method», όπως φαίνεται στη συνέχεια.4

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 2.9.1.1.1. «Heading and Bench method» (Πηγή: BrainKart.com)

Πραγματοποιείται μόνο σε «σκληρό βράχο», στον οποίο η διατομή μπορεί να παραμείνει ανυποστήρικτη για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Η άνω ημιδιατομή της σήραγγας διανοίγεται πρώτη σε απόσταση 3.7 με 4.6m από την κάτω ημιδιατομή, της οποίας η διάνοιξη ακολουθεί (Πηγή: BrainKart.com). Γενικά, ισχύει ότι όσο καλύτερη είναι η ποιότητα της βραχόμαζας, τόσο πιο κοντά στην Α' φάση μπορεί να διανοίγεται και η Β' φάση της εκσκαφής, καθώς η διατομή αναμένεται να αυτοϋποστηρίζεται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Το αντίθετο ισχύει στην περίπτωση ασθενούς ποιότητας βραχόμαζας, με προβλήματα παραμορφώσεων, στην οποία δύναται να διανοιχτεί πρώτα ακόμη και το σύνολο της Α' φάσης (μέχρι το ξετρύπημα), ώστε να εκτονωθούν οι τάσεις και αφού ισορροπήσει, να εκσκαφτεί η Β' φάση. Αξίζει να αναφερθεί ότι, δεν εντοπίζεται η τρίτη (Γ') φάση της εκσκαφής με το ανεστραμμένο τόξο (invert) λόγω της καλής ποιότητας βραχόμαζας που δεν απαιτεί περεταίρω ενίσχυση στην υποστήριξη.



Εικόνα 2.9.1.1.2 Τυπική διατομή της σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα») με τις φάσεις εκσκαφής Α και Β



Εικόνα 2.9.1.1.3 Διανοιγμένη η Α' φάση στη σήραγγα Σ1 του Κάθετου άξονα της Εγνατίας Οδού «Ξάνθη-Εχίνος-Ελληνοβουλγαρικά σύνορα» (άσκηση υπαίθρου ΠΜΣ «Τεχνική Γεωλογία και Περιβάλλον», η εικόνα λήφθηκε από Σπάχος, 2018 και τροποποιήθηκε από ρη γράφουσα)

Στην Οριστική Γεωλογική Μελέτη της παραλλαγής της χάραξης αναφέρεται ότι η εκσκαφή της μολάσσας Ροδόπης διεξάγεται «δύσκολα με χρήση μηχανικών μέσων και πιθανή χρήση εκρηκτικών κατά 15%, ενώ κατά 85% με εκρηκτικά».

Για την διάνοιξη της Σ2Ν («Πέτρα») προτείνεται από τη γράφουσα, οπωσδήποτε η χρήση εκρηκτικών στο μεγαλύτερο μέρος της σήραγγας (82.4%) και συγκεκριμένα στις ΤΕ-Α και ΤΕ-Β, λόγω της καλής ποιότητας βραχόμαζας και της υψηλής τιμής GSI. Στις θέσεις των στομίων, εξαιτίας της παρουσίας ασθενέστερης βραχόμαζας η εκσκαφή θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί, όπως αναφέρεται στη μελέτη, δύσκολα με χρήση μηχανικών μέσων και πιθανή χρήση εκρηκτικών κατά 15%, ενώ κατά 85% με εκρηκτικά.

2.9.1.2 Μέτρα άμεσης υποστήριξης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Είναι τα μέτρα που τοποθετούνται πριν, κατά τη διάρκεια και αμέσως μετά την εκσκαφή, προκειμένου να διατηρηθεί το άνοιγμα της σήραγγας με σταθερή διατομή και με την εκπλήρωση του ζητούμενου συντελεστή ασφαλείας. Η άμεση υποστήριξη αναλαμβάνει τα φορτία ταχύτατα και έτσι περιορίζεται η σύγκλιση των τοιχωμάτων και η αποδιοργάνωση της βραχόμαζας. Με άλλα λόγια, ο πρωταρχικός στόχος τους είναι να συμβάλλουν στην αυτοϋποστήριξη της βραχόμαζας.

Σύμφωνα με την εμπειρία που έχει αποκτηθεί έως σήμερα, ισχύει ότι η μεγαλύτερη χαλάρωση και παραμόρφωση της εκσκαφής λαμβάνει χώρα αμέσως μετά την εκσκαφή. Με το πέρας του χρόνου, λόγω της τάσης που έχει το πέτρωμα για αυτοϋποστήριξη, αποκτά νέα ισορροπία. Επίσης σημαντικό είναι το γεγονός ότι, όσο καλύτερη είναι η ποιότητα της βραχόμαζας η διατομή δύναται να παραμείνει ανυποστήρικτη για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και απαιτούνται πιο ελαφριά μέτρα υποστήριξης. Στην αντίθετη περίπτωση της πτωχής ποιότητας βραχόμαζας, ο χρόνος αυτοϋποστήριξης ελαττώνεται και άρα, τα μέτρα υποστήριξης πρέπει να τοποθετηθούν γρήγορα και κοντά στο μέτωπο εκσκαφής, καθώς επίσης υπάρχουν απαιτήσεις για πιο ισχυρά μέτρα.

Ο τύπος των μέτρων άμεσης υποστήριξης εξαρτάται από τη συμπεριφορά της περιβάλλουσας βραχόμαζας. Γενικά, η ανάγκη, τα μεγέθη, οι ποσότητες και ο συνδυασμός των διαφόρων μέτρων, προκύπτουν τελικά από αριθμητική ανάλυση και από βελτιστοποιήσεις με ενόργανη, αξιόπιστη, παρακολούθηση. Τα συνήθη μέτρα υποστήριξης είναι τα παρακάτω του πίνακα.

- WI	φιακή συλλογή
BI	βλιοθηκη
En	ΦΡΑΣΤΟΣ"
54	Μέτρα άμεσης υποστήριξης
πμή	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (με μεταλλικό πλέγμα ή/και μεταλλικές ίνες οπλισμού)
X.	Αγκύρια βράχου
1.1	Μεταλλικά πλαίσια
	Μέτρα βελτίωσης των συνθηκών έδρασης του κελύφους
	Ελαφρά βλήτρα προπορείας (Spiles)
	Ομπρέλα βαριών δοκών προπορείας (Forepole umbrella)
	Αγκύρια μετώπου – κυρίως Υαλόκαρφα (fiberglass)
	Προσωρινό ανάστροφο τόξο
	Μόνιμο ανάστροφο τόξο
	Ολισθαίνουσα (ενδίδουσα) υποστήριξη
	Βελτίωση γεωυλικού με χρήση ενέματος (Grouting)
	Αποστραγγιστικές ή/και ανακουφιστικές οπές

Πίνακας 2.9.1 Μέτρα άμεσης υποστήριξης και σημείωση αυτών που προτείνονται από την γράφουσα για την σήραγγα Σ2Ν («Πέτρα») (τροποποιημένο από παρουσίαση Τεχνική Γεωλογία)

Παρακάτω θα δοθεί ένα μικρό θεωρητικό υπόβαθρο για εκείνα τα μέτρα άμεσης υποστήριξης που προτείνονται από τη γράφουσα για τη σήραγγα «Πέτρα». Σε επόμενο κεφάλαιο, βάση του θεωρητικού αυτού υποβάθρου, θα επισημανθεί με μεγαλύτερη ειδίκευση για την εξεταζόμενη σήραγγα ο τύπος υποστήριξης.

2.9.1.2.1 Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (shotcrete)

Αποτελείται από τσιμέντο, νερό, λεπτόκοκκα αδρανή υλικά, πρόσμικτα (admixures) και πρόσθετα (ΕΛΟΤ, 2009) που εκτοξεύεται με την βοήθεια αέρα υπό πίεση και επιστρώνεται στα βραχώδη τοιχώματα της σήραγγας με μεγάλη ταχύτητα. Σκοπός της εφαρμογής του και της δημιουργίας ενιαίου κελύφους περιμετρικά της εκσκαφής (από παρουσίαση Γεωργίου, 2020) είναι:

- Η άμεση συγκράτηση των μικρών επισφαλών τεμαχών του πετρώματος που δύναται να καταπέσουν από το μέτωπο, τα τοιχώματα και την οροφή, αφού η αστοχία αυτών οδηγεί σε βαθμιαία χαλάρωση της βραχόμαζας. Άμεση και σε μεγαλύτερο πάχος εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι αναγκαία όσο πιο διακλασμένη είναι η βραχόμαζα (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).
- Ο περιορισμός των ενδεχόμενων αστοχιών τύπου καμινάδας ή καταρροής.
- Η συμβολή στην συγκράτηση των μεγάλων βραχωδών τεμαχών της οροφής και των τοιχωμάτων, μέσω της διατμητικής του αντοχής, συνδυαστικά όμως και με άλλα μέτρα. Αυτό συμβαίνει βέβαια, σε ορισμένο διάστημα μετά την τοποθέτησή του, οπού αποκτά την μέγιστη αντοχή του.

Ο περιορισμός των συγκλίσεων, αν υπάρχουν (από παρουσίαση Γεωργίου,

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

2020).

λογίας

μa

Στις οδικές σήραγγες συνήθως χρησιμοποιείται το υγρό μίγμα σκυροδέματος (συστηματική κατανάλωση σε μεγάλες ποσότητες), στο οποίο η ανάμιξη με νερό γίνεται μέσα στον αναδευτήρα κατά την παρασκευή του μίγματος (wet mix shotcrete). Είναι βιομηχανικά παραγόμενο προϊόν με σταθερό λόγο νερού προς τσιμέντο, τυποποιημένη ποιότητα τσιμέντου, αδρανών, κλπ και επομένως έχει μικρότερες αποκλίσεις από τον αρχικό σχεδιασμό του έργου. Οι μηχανές εκτόξευσής του πετυχαίνουν πολύ υψηλές αποδόσεις και η αναπήδηση (rebound) είναι μικρή. Μειονέκτημα είναι μόνο η περιορισμένη απόσταση από το σημείο τροφοδοσίας έως το σημείο εκτόξευσης (~300m) (Παναγιωτίδης). Υπάρχει βέβαια και το gunite, δηλαδή ξηρό μίγμα με προσθήκη νερού στο στόμιο της εκτόξευσης (dry mix shotcrete), με χρήση κυρίως στη διάνοιξη μεταλλείων (δύσκολη πρόσβαση και περιστασιακή χρήση του). Λόγω του ότι δεν υπάρχει τρόπος μέτρησης της ποσότητας του νερού που εισάγεται στο τελικό μίγμα (εμπειρική ρύθμιση από τον χειριστή), αυτό συνεπάγεται μεγάλες διακυμάνσεις στην ποιότητα και στις αντοχές του τελικού προϊόντος. Μειονέκτημα του τελευταίου είναι και το μεγάλο ποσοστό της ανάκλασης (rebound) που χάνεται καθώς ανακλάται στην υπό εκτόξευση επιφάνεια. Η απόδοση των μηχανών ξηρής ανάμιξης είναι αρκετά χαμηλή σε σχέση με αυτή των μηχανών υγρής ανάμιξης (αντιοικονομικό) (Παναγιωτίδης). Επομένως, προτιμάται γενικά η μέθοδος υγρής ανάμιξης σε όλα τα μεγάλα έργα υποδομής.

Σε περίπτωση που απαιτηθεί αυξημένη αντοχή και πλαστιμότητα (ευκαμψία) στο σκυρόδεμα, προστίθεται μεταλλικές ίνες (steel fibres) που λειτουργούν σαν οπλισμός. Αν και οι μεταλλικές ίνες μπορούν να αντικαταστήσουν το μεταλλικό πλέγμα ενίσχυσης (wire mesh) που περιγράφεται παρακάτω και να μειώσουν τα φαινόμενα αναπήδησης του σκυροδέματος, προτείνεται η χρήση μόνο του τελευταίου (άοπλου) κατά μήκος της σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα»). Αυτό, γιατί οι μεταλλικές ίνες δεν θεωρούνται συμφέρουσες για χρήση τους σε σήραγγα μήκους μόλις 170m, υπό καλή ποιότητα βραχόμαζας. Αρκεί η χρήση άοπλου εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε κατάλληλο πάχος και ενσωμάτωση με αυτό των μεταλλικών πλεγμάτων για την όπλισή του, την ομαλοποίηση των τοιχωμάτων και την προστασία από μικροτεμάχη. Το μεταλλικό πλέγμα, από την άλλη πλευρά, είναι εύκολο και γρήγορο στην τοποθέτησή του. Λόγω της παρουσίας ξηρών συνθηκών, η ηλεκτρολυτική διάβρωση που θα αποτελούσε πρόβλημα για το πλέγμα, αναμένεται να απουσιάζει, καθώς επίσης τα τοιχώματα της συγκεκριμένης λιθολογίας είναι δυνατό να διαμορφωθούν με σχετικά ομαλές επιφάνειες, γεγονός που διευκολύνει την τοποθέτησή του (Κυρανάκης, 2020).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Στον ΕΛΟΤ (2009) αναφέρεται ότι υπάρχον εξοπλισμός (π.χ. πλέγματα, πλαίσια, ράβδοι οπλισμού) πρέπει να επικαλύπτονται κατά το ελάχιστο με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα 15mm από την επιφάνεια του βράχου και 25mm από την τελική επιφάνεια του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Επίσης σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ (2009), όταν το πάχος του σκυροδέματος ξεπερνά τα 8cm, τοποθετείται πλέγμα στο μέσο της στρώσης και αγκυρώνεται στην προηγούμενη στρώση με αγκύρια στερέωσης πλέγματος ή γίνεται διάστρωση σε δύο (2) διακριτές υπό-φάσεις. Το μέγιστο πάχος κάθε στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος συνεχούς διάστρωσης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 100mm, αν όμως αυτό απαιτείται τότε η διάστρωση γίνεται σε στρώσεις ≤100mm. Να σημειωθεί εδώ ότι αρχικά, ένα λεπτό στρώμα των 50mm πρέπει να τοποθετηθεί αμέσως, μετά την εκσκαφή, για να αποτρέψει την πτώση επισφαλών τεμαχών, λόγω διατάραξης από την εκσκαφή.

2.9.1.2.2 Μεταλλικό πλέγμα (steel sets)

Η χρήση του έγκειται στην προστασία από τα μικρά βραχώδη τεμάχη της οροφής και των τοιχωμάτων από καταπτώσεις, ενώ χρησιμοποιείται σαν οπλισμός του εκτοξευόμενου σκυροδέματος (ενσωματώνεται στο σκυρόδεμα). Σκοπός του επομένως είναι και η αύξηση της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος και συνεπώς η ικανότητά του για ανάληψη καμπτικής ροπής (από παρουσίαση Γεωργίου, 2020 & Τεχνική Γεωλογία). Συνδυαστικά με το σκυρόδεμα «ομαλοποιεί» τα τοιχώματα της εκσκαφής και θα πρέπει να έχει την δυνατότητα κάλυψης των ανωμαλιών της επιφάνειας της βραχόμαζας χωρίς να αστοχεί και να τραυματίζεται (ΕΛΟΤ, 2009).



Εικόνα 2.9.1.2.2.1 Σχηματική απεικόνιση της εφαρμογής εκτοξευόμενου σκυροδέματος με οπλισμό, περιμετρικά της σήραγγας (από παρουσίαση Γεωργίου, 2020)

Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα του μεταλλικού πλέγματος αναφέρθηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο. Η πάκτωσή του γίνεται με τις πλάκες έδρασης των αγκυρίων ή/και με την τοποθέτηση ειδικών καρφιών μεταξύ αυτών. Ο ΕΛΟΤ (2009) αναφέρει αγκύρια στήριξης πλέγματος που αναλαμβάνουν άμεσα τα φορτία, μήκους 0.5m, ελάχιστης διαμέτρου 16mm. Τοποθετούνται ανάμεσα στα ήδη τοποθετημένα αγκύρια βράχου και σε κάνναβο 1-1.5m² ώστε το πλέγμα να εφάπτεται ορθά με την αρχική στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Επίσης αναφέρει ότι το πλέγμα που εγκιβωτίζεται στο σκυρόδεμα, θα πρέπει να τοποθετείται σε απόσταση μεγαλύτερη των 3cm από την επιφάνεια της βραχόμαζας και για τον λόγο αυτό εφαρμόζεται αρχική στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος στην επιφάνεια του γεωυλικού. (ΕΛΟΤ, 2009).



Εικόνα 2.9.1.2.2.2 Με κόκκινο βέλος υποδεικνύονται τα πλέγματα στα τοιχώματα της σήραγγας Σ1 του Κάθετου άξονα της Εγνατίας Οδού «Ξάνθη-Εχίνος-Ελληνοβουλγαρικά σύνορα» (άσκηση υπαίθρου ΠΜΣ «Τεχνική Γεωλογία και Περιβάλλον», τροποποιημένη από Σπάχος, 2018)

2.9.1.2.3 Αγκύρια/Ηλοι Βράχου (rock bolts)

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

μήμα Γεωλογίας

Είναι, μαζί με το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, από τα βασικότερα μέτρα υποστήριξης σηράγγων και χρησιμοποιούνται στις περισσότερες των περιπτώσεων. Σκοπός τους είναι:

- Η άμεση υποστήριξη και συγκράτηση επισφαλών όγκων περιμετρικά της εκσκαφής, εάν απαιτείται
- Ο περιορισμός των συγκλίσεων του υπόγειου ανοίγματος, εάν παρατηρούνται
- Η όπλιση και υποστήριξη του κελύφους από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.
- Η υποστήριξη των μεταλλικών πλαισίων (από παρουσίαση Γεωργίου, 2020)

Η εμμονή και η απόσταση των ασυνεχειών θα καθορίσουν το μήκος και τον κάνναβο τοποθέτησής τους, ενώ τα διατμητικά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών και ο προσανατολισμός τους την απαιτούμενη αντοχή των αγκυρίων (από παρουσίαση τεχνική Γεωλογία). Διακρίνονται σε ενεργητικού τύπου αγκύρια ή προεντεταμένα (rock bolts) και σε παθητικού τύπου αγκύρια (dowels).

Τα ενεργητικού τύπου αγκύρια τανύζονται (συσφίγγονται) αμέσως μετά την τοποθέτησή τους και αναλαμβάνουν φορτία από τη βραχόμαζα. Σκοπός τους είναι η άμεση υποστήριξη του περιβάλλοντος πετρώματος και για το λόγο αυτό εφαρμόζεται τάνυσή τους και πακτώνεται μόνο το ένα άκρο έτσι ώστε να τανυστούν στο άλλο ελεύθερο άκρο τους (πηγή: NGI).



Εικόνα 2.9.1.2.3.1 Παράδειγμα αγκυρίου ενεργητικού τύπου

Διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες. Πρώτον στα μηχανικής πάκτωσης αγκύρια (mechanically anchored rockbolts) που είναι συνήθως σφηνοειδούς τύπου ή διαστελλόμενης κεφαλής. Τα τελευταία έχουν την ικανότητα ανάληψης εφελκυστικών δυνάμεων στο ελεύθερο άκρο τους, που μεταφέρονται στο απομακρυσμένο υγιές περιβάλλον πέτρωμα και είναι κατάλληλα κυρίως για συμπαγή και ανθεκτικά πετρώματα (Παπαντώνη, 2007). Δεύτερον στα ολόσωμης πάκτωσης με ρητίνες (resin anchored rock bolts) οπού η πάκτωση γίνεται γρήγορα από την ανάμιξη προϋπαρχόντων φυσιγγίων ρητίνης και σκληρυντικού υλικού (π.χ. αγκύρια σημειακής σύζευξης) (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 2.9.1.2.3.2 Παράδειγμα αγκυρίου σφηνοειδούς τύπου (Σοφιανός, 2002)



Εικόνα 2.9.1.2.3.3 Παράδειγμα αγκυρίου διαστελλόμενης κεφαλής



Εικόνα 2.9.1.2.3.4 Παράδειγμα αγκυρίου ολόσωμης πάκτωσης με ρητίνες

Τα παθητικού τύπου αγκύρια δεν αναλαμβάνουν τα φορτία την στιγμή της τοποθέτησής τους αλλά μόνο μετά την εκδήλωση μετακινήσεων (παραμορφώσεων) στο περιβάλλον πέτρωμα (πηγή: NGI). Πρέπει λοιπόν να τοποθετούνται πριν γίνει κάποια μετακίνηση της βραχόμαζας. Διακρίνονται σε αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης με ένεμα (grouted dowels) και σε αγκύρια τριβής (friction dowels), τύπου «swellex» ή τύπου «split-set».

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Στα πρώτα ανήκουν τα αυτοδιατριούμενα αγκύρια (self drilling dowels), τα οποία εφαρμόζονται σε περιοχές με πολύ ασθενή βραχόμαζα, όπου η οπή δεν μπορεί να παραμείνει για πολύ χρόνο σταθερή και κλείνει.



Εικόνα 2.9.1.2.3.5 Παράδειγμα αυτοδιατριούμενου αγκυρίου

Από την άλλη πλευρά, στα *αγκύρια τριβής*, η αγκύρωση είναι πιο αποτελεσματική όταν συμβαίνουν μικρό-μετακινήσεις στη βραχόμαζα κατά μήκος των ασυνεχειών. Το φορτίο μεταφέρεται κατευθείαν στο αγκύριο, χωρίς να παρεμβάλλεται άλλο μέσο (π.χ. ένεμα) το οποίο έχει αμφίβολη ποιότητα. Πλεονεκτήματά τους είναι η εύκολη τοποθέτηση σε όλες τις ποιότητες βραχόμαζας και η ταχύτατη ανάληψη των φορτίων. Μειονέκτημα η μικρή διάρκεια ζωής τους (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).

 Τα τύπου «swellex» αγκύρια (διαστελλόμενα αγκύρια άμεσης ενέργειας), ενεργοποιούνται με την εισπίεση νερού στο εσωτερικό της διατομής που διογκώνει τον σωλήνα, έχουν διάφορες αντοχές και είναι σχετικά ακριβά.



Εικόνα 2.9.1.2.3.6 Παράδειγμα αγκυρίου τύπου «swellex»

 Στα τύπου «split set» αγκύρια ο χαλύβδινος σωλήνας με τη διαμήκη σχισμή διογκώνεται με την εφαρμογή πίεσης. Αποκτά συνάφεια με το Βιβλιοθήκη περιβάλλον πέτρωμα μέσω της προώθησης του εντός του διατρήματος και της πλήρης συνάφειας με αυτό. Κωνικό άκρο Conical bolt tir ViDEX VIDEX VIDEX ViDEX VIDEX 33 35 39 46 47 <mark>Ονομαστική διάμετρος διαιρούμενου σωλήνα</mark> Split tube nominal diameter 33 35 39 46 47 mm <mark>κή διάμετρος διαιρούμενου σωλήνα</mark> : tube typical diameter 33,8 39,5 47,5 35,5 46,5 mm κό φορτίο θραύσεως σε εφελκυσμό cal fracture load in tension kN 120 120 140 200 Ελάχιστο φορτίο θραύσεως kN 80 100 80 150 h breaking capacity Προτεινόμενη αρχική αγκύρωση Recommended initial anchorage kN 30 - 60 60 - 100 <mark>Διαθέσιμα μήκη αγκυρίων</mark> Available bolt lengths m 0,5 - 3,1 1.5 - 4.9

Ψηφιακή συλλογή

Εικόνα 2.9.1.2.3.7 Παράδειγμα αγκυρίου τύπου «split set» με τα χαρακτηριστικά τους (Πηγή: ΕΛΕΒΟΡ Α.Ε.Β.Ε.)

Λόγω της παρουσίας καλής ποιότητας βραχόμαζας δεν κρίνεται απαραίτητη η χρήση αγκυρίων τύπου fibreglass στο μέτωπο της εκσκαφής (θυσιαζόμενα αγκύρια που καταστρέφονται στο επόμενο βήμα εκσκαφής). Αρκεί η άμεση εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος για την συγκράτηση των μικρών μετωπικών σφηνών.

Σε περιπτώσεις βραχομαζών όπου πιθανές αστοχίες θα συμβούν ξαφνικά και χωρίς προειδοποίηση, η ανάληψη φορτίων από τα αγκύρια θα πρέπει να είναι άμεση. Δεν προτιμώνται τα αγκύρια πλήρους πάκτωσης που μεταφέρουν τάσεις στο έδαφος μέσω ενέματος αφού αυτό καθυστερεί να αναλάβει αντοχές. Καταλληλότερα κρίνονται τα διαστελλόμενα αγκύρια άμεσης ενέργειας, τα οποία μπορούν αμέσως να παραλάβουν σημαντικά φορτία (από παρουσίαση Τεχνική Γεωλογία). Τέτοια είναι τα τύπου swellex και τύπου split-set.

2.9.1.2.4 Μεταλλικά πλαίσια (steel ribs)

Στην ξένη βιβλιογραφία αναφέρονται ως steel arches, steel ribs, steel sets και ανήκουν στα «παθητικά» μέτρα υποστήριξης. Τοποθετούνται σε κάποια απόσταση από το μέτωπο της εκσκαφής και συνεπώς το μεγαλύτερο ποσοστό των μετακινήσεων στη βραχόμαζα έχει ήδη εκπληρωθεί πριν την εγκατάστασή τους, παραλαμβάνοντας πλέον μόνο τα νεκρά φορτία των επισφαλών τεμαχών της εκσκαφής. Είναι κατάλληλα για την υποστήριξη στρωμάτων υπό υψηλές τάσεις και μεγάλων παραμορφώσεων, στην περιβάλλουσα βραχόμαζα. Σκοπός τους είναι επίσης:

Η συγκράτηση επισφαλών όγκων περιμετρικά της εκσκαφής

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

- Η δημιουργία ισχυρού κελύφους περιμετρικά της εκσκαφής. Άμεση παραλαβή φορτίων μετά την τοποθέτηση και θεμελίωσή του (άμεση πίεση στο κέλυφος) σε αντίθεση με το σκυρόδεμα που απαιτεί κάποιο χρονικό διάστημα προκειμένου να αναπτύξει τις αντοχές του.
- Ο οπλισμός του κελύφους του εκτοξευόμενου σκυροδέματος (εγκιβωτισμός)
- Η υποστήριξη των δοκών προπορείας (forepoling) και η μεταβίβαση των φορτίων στο έδαφος (από παρουσίαση Γεωργίου, 2020).



Εικόνα 2.9.2.4.1 Τοποθέτηση πλαισίων στη θέση εγκατάστασης δοκών προπορείας

Τα πλαίσια μπορεί να είναι άκαμπτα ή εύκαμπτα και συνήθως χρησιμοποιούνται στην μόνιμη υποστήριξη της βραχόμαζας. Η χρήση της μίας ή της άλλης κατηγορίας εξαρτάται από τις εκάστοτε γεωλογικές συνθήκες. Τα «βαριά» πλαίσια, έχουν δύσκαμπτες συνδέσεις που αντέχουν ένα μεγάλο φορτίο και περιορίζουν τις παραμορφώσεις της διατομής, λόγω της μεγάλης ροπής αδράνειάς τους. Διαχωρίζονται σε:

- πρότυπες δοκούς μορφοχάλυβα διατομής απλής ή σε ζεύγος
- δικτυώματα μορφοχάλυβα
αρθρωτές δοκούς
ολισθαίνουσες δοκούς
δικτυώματα ράβδων (Σοφιανός, 2005)

Τα «ελαφρά» πλαίσια επιτρέπουν μεγαλύτερες παραμορφώσεις αλλά αναλαμβάνουν μικρά φορτία (Σοφιανός, 2005). Είναι πολύ ευκολότερα στον χειρισμό από τα βαριά πλαίσια και μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για προστασία μόνο είτε για υποστήριξη της βραχομάζας. Μπορούν επίσης να συνδυαστούν με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, με το οποίο είναι πλήρως συμβατά ακριβώς λόγω της ευκαμψίας τους. Οι τύποι ελαφρών μεταλλικών πλαισίων περιλαμβάνουν:

- ολισθαίνοντα πλαίσια
- ελαφρές διατομές
- πλαίσια από πτυχωμένα μεταλλικά φύλλα (Ντιούδη, 2010)

Τα πλαίσια που συνηθέστερα τοποθετούνται στις σήραγγες είναι πλατύπελμα διατομής διπλού ταυ (HEB) ή δικτυωτά (Lattice girders) με τρεις ή τέσσερις ράβδους (από παρουσίαση τεχνική Γεωλογία).

Οι απλές διατομές μορφοχάλυβα - πλατύπελμα πλαίσια διατομής διπλού ταυ (HEB), είναι γρήγορη, απλή, φιλική προς το περιβάλλον και μειωμένου κόστους κατασκευή (MONTANSTAHL, 2019). Επίσης έχουν ισχυρή αντίσταση σε κάμψη και μικρό βάρος προς όλες τις κατευθύνσεις. Επίσης διαθέτει πλαστικότητα και ευελιξία, με μεγάλη αντοχή στις φυσικές καταστροφές (π.χ. σεισμός) και επηρεάζεται ελάχιστα από τις κλιματικές μεταβολές. Λόγω του μικρού εμβαδού της διατομής του, δεν μειώνει την περιοχή του «ανοίγματος» της σήραγγας, δηλαδή πρακτικά δεν καταλαμβάνει ιδιαίτερο χώρο εντός της εκσκαφής (Henan Steel Guang International Trade Co., Ltd.)



Εικόνα 2.9.1.2.4.2 Απλές διατομές μορφοχάλυβα - πλατύπελμα πλαίσια διατομής διπλού ταυ (HEB) με τα χαρακτηριστικά τους (Πηγή: BYGGMAKKER, 2017)

Målimm



Εικόνα 2.91.2.4.3 Με κόκκινα βέλη υποδεικνύονται τα μεταλλικά πλαίσια κοντά στο στόμιο της σήραγγας Σ1 του Κάθετου άξονα της Εγνατίας Οδού «Ξάνθη-Εχίνος-Ελληνοβουλγαρικά σύνορα». Η δεξιά εικόνα αποτελεί λεπτομέρεια της αριστερής, με υπόδειξη της «εξωτερικής» πλευράς του πλαισίου, ενώ η άλλη πλευρά είναι ήδη εγκιβωτισμένη στο σκυρόδεμα (άσκηση υπαίθρου ΠΜΣ «Τεχνική Γεωλογία και Περιβάλλον», 2018)

Η επένδυση με σκυρόδεμα της επιφάνειας μεταξύ των πλαισίων οπλίζεται είτε με δομικό πλέγμα είτε με χαλύβδινες ίνες (Σοφιανός, 2005).

Σημαντική είναι η εξασφάλιση της σωστής θεμελίωσης των μεταλλικών πλαισίων στο έδαφος, ώστε να μπορούν να μεταβιβάζουν τα φορτία στην έδρασή τους, ως ενιαίος φορέας. Θα πρέπει να εξασφαλίζεται η φέρουσα ικανότητα του εδάφους θεμελίωσης, ώστε να μην προκληθεί αστοχία του. Σε περίπτωση που δεν εξασφαλίζεται η φέρουσα ικανότητα του εδάφους, η θεμελίωσή τους πραγματοποιείται πάνω σε μικροπασσάλους, ώστε να μεταβιβαστούν τα φορτία σε ισχυρότερο έδαφος (από παρουσίαση Γεωργίου, 2020). Επίσης υπάρχει και η δυνατότητα για διεύρυνση του πλαισίου στη θέση θεμελίωσης του κελύφους.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 2.9.1.2.4.4 Σχέδιο αριστερής παρειάς διατομής σήραγγας με τοποθέτηση μικροπασσάλων για την βέλτιστη θεμελίωση των μεταλλικών πλαισίων στη βραχόμαζα και «ελεφαντοπόδαρου»

Θα πρέπει ακόμη να εξασφαλίζεται η πλήρης συνάφεια του πλαισίου με το περιβάλλον πέτρωμα, έτσι ώστε να μεταβιβάζονται ομοιόμορφα τα φορτία. Για τον λόγο αυτό πρέπει να τοποθετηθεί αρχικά μια λεπτή στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος, πάνω στην οποία εφάπτονται τα πλαίσια (από παρουσίαση Γεωργίου, 2020). Μεταξύ των πλαισίων τοποθετούνται μεταλλικοί αποστάτες (διαδοκίδες διαμήκεις δοκοί - αντηρίδες), ώστε να εξασφαλίζουν την σταθερή αξονική απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών πλαισίων.





Εικόνα 2.9.1.2.4.5 Με κόκκινο βέλος υποδεικνύονται οι μεταλλικοί αποστάτες στο στόμιο της σήραγγας Σ1 του Κάθετου άξονα της Εγνατίας Οδού «Ξάνθη-Εχίνος-Ελληνοβουλγαρικά σύνορα» (άσκηση υπαίθρου ΠΜΣ «Τεχνική Γεωλογία και Περιβάλλον», 2018)

Για την εξασφάλιση της σταθερότητας των πλαισίων, τοποθετούνται παθητικά αγκύρια μεγάλου μήκους εκατέρωθεν αυτών, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με μια ενιαία πλάκα, η οποία συγκρατεί το πλαίσιο («γραβάτα»).





2.9.1.2.5 Δοκοί προπορείας (forepoling)

Ανήκουν στα μέτρα προ-υποστήριξης τα οποία γενικά στοχεύουν στην αύξηση του χρόνου αυτοϋποστήριξης της βραχόμαζας, στην αποτροπή των υπερεκσκαφών και συμβάλλουν στην ασφαλή εκσκαφή, επιτρέποντας την αποτελεσματική εγκατάσταση της άμεσης υποστήριξης (Bai, 2019). Τοποθετούνται όταν οι συνθήκες της βραχόμαζας είναι ασταθείς, όπως σε περιπτώσεις χαμηλών υπερκείμενων και δυσμενών γεωλογικών συνθηκών. Οι μεταλλικοί σωλήνες συνήθως έχουν μήκος περίπου 12m, η τοποθέτησή τους γίνεται στην περιφέρεια της διατομής και πληρώνονται με τσιμεντένεμα, ενώ αλληλεπικαλύπτονται κατά 4m. Βέβαια, τα γεωμετρικά τους στοιχεία και η τελική αλληλεπικάληψή τους, εξαρτάται από τις επιτόπου γεωλογικές συνθήκες (δυνατότητα τεμαχισμού τους σε μικρότερα μήκη αν απαιτηθεί). Διακρίνονται σε «ελαφρά» βλήτρα προπορείας (spiles) και ομπρέλα «βαριών» δοκών προπορείας (forepole umbrella).

Τα «ελαφρά» βλήτρα προπορείας είναι απλές ράβδοι οπλισμού ή κοίλες δοκοί:

- μικρής διαμέτρου (Φ51 έως Φ76)
- μήκους (3-6m)

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

- τοποθετούνται υπό μικρή σχετικά γωνία (<20°) στο θόλο της σήραγγας
- με τόξο εφαρμογής εύρους περίπου 120°
- η στήριξή τους επιτυγχάνεται στην περιοχή της κεφαλής τους μέσω πάκτωσης (με τη βοήθεια τσιμεντενέματος) στη βραχόμαζα μπροστά από το μέτωπο, ενώ στο άκρο τους μέσω έδρασής τους στο κέλυφος της προσωρινής υποστήριξης (από τεχνική Γεωλογία).



Εικόνα 2.9.1.2.5.1 Ελαφρά βλήτρα προπορείας (spiles)

Τα βήματα τοποθέτησης των «ελαφρών» δοκών προπορείας κατά την εκσκαφή φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.





Οι «βαριοί» δοκοί προπορείας χρησιμοποιούνται κυρίως σε βραχόμαζες χαμηλής ποιότητας για την εξασφάλιση της ευστάθειας του μετώπου, αλλά και σε διατομές όπου η βραχόμαζα μπορεί να είναι χαλαρωμένη, λόγω της παρουσίας της κοντά στη επιφάνεια. Είναι δηλαδή κατάλληλοι και για μη συνεκτική βραχόμαζα (Πηγή: DSI UNDERGROUND). Αναλαμβάνει φορτία θραυσμένου πετρώματος υπερκείμενου της οροφής της σήραγγας. Προδιαγράφεται από την ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-12-03-05-00 και εφαρμόζεται σε γεωυλικά με σοβαρά προβλήματα αστάθειας της διατομής και του μετώπου, καθώς και σε αβαθείς σήραγγες και στα στόμια τους (Σοφιανός, 2015). Επίσης περιορίζει τις καθιζήσεις και την επιρροή της εκσκαφής σε παρακείμενα τεχνικά έργα (Samran, 2015).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

- Τοποθετείται σε γεώτρηση που διανοίγεται πριν την εκσκαφή επόμενου τμήματος της σήραγγας, συνήθως υπό μικρή γωνία 3-5° ως προς τον άξονα της σήραγγας.
- Η τυπική εγκατάσταση απαιτεί 20-40 σωλήνες, κάθε ένας π.χ. 14 ή 15m μήκος, ο οποίος για επικάλυψη 3 έως 4 m, δίνει προχώρηση περίπου 11-12m (Σοφιανός, 2015). Η απόσταση μεταξύ των σωλήνων συνήθως είναι 30-40cm.

Για την κατασκευή τους, διατρύονται οπές στο περίγραμμα του θόλου, μέσα στις οποίες τοποθετούνται διάτρητοι σωλήνες και εντός αυτών εισπιέζεται ένεμα. Το ένεμα μέσω των οπών διοχετεύεται στην περιοχή γύρω από το διάτρημα. (από παρουσίαση Τεχνική Γεωλογία). Η τοποθέτησή τους εξαρτάται από το περιβάλλον έδαφος, καθόσον η ενεμάτωση στοχεύει στην ενίσχυση ασθενών ή χαλαρών εδαφών, στη μείωση της διαπερατότητας, στη μείωση των καθιζήσεων που προκαλούνται από την αποστράγγιση κ.λπ. Στατικά, ως αψίδα αναλαμβάνει τα υπερκείμενα φορτία με λειτουργία κελύφους εγκιβωτισμένου στο περιβάλλον πέτρωμα (Σοφιανός, 2015).



Εικόνα 2.9.1.2.5.3 Ομπρέλα βαριών δοκών προπορείας

2.9.1.2.6 Αποστραγγιστικές και ανακουφιστικές οπές

Τα υπόγεια ύδατα επιδρούν στις μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων και για αυτό δημιουργείται η ανάγκη για διάτρηση αποστραγγιστικών και ανακουφιστικών οπών. Σε περίπτωση παρουσίας υπόγειων νερών κατά τη διαδικασία εκσκαφής και υποστήριξης της σήραγγας, δημιουργούνται προβλήματα:

• όχλησης της κατασκευαστικής διαδικασίας

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

ιήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

> φόρτισης και ευστάθειας του κελύφους της προσωρινής υποστήριξης και του μετώπου εκσκαφής.

Στις περιπτώσεις όπου η περατότητα των σχηματισμών είναι μικρή ή και αμελητέα και τα στρώματα (ζώνες υπόγειων υδροφορέων) είναι παγιδευμένα κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα, σημαντική είναι η ανακούφιση των υδατικών πιέσεων στο κέλυφος της προσωρινής υποστήριξης με ανακουφιστικές οπές (Μαρίνος Β., 2014).

Αποστραγγιστικές οπές προτείνονται στην περίπτωση παρουσίας περατών στρωμάτων. Το μήκος και ο κάνναβος των αποστραγγιστικών οπών εξαρτάται από την περατότητα του σχηματισμού και κατασκευάζονται στην περίμετρο της εκσκαφής, μετά την κατασκευή του κελύφους.

2.9.1.2.7 Αντιστήριξη μετώπου

Για την προστασία από μικρότερα τεμάχη βράχου στο μέτωπο αρκεί:

- η άμεση εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος
- η διαμόρφωση πυρήνα μετώπου (face buttress) στην άνω ημιδιατομή

Τα παραπάνω ενδείκνυται για προβλήματα καταπτώσεων και καταρροής υλικού και όχι παραμορφώσεων (από παρουσίαση Τεχνική Γεωλογία). Επίσης στις περιπτώσεις που κρίνεται απαραίτητο υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής αγκυρίων fiberglass (υαλόκαρφα), για την συγκράτηση τεμαχών που πιθανόν θα αστοχήσουν από το μέτωπο.



Εικόνα 2.9.1.2.7.1 Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο μέτωπο της σήραγγας Σ1 του Κάθετου άξονα της Εγνατίας Οδού «Ξάνθη-Εχίνος-Ελληνοβουλγαρικά σύνορα» (άσκηση υπαίθρου ΠΜΣ «Τεχνική Γεωλογία και Περιβάλλον», 2018)



Εικόνα 2.9.1.2.7.2 Διαμόρφωση πυρήνα αντιστήριξης στην Α' φάση της διατομής σε μέτωπο σήραγγας (πηγή: παρουσίαση Γεωργίου, 2020)



Εικόνα 2.9.1.2.7.3 Πυρήνας αντιστήριξης σχεδιασμένος στην διατομή της σήραγγας Σ1 του Κάθετου Άξονα της Εγνατίας Οδού «Ξάνθη-Εχίνος-Ελληνοβουλγαρικά Σύνορα»



Η μέθοδος ΝΑΤΜ με την συστηματική παρακολούθηση της συμπεριφοράς της σήραγγας, διαπιστώνει την επάρκεια ή όχι των μέτρων υποστήριξης και τελικής επένδυσης και την πιθανή ανάγκη για τροποποίηση αυτών ώστε να αποφευχθεί ενδεχόμενη αστοχία. Συγκεκριμένα μπορούν να μετρηθούν:

- Μετακινήσεις στα τοιχώματα της σήραγγας
- Μετακινήσεις στην περιβάλλουσα βραχόμαζα
- Μετακινήσεις στην επιφάνεια του εδάφους
- Πιέσεις

2.10 ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Οι μέθοδοι σχεδιασμού των υπόγειων έργων διακρίνονται ως:

- η μέθοδος παρατήρησης (observational method of design) που βασίζεται στην καμπύλη σύγκλισης-αποτόνωσης
- η εμπειρική μέθοδος (empirical method) που βασίζεται στα συστήματα ταξινόμησης της βραχόμαζας
- η αναλυτική μέθοδος (analytical method) που βασίζεται σε δισδιάστατες αναλύσεις με πεπερασμένα στοιχεία με τη χρήση ειδικών προγραμμάτων

Οι εμπειρικές μέθοδοι δίνουν ενδεικτικές μόνο τιμές και δεν έχουν εφαρμογή σε όλες τις περιπτώσεις, καθώς δεν λαμβάνουν υπόψη τους διαφορετικούς τρόπους εκσκαφής και δεν έχουν προσαρμοστεί στις σύγχρονες μεθόδους άμεσης υποστήριξης.

Περισσότερο ακριβής είναι η χρήση των αναλυτικών μεθόδων, δηλαδή δισδιάστατες αναλύσεις με πεπερασμένα στοιχεία σε επίπεδο κάθετο στον άξονα της σήραγγας, με τη χρήση ειδικών προγραμμάτων (π.χ. PHASES, PLAXIS, TUNNEL, SOFISTIK, κ.α.). Έτσι, υπολογίζονται οι παραμορφώσεις των τοιχωμάτων της σήραγγας για συγκεκριμένα στάδια εκσκαφής, για ορισμένη υποστήριξη, κλπ, καθώς και η έκταση της πλαστικής ζώνης περιμετρικά της σήραγγας (Κούκης & Σαμπατακάτης, 2000). Με άλλα λόγια, προσομοιάζεται η εκσκαφή, με διαστασιολόγηση τόσο της μεθοδολογίας διάνοιξης όσο και υποστήριξης της σήραγγας. Αντικείμενο της παρούσας εργασίας δεν αποτελεί η ποσοτική αξιολόγηση των μέτρων άμεσης υποστήριξης που πρέπει να εφαρμοστούν αλλά μία ποιοτική εκτίμηση αυτών, βάση του αναμενόμενου τρόπου αστοχίας της βραχόμαζας. Με άλλα λόγια, ζητούμενο είναι η «φιλοσοφία» των μέτρων άμεσης υποστήριξης ανάλογα τις συνθήκες που απαντώνται κατά μήκος της σήραγγας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΣΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Σύμφωνα με τον υδρογεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε., η σήραγγα «Πέτρα» προβάλλεται εντός των κροκαλοπαγών Τριτογενούς (cng) ενώ αμέσως πιο δυτικά, πολύ κοντά στο τεχνικό υπέρκεινται των κροκαλοπαγών η ηφαιστειοιζηματογενής σειρά (Ig). Η τελευταία είναι που αξιολογείται ότι υπάρχει στην πραγματικότητα στη θέση του τεχνικού και όχι τα κροκαλοπαγή. Αυτή, περιγράφηκε κατά το IΓΜΕ σε προηγούμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 3.1.1 Γεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής μελέτης, ψηφιοποιημένος από τον υδρογεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ

Εστιάζοντας λίγο περισσότερο στην περιοχή μελέτης, σύμφωνα δηλαδή με την γεωλογική οριζοντιογραφία στη περιοχή της παραλλαγής της χάραξης, εντοπίζονται συγκεκριμένα τα εξής από τους νεότερους στους παλαιότερους:

Με ασυμφωνία στους Τριτογενείς σχηματισμούς, επικάθονται πρόσφατοι Τεταρτογενείς σχηματισμοί, οι οποίοι συνιστούν κυρίως κορηματικά υλικά, από την έντονη διάβρωση της περιοχής, καθώς επίσης και παλαιές και σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις (κοίτης, αναβαθμίδων, κ.λπ.), χερσαίας και ποταμοχερσαίας προέλευσης. Επίσης απαντώνται κατά θέσεις σε ευρεία έκταση υλικά παλαιών και πρόσφατων κατολισθήσεων.

Αναφορικά με τους Τεταρτογενείς σχηματισμούς, αυτοί περιλαμβάνουν:

 Κορήματα (SF): Καστανότεφρου χρώματος εδαφικά υλικά, χαλαρής δομής, με αργιλοαμμώδη έως αμμοχαλικώδη σύσταση που προέρχονται από την διάβρωση των σχηματισμών του υποβάθρου.



Εικόνα 3.1.2 Κορήματα περί τη Χ.Θ. 11+800. Διακρίνεται η παρουσία υποβάθρου κάτω από τα κορήματα (εικόνα από οριστική γεωλογική μελέτη, τμήμα παραλλαγής: 70225526RGR3A001, Μαρίνος Β., 2020)

Αλλουβιακά ριπίδια (AF): Σκούρου καστανού χρώματος, χαλαρές αποθέσεις, αργιλοαμμώδους έως αμμοχαλικώδους σύστασης, ποτεμοχειμμάριας προέλευσης που καλύπτουν την ευρύτερη κοίτη των ρεμάτων της περιοχής, με την μορφή αλλουβιακού ριπιδίου.



Εικόνα 3.1.3 Άποψη του αλλουβιακού ριπιδίου στην αρχή του τμήματος της παραλλαγής της χάραξης (εικόνα από οριστική γεωλογική μελέτη, τμήμα παραλλαγής: 70225526RGR3A001, Μαρίνος Β., 2020)

- Υλικά παλαιών κατολισθήσεων (LM)
- Υλικά πρόσφατων κατολισθήσεων (LS)



Εικόνα 3.1.4 Γεώτρηση ΔΟ-23. Υλικά κατολισθήσεων στο βάθος 15.00-20.00m (Πηγή: φωτογραφία γεώτρησης από Ν. Λουκάτος & Συνεργάτες Α.Ε.Μ., 2014)

Οι Τριτογενείς σχηματισμοί περιλαμβάνουν την «Μολάσσα Ροδόπης» και θα περιγραφούν αναλυτικά σε αντίστοιχο υποκεφάλαιο, για τους σχηματισμούς που παρευρίσκονται στη στενή περιοχή του έργου:

- Ηφαιστειακοί τόφφοι (mo.it)
- Ηφαιστειακά λατυποπαγή (mo.ib)
- Ιλυόλιθοι-Ψαμμίτες (mo.sd)



Εικόνα 3.1.5 Οριζοντιογραφία του τμήματος παραλλαγής της χάραξης (τροποποιημένο χρωματικά από Αλεξιάδου, 2014). Η θέση της σήραγγας Σ2Ν περιβάλλεται με το μαύρο τετράγωνο

Στη συνέχεια, οι λιθολογίες (βραχώδεις σχηματισμοί) που ενδιαφέρουν τη στενή περιοχή του τεχνικού έργου, θα αναλυθούν περεταίρω αναφορικά με τον τρόπο σχηματισμού τους, τη σύστασή τους και γενικά των γεωλογικών χαρακτηριστικών τους, τόσο σύμφωνα με στοιχεία από τη βιβλιογραφία, όσο με στοιχεία από την Οριστική Γεωλογική Μελέτη Σηράγγων Σ1 & Σ1Ν («Δημαρίου») (Αλεξιάδου, 2014) και από την Οριστική Γεωλογική Γεωλογική Μελέτη στο τμήμα παραλλαγής της χάραξης (Μαρίνος Β., 2020).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

3.1.1. Ηφαιστειακά της στενής περιοχής του έργου

Στα πλαίσια λεπτομερούς γεωλογικής χαρτογράφησης που πραγματοποιήθηκε , σύμφωνα με την Οριστική Γεωλογική Μελέτη (Αλεξιάδου, 2014), η στενή περιοχή ενδιαφέροντος συναντάται από μία ηφαιστειοιζηματογενή σειρά. Η σειρά αυτή, όπως προαναφέρθηκε, δημιουργήθηκε κατά το Τριτογενές, μετά την Αλπική ορογένεση όταν στην περιοχή εκδηλώθηκε η ηφαιστειακή δραστηριότητα του Ολιγοκαίνου, παράλληλα με την απόθεση των μολασσικών ιζημάτων της λεκάνης της Ροδόπης και Βορείου Αιγαίου. Γενικά, είναι γνωστή με τον χαρακτηρισμό «Μολάσσα Ροδόπης».



<u>Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης</u>

Εικόνα 3.1.1.1 Γεωλογική οριζοντιογραφία κλίμακας 1:1, στην οποία διακρίνεται ο σχηματισμός της «μολάσσας» (mo) που στην θέση αυτή είναι ο ιγκνιμβρίτης, η αντίστοιχη επιφανειακά αποσαθρωμένη μολάσσα (mo.w) και κορήματα (SF).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Σύμφωνα με την μελέτη τα ηφαιστειακά υλικά της ηφαιστειοιζηματογενούς σειράς αποτελούνται από (Αλεξιάδου, 2014) όξινα πυροκλαστικά υλικά που χαρακτηρίζονται με τον όρο «ιγκνιμβρίτες» και προέρχονται από πυροκλαστικές ροές. Διακρίνονται επιμέρους σε ηφαιστειακούς τόφφους και ηφαιστειακά λατυποπαγή.

1 Τόφφοι (mo.it) που προέρχονται από συγκολλημένα πυροκλαστικά υλικά (κυρίως τέφρα και λιθάρια), διαμέτρου έως 3cm και τοπικά παρατηρούνται και βολίδες διαμέτρου της τάξης των 10-15cm. Έχουν ανοικτότεφρο χρώμα και είναι παχυστρωματώδεις με πάχος στρώσης, που κυμαίνεται από 20cm έως 100cm.



Εικόνα 3.1.1.2 Γεώτρηση Γ-24. Ηφαιστειακοί τόφφοι σε βάθος 10.00-15.00m

2. Ηφαιστειακά Λατυποπαγή (mo.ib) που προέρχονται κυρίως από συγκολλημένα πυροκλαστικά υλικά (κυρίως βολίδες), διαμέτρου από 3cm έως 30cm αλλά και τεμάχη όξινων πυροκλαστικών υλικών και γρανιτών. Έχουν ανοικτότεφρο έως τεφρό χρώμα και είναι συνήθως άστρωτα ή με σπάνια στρώση. Τα ηφαιστειακά λατυποπαγή παρεμβάλλονται ως ορίζοντες ή αποσφηνώσεις στην μάζα των τόφφων και τοπικά έχουν μεγάλο πάχος.



Εικόνα 3.1.1.3 Γεώτρηση ΔΝ-04. Ηφαιστειακά λατυποπαγή σε βάθος 20.00-24.00m

Στις γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν κοντά στη σήραγγα και με βάση τις οποίες κατασκευάστηκε η γεωλογική μηκοτομή εντοπίστηκε μόνο ιγκνιμβρίτης, δηλαδή παχυστρωματώδεις τόφφοι (συμπαγής βραχώδης σχηματισμός του μολασσικού υποβάθρου) με ορίζοντες ή φακούς (αποσφηνώσεις) ηφαιστειακών λατυποπαγών (αδρομερείς λατυποπαγείς φάσεις) που του προσδίδουν ανομοιομορφία. Ακόμη, εντοπίζεται επιφανειακά και αποσαθρωμένος μανδύας του υποβάθρου αποτελούμενος από αργιλοαμμώδους έως αμμοχαλικώδους σύστασης υλικά, πάχους 1-4m περίπου. Ο αποσαθρωμένος αυτός μανδύας, φαίνεται στην οριζοντιογραφία να καταλαμβάνει μόνο ένα τμήμα της χάραξης. Στην πραγματικότητα αξιολογείται ότι βρίσκεται επιφανειακά κατά μήκος όλης της σήραγγας, σε ποικίλα πάχη, σύμφωνα με τα ευρήματα των γεωτρήσεων, όπως θα αναλυθεί σε επόμενα υποκεφάλαια.

3.2 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

3.2.1. Ασυνέχεια του ρήγματος

Στην οριστική γεωλογική μελέτη για το τμήμα παραλλαγής της χάραξης αναφέρεται ότι «η περιοχή διέλευσης της σήραγγας χαρακτηρίζεται από ρηγματογόνο τεκτονισμό, αλλά με περιορισμένης σημασίας τεκτονικές δομές».

Από την παρατήρηση της γεωλογικής οριζοντιογραφίας, στην στενή περιοχή του έργου εντοπίζεται ρηξιγενής ζώνη (ορατή) η οποία τέμνει διαγωνίως την σήραγγα

στην περιοχή του στομίου εξόδου. Πρόκειται για ένα κανονικό (δευτερογενές) συνιζηματογενές ρήγμα, τοπικού χαρακτήρα. Από τέτοιου είδους ρήγματα χαρακτηρίζονται οι μολασσικές λεκάνες, αλλά δεν αναμένονται να εκτείνονται σε μεγάλο μήκος, θεωρούνται γενικά ανενεργές και δεν αποτελούν σημαντική απειλή για το υπόγειο (Αλεξιάδου, 2014).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 3.2.1.1 Γεωλογικός χάρτης στενής περιοχής μελέτηςμε αποτύπωση του ρήγματος

Το ίχνος του ρήγματος φαίνεται ότι εμφανίζει μία ανοικτή καμπύλωση στην περιοχή του αντερείσματος κοντά στο στόμιο εξόδου. Έτσι λοιπόν, σύμφωνα με τον κανόνα των αντερεισμάτων, το ίχνος του ρήγματος «κόβει» αντίρροπα τις τοπογραφικές ισοϋψείς. Αυτό σημαίνει ότι κλίνει προς την κατεύθυνση της μορφολογικής κλίσης (προς τα BA έως ABA).

Με βάση την καμπύλωση που σχηματίζει το ίχνος του ρήγματος και σύμφωνα με τον κανόνα των αντερεισμάτων, μπορεί να προσδιοριστεί η διεύθυνση κλίσης και η γωνία κλίσης του ρήγματος με ικανοποιητικό τρόπο. Στο ακόλουθο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία με την οποία κατασκευάστηκε η γεωλογική μηκοτομή και η διαδικασίες υπολογισμού των κλίσεων των σχηματισμών και του ρήγματος. Για το τελευταίο, αρχικά οι υπολογισμοί γίνονται μόνο με βάση τα στοιχεία της γεωλογικής οριζοντιογραφίας και έπειτα σύμφωνα με μετρήσεις στο πεδίο, ώστε να διαπιστωθούν τυχόν αποκλίσεις ή συγκλίσεις τους.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Συγκεκριμένα, προέκυψε ότι η κλίση του το ρήγματος στην περιοχή του στομίου εξόδου είναι σχεδόν σταθερή, σύμφωνα με τις ισοδομικές γραμμές που χαράχτηκαν (μέση κλίση ~50°), που βέβαια έχει υπολογισθεί γεωμετρικά από τον γεωλογικό χάρτη. Νοτιοανατολικότερα, λόγω απεικόνισης του ρήγματος με διακεκομμένες γραμμές, χαρακτηρίζεται ως πιθανό.



Εικόνα 3.2.1.2 Σχηματική απεικόνιση της γεωμετρίας του ρήγματος σε σχέση με την σήραγγα «Πέτρα»

Από την άλλη, σύμφωνα με τις ακριβείς μετρήσεις των στοιχείων (γεωμετρία) του ρήγματος στο πεδίο, και πληροφορίες που συλλέχθηκαν έπειτα από επιτόπου παρατηρήσεις (από Μαρίνο Β., 2020), παραθέτονται τα παρακάτω χαρακτηριστικά του:

Αποτελεί ζώνη μεγαλύτερης διατάραξης σε σχέση με το περιβάλλον πέτρωμα, χωρίς όμως να είναι εξαιρετικά κερματισμένη. Συνεπώς δεν αναμένεται να παρουσιαστεί κάποια εκτεταμένη κατάπτωση τύπου καμινάδας, αλλά ο μηχανισμός αστοχίας είναι πιθανότερο να δώσει κάποια κινηματικού τύπου αστοχία (π.χ. σφήνα). Χαρακτηριστική είναι η εμφάνιση μεγάλου καθρέπτη στο ρήγμα, η μεγάλη του εμμονή και η σημαντική επιπέδωση που παρουσιάζει. Για το λόγο αυτό, όπως προαναφέρθηκε, οι κινηματικού τύπου αστοχίες είναι περισσότερο αναμενόμενες. Η κλίση του υπολογίστηκε με την πυξίδα, περίπου 59°. Στην Οριστική Γεωλογική Μελέτη στο τμήμα παραλλαγής XΘ.11+420 έως 13+904, αναφέρεται επίσης ότι «σε επιτόπου παρατηρήσεις διαπιστώθηκε η ύπαρξη κινηματικών δεικτών (γράμμωση ολίσθησης) επί της επιφάνειας».



Εικόνα 3.2.1.3 Αριστερά: Άποψη του ρήγματος στην περιοχή του βορείου στομίου της σήραγγας. Δεξιά: Λεπτομέρεια του ρήγματος στην περιοχή του βορείου στομίου της σήραγγας, όπου φαίνονται και οι γραμμώσεις ολίσθησης (πηγή φωτογραφιών: Οριστική Γεωλογική Μελέτη στο τμήμα παραλλαγής) (Μαρίνος Β., 2020)

3.2.2. Λοιπές ασυνέχειες

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Αναφορικά με τις υπόλοιπες ασυνέχειες του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη, αυτές αναμένεται να κατέχουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο τόσο στην ευστάθεια κατά μήκος του υπόγειου έργου όσο και στα πρανή των στομίων, στην δημιουργία δευτερογενούς πορώδους στο πέτρωμα και στην συνολική αντοχή και ποιότητα της βραχόμαζας.

Είναι αναμενόμενη η ύπαρξη κυρίως ασυνεχειών στρώσης (B) εντός του ιγκνιμβρίτη όπως και άλλων οικογενειών ασυνεχειών (διακλάσεις ανοικτές ή κλειστές), πέραν του ρήγματος που προαναφέρθηκε. Σύμφωνα με την μελέτη από Αλεξιάδου (2014), η στρώση είναι παρούσα κατά βάση στη λιθολογία των τόφφων του ιγκνιμβρίτη και σπανιότερα έως καθόλου απαντάται στα ηφαιστειακά

λατυποπαγή. Ειδική αναφορά θα γίνει σε επόμενο κεφάλαιο, λαμβάνοντας υπόψη τα Τεκτονικά Διαγράμματα (νεότερα και παλαιότερα) της στενής περιοχής.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Αξίζει παρ' όλα αυτά να αναφερθεί εδώ η αιτία της παρουσίας ασυνεχειών στον ιγκνιμβρίτη και ο τρόπος δημιουργίας τους. Η ασυνέχεια της στρώσης (B) είναι δομικό στοιχείο εκ γενετής του πετρώματος, δηλαδή έχει να κάνει με τον τρόπο που αυτό αποτίθεται στην λεκάνη (στρωμένος) και έπειτα λιθοποιείται, μιας και ανήκει στα ηφαιστειοκλαστικά ιζήματα. Όταν λοιπόν βρεθεί στην επιφάνεια, λόγω της αποσυμπίεσης του πετρώματος από τα υπερκείμενά του, οι αρχικά «ραμμένες» ασυνέχειες της στρώσης αποσυμφορούνται και «εκφράζονται». Αντίθετα, σε μεγαλύτερα βάθη (π.χ. περίπου από τα 10-15m), λόγω του περιορισμού-περίσφιγξης της βραχόμαζας και της ήρεμης τεκτονικής εξέλιξης, οι ασυνέχειες εμφανίζονται κλειστές («ραμμένες») και η βραχόμαζα είναι περισσότερο μαζώδης, συνεχής, συμπαγής, χωρίς να ευνοείται ο αποχωρισμός σε στρώση με λανθάνοντα χαρακτήρα. Τοπικά μόνο, η μολασσική βραχόμαζα μπορεί να είναι τεκτονικά καταπονημένη από συνιζηματογενείς ρηξιγενείς ζώνες (Μαρίνος, 2007).

Η στρώση αναμένεται να παρουσιάζει μεγάλη εμμονή και συνέχεια στον χώρο. Καθώς οι ιγκνιμβρίτες συγκεντρώνονται σε λεκάνη, οι ασυνέχειες στρώσης είναι σχεδόν οριζόντιες, με μικρή γωνία κλίσης. Σπάνια παρατηρούνται κλίσεις της τάξης των 30° και μεγαλύτερες. Η διεύθυνσή της στην στενή περιοχή είναι περίπου Βορειοδυτική.



Εικόνα 3.2.2.1 Η μολασσική βραχόμαζα στην περιοχή εκσκαφής της σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα»). Με κίτρινη διακεκομμένη χαράσσεται η ασυνέχεια της στρώσης όπως διακρίνεται επιφανειακά και με βέλος η διεύθυνση κλίσης της στην τρίτη διάσταση (ΒΔ), δηλαδή σχεδόν κάθετα στην κατά μήκος έκταση του αντερείσματος ή αλλιώς από τον αναγνώστη προς την εικόνα (Μαρίνος Β., 2020)

Από την άλλη, οι διακλάσεις (J), δηλαδή ο περεταίρω κερματισμός του πετρώματος, δημιουργείται είτε λόγω τεκτονικής καταπόνησης αυτού, με τις κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών, είτε σχηματίζονται εκ γενετής, κατά την ψύξη και συμπαγοποίηση της μάζας.

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο η μολάσσα αποτελεί σχηματισμό που δεν έχει υποστεί σημαντική συμπίεση, διάτμηση και γενικά τεκτονική διατάραξη. Επομένως τα συστήματα διακλάσεων που αναμένονται, θα είναι λίγα σε αριθμό και χωρίς ιδιαίτερη εμμονή και συνέχεια στον χώρο. Επίσης δύναται να είναι παρακατακόρυφες και σε συνδυασμό με τις προαναφερθείσες υπόοριζόντιες (στρώση) δημιουργούν «blocks» και τεμαχώδη δομή στη βραχόμαζα όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 3.2.2.2 Εικόνα από το πεδίο της περιοχής μελέτης (άσκηση υπαίθρου ΠΜΣ «Τεχνική Γεωλογία και Περιβάλλον», 2018). Διακρίνεται η στρώση (κίτρινο) και δύο συστήματα διακλάσεων (π.χ. J1 και J2) που συνθέτουν μία σφήνα

3.2.3. Τεκτονικά Διαγράμματα

Κοντά στη σήραγγα λήφθηκαν μετρήσεις ασυνεχειών και παράχθηκαν Τεκτονικά Διαγράμματα, από το ειδικό επιστημονικό προσωπικό του έργου. Αυτά είναι τα: ΤΔ-Γ4.1, ΤΔ-Γ4.2, ΤΔ22, ΤΔ-8, ΤΔ-Γ5.1, από νότια προς βόρεια. Όλα σχεδόν λήφθηκαν κατά τη φάση παλαιότερων μελετών (από Παράρτημα V.B. της μελέτης, Αλεξιάδου, 2014) από Μουρτζάς Ν. (1999), ενώ το ΤΔ-8 κατά τη φάση νεώτερων μελετών του 2014 (από Παράρτημα V.A. της μελέτης, Αλεξιάδου, 2014).

Στα δεδομένα των παλαιότερων Τεκτονικών Διαγραμμάτων δεν συμπεριλαμβάνονται στοιχεία των ασυνεχειών όπως το μήκος τους, η κατάστασή τους και το είδος τους, παρά μόνο τα διαγράμματα Schmidt με τις οικογένειες ασυνεχειών και τα γεωμετρικά στοιχεία κλίσης και διεύθυνσης κλίσης. Αυτές λήφθηκαν απευθείας για την εφαρμογή τους στα διάφορα προγράμματα (π.χ. Dips). Βέβαια, το είδος ασυνέχειας που αντιστοιχεί σε κάθε ζεύγος τιμών (κλίση/διεύθυνση κλίσης), διαπιστώθηκε σύμφωνα με την γεωλογική λογική, δηλαδή ότι η στρώση (B) είναι εκείνο το σύστημα που έχει την μικρότερη κλίση και ότι οι υπόλοιπες οικογένειες αντιστοιχούν σε διακλάσεις (J).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Ακόμη πιο πρόσφατα και ακριβή στοιχεία για τις ασυνέχειες της στενής περιοχής του έργου, προέκυψαν από την συμπλήρωση επιπρόσθετων Τεκτονικών Διαγραμμάτων (ΤΔ_Σ2Ν_Β και ΤΔ_Σ2Ν_Ν) στα πλαίσια της Οριστικής Γεωλογικής Μελέτης στο τμήμα παραλλαγής της χάραξης. Οι θέσεις αυτών αντιστοιχούν σε τοποθεσίες επί της νέας χάραξης του οδικού δικτύου, σε αντίθεση με τα παλαιότερα Τεκτονικά Διαγράμματα (2014 και πριν) των οποίων η θέση επιλέχθηκε βάση της παλαιάς χάραξης. Σε αυτά παρέχονται επίσης πληροφορίες για την γεωμετρία του ρήγματος που τέμνει την σήραγγα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, εξάχθηκαν από τη γράφουσα οι οικογένειες ασυνεχειών μέσω του προγράμματος Dips της Rocscience, καθώς τα δεδομένα περιλάμβαναν μόνο τις πρωταρχικές μετρήσεις στο πεδίο.

3.3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ

Στην σήραγγα «Πέτρα», με βάση τις εκτελεσθείσες ερευνητικές γεωτρήσεις σε θέσεις κοντά στην χάραξη, έγινε σαφές ότι απαντώνται οι παρακάτω εδαφικοί και βραχώδεις σχηματισμοί από τους νεώτερους προς τους παλαιότερους:

- A. Τεχνητές επιχώσεις πάχους 40cm περίπου (κατά τόπους)
- B. Μανδύας αποσάθρωσης του μολασσικού υποβάθρου (Τεταρτογενές) ή αλλιώς «ζώνη αποσάθρωσης» (mo.w) όπως αναφέρεται από την γεωλογική χαρτογράφηση της στενής περιοχής.

Απαντάται στα πρώτα εκατοστά έως και 4-5m περίπου από την επιφάνεια και αποτελείται από άμμο άργιλο και χαλίκια. Συγκεκριμένα εντοπίζονται, με βάση τις περιγραφές στα μητρώα των γεωτρήσεων, αργιλώδης άμμος με χαλίκια (SC), αμμώδης άργιλος (CL) και αργιλώδεις χάλικες με άμμο.

C. Ιγκνιμβρίτης (Τριτογενές), ο οποίος διακρίνεται στις δύο επιμέρους λιθολογίες των ηφαιστειακών τόφφων και ηφαιστειακών λατυποπαγών, όπως περιγράφηκαν παραπάνω. Μολάσσα (εναλλαγές ψαμμίτη με ιλυόλιθο-μάργα), δεν απαντάται στο

3.3.1 Κατασκευή γεωλογικής μηκοτομής

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

εσωτερικό της σήραγγας.

Η γεωλογική μηκοτομή θα κατασκευαστεί από τις γεωτρήσεις που βρίσκονται εκατέρωθεν της χάραξης της σήραγγας και μπορούν να προβληθούν κάθετα πάνω σε αυτήν (Γ-26, ΔΟ-28, Γ-27, ΔΤ-40, Γ-28Α ΔΝΤ-12). Θα σχεδιαστούν επί της μηκοτομής σε εκείνη ακριβώς τη θέση που προβάλλονται κάθετα, ενώ το υψόμετρό τους θα ληφθεί από τις ισοϋψείς στη γεωλογική οριζοντιογραφία αλλά και από την Ζ συνιστώσα που αναγράφεται στα αντίστοιχα μητρώα.

Η σημειακή πληροφορία των γεωτρήσεων θα μετατραπεί στη συνέχεια σε πληροφορία στο δισδιάστατο επίπεδο (2D), με βάση την γεωλογική πληροφορία που συλλέχθηκε για την περιοχή, τόσο από την βιβλιογραφία, από τη γεωλογική οριζοντιογραφία και όσο και από τις αναφορές στις αντίστοιχες μελέτες. Ο επόμενος χάρτης της σήραγγας «Πέτρα», αποτυπώνει τη γεωλογική οριζοντιογραφία της, τροποποιημένος χρωματικά από τη γράφουσα, από Αλεξιάδου (2014).



γεωτρήσεων εκατέρωθεν της σήραγγας «Πέτρα»

Α Η γεωλογική οριζοντιογραφία δίνει λεπτομερείς πληροφορίες για την κλίση των γεωλογικών στρωμάτων, για την έκταση της περιοχής στην οποία εμφανίζεται ο μανδύας αποσάθρωσης, για την θέση και τα γεωμετρικά στοιχεία των τεκτονικών δομών (ρήγμα), τα υψομετρικά στοιχεία, την σχετική θέση του τεχνικού, κ.λπ.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

μήμα Γεωλογίας

Από την παρατήρησή της αντλούνται τα παρακάτω στοιχεία και εξάγονται συμπεράσματα. Επαφές μεταξύ γεωλογικών στρωμάτων δεν χαρτογραφήθηκαν στην επιφάνεια και η λιθολογία εξ ολοκλήρου αναφέρεται ως «Μολάσσα Ροδόπης» (mo), τμήμα της οποίας απαντάται αποσαθρωμένο (mo.w) και καλύπτει ένα μέρος της χάραξης. Το γεγονός της επιφανειακής αποσάθρωσης περίπου στη μισή της συνολικής έκτασης της σήραγγας, δεν αναμένεται να επηρεάσει το υπόγειο, παρά μόνο ενδεχομένως στο στόμιο εξόδου οπού τα υπερκείμενα είναι χαμηλά. Παρ' όλα αυτά είναι πιθανότερο να απομακρυνθεί κατά την εκσκαφή.

Επίσης επισημαίνεται ότι, λόγω του γεγονότος ότι η χάραξη δεν τέμνει κάθετα τις διευθύνσεις των στρωμάτων αλλά υπό γωνία, πρέπει να υπολογιστούν οι φαινόμενες γωνίες κλίσεων (α) της στρώσης. Αυτές θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για την κατασκευή της μηκοτομής, προκειμένου να απεικονιστούν με ορθό τρόπο οι κλίσεις των στρωμάτων, δηλαδή ανάλογα την διεύθυνση της χάραξης. Ουσιαστικά, το πώς «κόβει» η σήραγγα την στρώση και συνεπώς το πώς φαίνεται η τελευταία στην τομή.

α/α	Χ. Θ. μέτρησης της κλίσης των στρωμάτων	Πραγματική Γωνία Κλίσης (δ)	Φαινόμενη Γωνία Κλίσης (α)
1	12+817	16°	7.2°
2	12+862	20°	11.2°
3	12+930	30°	20°
4	12+960	24°	17.2°
5	12+956	11°	10°
6*	12+951	18°	15°

Πίνακας 3.3.1 Υπολογισμοί της φαινόμενης γωνίας κλίσης της στρώσης στη μηκοτομή * αυτή η γωνία κλίσης προέκυψε από τον μέσο όρο των γωνιών κλίσεων των 24° και 11°, με τη μέση παράταξη των προαναφερθέντων, καθώς η μία αποτελεί συνέχεια της άλλης και στη σήραγγα απαντάται, με βάση τη γεωλογική λογική, μία ενδιάμεση κατάσταση παράταξης και γωνίας κλίσης. Αντί λοιπόν για τις μετρήσεις 4 και 5, θα χρησιμοποιηθεί στην μηκοτομή, σε μία ενδιάμεση θέση, η μέτρηση 6. Επιπρόσθετα, πρέπει να διευκρινιστεί ότι οι ορίζοντες ή φακοί λατυποπαγών (εντός των τόφφων) που απαντήθηκαν στις γεωτρήσεις, θα σχεδιαστούν σε τέτοιο «ύψος» στην μηκοτομή, που προέκυψε με βάση την κλίση των στρωμάτων που δίνεται στην γεωλογική οριζοντιογραφία, την κάθετη απόσταση μεταξύ γεώτρησης – μηκοτομής, του υψομέτρου Z της γεώτρησης και του αντίστοιχου απόλυτου υψομέτρου της θέσης προβολής της γεώτρησης στην επιφάνεια. Αυτό συμβαίνει γιατί καμία από τις γεωτρήσεις δεν τοποθετείται ακριβώς πάνω στη χάραξη αλλά σε διαφορετικό υψόμετρο και προβάλλονται κάθετα σε αυτήν, ενώ παράλληλα τα στρώματα δεν είναι οριζόντια αλλά ελαφρώς κεκλιμένα. Συνεπώς, ένας λατυποπαγής ορίζοντας που απαντάται σε X βάθος γεώτρησης, θα προβάλλεται στη σήραγγα σε X±Y βάθος από την επιφάνεια, λόγω κλίσης των στρωμάτων.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Συγκεκριμένα εφαρμόζεται το Πυθαγόρειο Θεώρημα για το τρίγωνο που έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά του πίνακα, ενώ στην τελευταία στήλη παρουσιάζεται η διαφορά στο υψόμετρο (σε σχέση με την πραγματική τους θέση στην γεώτρηση) με την οποία σχεδιάστηκαν οι φακοί-ορίζοντες των λατυποπαγών.

	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΡΙΓΩΝΟΥ			
	Οριζόντια απόσταση	Κλίση οξείας (μικρότερης) γωνίας	Υψομετρική διαφορά	
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Η απόσταση γεώτρησης- μηκοτομής	Η φαινόμενη γωνία (α) στην περιοχή που τα στρώματα κλίνουν με (δ) γωνία πραγματικά	Το πόσο πιο χαμηλά ή ψηλά σε βάθος, πάνω στην τομή, απαντώνται τα στρώματα της γεώτρησης	
Г-26	9m	7.2°	1.14 m πιο ψηλά	
ΔΟ-28	22m	11.2°	4.36m πιο χαμηλά	
Г-27	48m	20°	17.5m πιο χαμηλά	
ΔΤ-40	18m	10°	3.17m πιο χαμηλά	
<u>Г-2</u> 8А	40m	10°	7.05m πιο χαμηλά	
ΔNT-12	8m	15°	2.14m πιο χαμηλά	

Πίνακας 3.3.2 Στοιχεία τριγώνου για τον υπολογισμό της υψομετρικής διαφοράς των στρωμάτων στη μηκοτομή (σε σχέση με την θέση τους στη γεώτρηση)

Αν λοιπόν η γεώτρηση βρισκόταν σε θέση ανάντη της χάραξης, με την κλίση των στρωμάτων να είναι προς ανάντη επίσης, τότε τα στρώματα στη χάραξη θα εμφανίζονται σε μικρότερο βάθος (πιο ψηλά). Αντίθετα αν η γεώτρηση βρισκόταν σε θέση κατάντη της χάραξης με την κλίση των στρωμάτων να είναι προς τα ανάντη, τότε στη σήραγγα τα στρώματα εμφανίζονται σε μεγαλύτερο βάθος (πιο χαμηλά).

Από την XΘ 12+860 περίπου και βορειότερα, μέχρι δηλαδή και το τέλος της σήραγγας (στόμιο εξόδου), εντοπίζεται από την γεωλογική οριζοντιογραφία, επιφανειακά, μία «ζώνη αποσάθρωσης» του μολασσικού υποβάθρου (ιγκνιμβρίτη) όπως χαρακτηρίζεται (mo.w). Από την παρατήρηση σε βάθος των γεωτρήσεων, προκύπτει ότι η συγκεκριμένη ζώνη αποτελείται από ανοικτοκάστανου έως καστανού χρώματος «αργιλώδη AMMO με χαλίκια» (SC) μέσης έως πολύ πυκνής απόθεσης, με πάχος1-4m περίπου, υπό της επιφάνειας. Το πάχος τους μπορεί να διαφέρει σε οριζόντια απόσταση ακόμα και λίγων μέτρων και αυτό δεν μπορεί να υπολογιστεί με ακρίβεια, από τις υπάρχουσες γεωτρήσεις, ακριβώς στη θέση της χάραξης. Για τον λόγο αυτό σχεδιάστηκε ο εν λόγω μανδύας με ένα ενδεικτικό πάχος στην μηκοτομή. Εξάλλου δεν διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην κατασκευή του τεχνικού. Οι γεωτρήσεις στις οποίες απαντάται ο συγκεκριμένος επιφανειακός ορίζοντας είναι οι Γ-27, ΔΤ-40, ΔΝΤ-12. Η γεώτρηση Γ-28Α που σύμφωνα με την οριζοντιογραφία, απαντάται μέσα στην εν λόγω επιφανειακή ζώνη αποσάθρωσης, εμφανίζει μόνο στα πρώτα 0.4m τεχνητές επιχώσεις.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Από την XΘ 12+860 και νοτιότερα, με βάση την γεωλογική οριζοντιογραφία δεν συναντάται η «ζώνη αποσάθρωσης», παρ' όλα αυτά εντοπίζεται στα πρώτα μέτρα των γεωτρήσεων ΔΟ-28 και Γ-26, «αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ (CL)» πάχους ~5m και «αργιλώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο» πάχους ~1-2m, αντίστοιχα. Η αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ (CL) είναι καστανού χρώματος, πολύ συνεκτική έως σκληρή, χαμηλής έως μέσης πλαστιμότητας, ενώ οι αργιλώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο είναι καστανού χρώματος, κακώς διαβαθμισμένοι, με χάλικες υπογωνιώδεις, ρυολιθικής-ρυοδακιτικής σύστασης, μεγέθους έως 5cm. Πρακτικά αυτοί οι πρόσφατοι εδαφικοί σχηματισμοί, μπορεί να χαρακτηριστούν και ως «Ελουβιακός μανδύας», δηλαδή είναι ο «εδαφικός μανδύας αποσάθρωσης των σχηματισμών του μολασσικού υποβάθρου» ή και ως κορήματα, δηλαδή «χαλαρής δομής εδαφικά υλικά αμμώδους έως αμμοχαλικώδους σύστασης, που προέρχονται από τη διάβρωση των σχηματισμών του υποβάθρου» (Αλεξιάδου, 2014).

Ακολουθεί η γεωλογική μηκοτομή, όπως κατασκευάστηκε στο AutoCAD, με την αντίστοιχη θέση της τομής (A-A') επί της γεωλογικής οριζοντιογραφίας. Όσον αφορά το ρήγμα της μηκοτομής, θα γίνει στη συνέχεια ειδική αναφορά για την αιτιολόγηση της τοποθέτησής του στη συγκεκριμένη θέση και κλίση.



Εικόνα 3.3.1.2 Γεωλογικός χάρτης στενής περιοχής μελέτης με την θέση της μητοτομής Α-Α'



Εικόνα 3.3.1.3 Γεωλογική μηκοτομή Α-Α' της σήραγγας «Πέτρα»

Η σχεδίαση των γεωλογικών στοιχείων της μηκοτομής πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την θέση τους στις γεωτρήσεις, τις κλίσεις που δόθηκαν στη γεωλογική οριζοντιογραφία αλλά και με βάση τη γεωλογική λογική, καθώς οι θέσεις των γεωτρήσεων ήταν είτε απομακρυσμένες από την χάραξη είτε σε μεγάλη απόσταση που δεν επέτρεπε τον συσχετισμό τους. Επομένως, εν μέρει αποτελεί μία ενδεικτική μηκοτομή της γεωλογίας της στενής περιοχής μελέτης.

Σε όλο το μήκος της σήραγγας απαντώνται εναλλαγές ηφαιστειακών τόφφων και ηφαιστειακών λατυποπαγών, στρωμένων, με επικράτηση των πρώτων. Η κλίση της στρώσης είναι μικρότερη κοντά στο στόμιο εισόδου (15-20°) και αυξάνεται ελαφρώς προς το στόμιο εξόδου (25-30°). Η αριστερή παρειά του στομίου «κόβεται» από το ρήγμα, το οποίο κλίνει προς τα BA-ABA.

3.3.1.1. Ρήγμα στην μηκοτομή

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Α.Π.Θ

Όσον αφορά το ρήγμα που παρουσιάζεται κοντά στο στόμιο εξόδου (βόρειο στόμιο) της σήραγγας, χαράχτηκαν ισοδομικές γραμμές (ΙΣΔΓ) ανά 5m ύψους και ειδικότερα οι ΙΣΔΓ των 1065m, 1060m, 1055m, 1050m, 1045m και 1040m. Αυτές, κατέστη δυνατό να χαραχτούν σε όλη σχεδόν την επιφανειακό ίχνος του ρήγματος και περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, εκείνο το τμήμα του που διατρέχει την σήραγγα, όντας συνεπώς αντιπροσωπευτικές για την εξαγωγή της γεωμετρίας του ακόμη και στη θέση τομής του με τη σήραγγα.

Έγινε αντιληπτό, όπως φαίνεται και από το παρακάτω σχήμα ότι οι ΙΣΔΓ δεν είναι απόλυτα παράλληλες μεταξύ τους. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε δύο λόγους. Ο πρώτος είναι η απουσία ακρίβειας στις ισοϋψείς γραμμές, δηλαδή το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή τους να μην είναι απόλυτα ακριβές. Ο δεύτερος λόγος είναι κάποια ενδεχόμενη ανωμαλία στην κατοπτρική επιφάνεια του ρήγματος που πιθανόν να οδηγεί σε μικρές μεταβολές στην διεύθυνση και την κλίση του. Στην τελευταία περίπτωση θεωρείται ότι ικανοποιείται η συνθήκη της απόλυτης ορθότητας των ισοϋψών του χάρτη.

Παρ' όλα αυτά σε γενικές γραμμές ακολουθούν όλες, περίπου την ίδια κλίση και διεύθυνση κλίσης, με ολιγοσήμαντες αποκλίσεις και για το λόγο αυτό, κρίνεται ορθό να υπολογισθούν ενιαία γεωμετρικά χαρακτηριστικά για όλο το ρήγμα.



Εικόνα 3.3.1.1.1 Γεωλογικός χάρτης στενής περιοχής μελέτης με αποτύπωση των ισοδομικών γραμμών (ΙΣΔΓ) με σκούρο μπλέ χρώμα, του επιπέδου του ρήγματος

Οι υπολογισμοί των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του ρήγματος στη συγκεκριμένη περίπτωση πραγματοποιούνται με την μέθοδο των Ισοδομικών Γραμμών με βάση τον διαθέσιμο γεωλογικό χάρτη και το χαρτογραφούμενο ίχνος του ρήγματος. Εκτός από την παραπάνω μέθοδο, υπάρχει επίσης διαθέσιμη η απευθείας μέτρηση της κλίσης και διεύθυνσης κλίσης της κατοπτρικής επιφάνειας του ρήγματος στο πεδίο, όπως σημειώθηκε στο αντίστοιχο Τεκτονικό Διάγραμμα (TΔ_Σ2N_B) από Μαρίνο B. (2020). Οι εν λόγω μετρήσεις ήταν δύο (2) για το συγκεκριμένο επίπεδο, με πολύ κοντινές τιμές και επομένως με το πρόγραμμα Dips της Rocscience εξάχθηκαν οι αντιπροσωπευτικές τιμές της γεωμετρίας του.

Τέλος επιλέχτηκε να πραγματοποιηθεί υπολογισμός της κλίσης και διεύθυνσης κλίσης του ρήγματος και με τους δύο τρόπους, δηλαδή τόσο με βάση το χαρτογραφούμενο ίχνος του, όσο και με βάση τις επιτόπου μετρήσεις του με την πυξίδα στο πεδίο, με σκοπό την «διασταύρωση» των αποτελεσμάτων τους.



Σύμφωνα με τον κανόνα των αντερεισμάτων, στις περιπτώσεις που το ίχνος της επαφής (εδώ επιφάνεια του ρήγματος) στον γεωλογικό χάρτη διέρχεται εγκάρσια από ένα αντέρεισμα, αυτό εμφανίζεται καμπύλο όταν η επιφάνεια είναι κεκλιμένη ή οριζόντια. Όταν η καμπύλωση γίνεται μικρότερη, σημαίνει ότι αυξάνει η κλίση της επιφάνειας (Τρανός, 2011). Στη συγκεκριμένη περίπτωση, όπως φαίνεται και από τον παρακάτω γεωλογικό χάρτη, το ίχνος του ρήγματος «κόβει» αντίρροπα τις τοπογραφικές ισοϋψείς. Αυτό σημαίνει ότι, ανεξάρτητα από το πόσο «ανοικτό» η «κλειστό» είναι το ίχνος του, κλίνει προς την κατεύθυνση της μορφολογικής κλίσης.



Εικόνα 3.3.1.1.1 Γεωλογικός χάρτης στενής περιοχής μελέτης. Τονίζονται με πορτοκαλί χρώμα οι ισοϋψείς γραμμές του αντερείσματος οι οποίες κόβονται αντίρροπα από το ίχνος του ρήγματος. Επίσης με βέλος υποδεικνύεται η φορά βύθισης του επιπέδου του ρήγματος.

Η κλίση κοντά στο στόμιο εξόδου, βυθίζεται προς τα BA έως ABA. Επομένως, το ρήγμα κλίνει προς τα κατάντη, δηλαδή προς τον κλάδο του ρέματος που διασχίζει κάθετα τη νέα χάραξη, βόρεια του στομίου εξόδου. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την αλληλουχία που παρατηρείται στις ΙΣΔΓ, καθώς όσο κινείται κανείς προς τα BA-ABA (κάθετα στην παράταξη του ρήγματος) η τιμή των ισοδομικών γραμμών ελαττώνεται από τα 1065m προς τα 1040m, δηλώνοντας την βύθιση της εν λόγω επιφάνειας προς την κατεύθυνση αυτή.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Μετρώντας την γωνία βύθισης της επιφάνειας στο AutoCAD, δηλαδή την γωνία που σχηματίζει με τον Βορρά η φορά βύθισης της επιφάνειας, η αλλιώς η κάθετη ευθεία στην διεύθυνση των ισοδομικών γραμμών (προς τα κατάντη), προκύπτει ότι το γεωμετρικό στοιχείο της διεύθυνσης κλίσης (dip direction) είναι ίσο με 059°. Η παρούσα τιμή αποτελεί μία ζυγισμένη τιμή μεταξύ αυτών των διευθύνσεων κλίσεων που προέκυψαν από την μέτρησή της σε κάθε μία ισοδομική γραμμή ξεχωριστά, καθώς, όπως προαναφέρθηκε, οι ΙΣΔΓ δεν παρουσιάζουν απόλυτο παραλληλισμό μεταξύ τους.

Στη συνέχεια υπολογίστηκε από τις ΙΣΔΓ η πραγματική γωνία κλίσης του ρήγματος (δ), καθώς και η φαινόμενη γωνία κλίσης (α) δηλαδή αυτή που φαίνεται ότι σχηματίζει το ρήγμα στη γεωλογική μηκοτομή, καθώς η τελευταία δεν χαράσσεται κάθετα στο ρήγμα αλλά υπό μικρότερη γωνία. Οι υπολογισμοί φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Στην πρώτη στήλη παραθέτονται οι ΙΣΔΓ μεταξύ των οποίων πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός της πραγματικής γωνίας κλίσης (δ) του ρήγματος. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η απόστασή τους είναι ανά 5m.

Μέση ζυγισμένη τιμή όλων των	Χ. Θ. σημείου τομής του ρήγματος με την μηκοτομή	Πραγματική Γωνία Κλίσης (δ)	Φαινόμενη Γωνία Κλίσης (α)
Ισοδομικών Γραμμών	12+938	50°	24°

Συνεπώς η γεωμετρία του, όπως προκύπτει από την γεωλογική οριζοντιογραφία, ορίζεται ως: κλίση/διεύθυνση κλίσης = 50°/059°. Τόσο από την κλίση, όσο και από τον συμβολισμό του ρήγματος στη γεωλογική οριζοντιογραφία, συμπεραίνεται ότι το ρήγμα είναι εκτατικό (κανονικό), μεγάλης (60-80°) έως ενδιάμεσης (30-60°) γωνίας κλίσης.

Λόγω του γεγονότος ότι η μηκοτομή σχηματίζει πολύ μικρή γωνία με το επίπεδο του ρήγματος το οποίο εκφράζεται μέσω της διεύθυνσης των ΙΣΔΓ (β=22°), η γωνία με την οποία σχεδιάζεται το ρήγμα στην μηκοτομή (α=24°), είναι πολύ μικρότερη από αυτή που προέκυψε ότι έχει πραγματικά (δ=50°). Θα θεωρηθεί ότι το

ρήγμα διατηρεί την κλίση του σε όλη του την έκταση. Αυτό που αποτελεί άγνωστη παράμετρο είναι το βάθος μέχρι το οποίο εκτείνεται. Ο τρόπος με τον οποίο το ρήγμα «κόβει» την σήραγγα προβάλλεται στην γεωλογική μηκοτομή αλλά και στις εγκάρσιες διατομές που παραθέτονται σε επόμενο κεφάλαιο.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Από την παρατήρηση της γεωλογικής οριζοντιογραφίας, συμπεραίνεται ότι, ενδεχομένως να απαντάται η επιφάνειά του και στις κατάντη του ίχνους του γεωτρήσεις, δηλαδή τις Γ-27, Γ-28Α, ΔΤ-40, ΔΝΤ-12. Ειδικότερα, μετά από γεωμετρικούς υπολογισμούς, σύμφωνα με την κλίση του ρήγματος (59°) και την υψομετρική θέση των γεωτρήσεων και του ίχνους του ρήγματος στην επιφάνεια, προέκυψε ότι το ρήγμα περνάει σε μεγαλύτερο βάθος από το πέρας των γεωτρήσεων, εκτός από την περίπτωση της ΔΝΤ-12, οπού την τέμνει σε βάθος 10.75m.



Εικόνα 3.3.1.1.1.2 Σκίτσο απεικόνισης της σχετικής θέσης του ρήγματος και της γεώτρησης Γ-27



Εικόνα 3.3.1.1.1.3 Σκίτσο απεικόνισης της σχετικής θέσης του ρήγματος και της γεώτρησης ΔΝΤ-12



Εικόνα 3.3.1.1.1.4 Εικόνα του ρήγματος στη γεώτρηση ΔΝΤ-12 (βάθος 8-12m)



Εικόνα 3.3.1.1.1.5 Σχηματική απεικόνιση της κάθετης τομής Β-Β' από το ρήγμα έως την γεώτρηση Γ-27

Παρατηρείται από την οριζοντιογραφία, ότι το ίχνος του ρήγματος διασχίζει την σήραγγα από την περιοχή κοντά στο στόμιο εξόδου και μέχρι την Χ.Θ. 12+938 περίπου, που αντιστοιχεί σε θέση εντός του σώματος της σήραγγας. Παρ' όλα αυτά, όπως φάνηκε και από την γεωλογική μηκοτομή και το σκίτσο της εικόνας 3.3.1.1.1.6, η κλίση που χαρακτηρίζει το ρήγμα και ταυτόχρονα το βάθος διέλευσης του τεχνικού, δημιουργούν τέτοια γεωμετρία, ώστε η σήραγγα να μην «συναντά» το ρήγμα σε όλο


4.25

5.26 %

4.25

12+967

Εικόνα 3.3.1.1.1.6 Διατομή στην Χ.Θ. 12+967, όπου το ρήγμα σχεδόν εφάπτεται στο πέταλο. Στην αμέσως μεγαλύτερη Χ.Θ. (βορειότερα) το ρήγμα έτεμνε τη σήραγγα, ενώ στην αμέσως μικρότερη (νοτιότερα) απομακρύνεται από αυτήν. Η κλίμακα στην δεξιά εικόνα είναι ενδεικτική.

3.3.1.1.2. Γεωμετρία Ρήγματος βάση μετρήσεων με πυξίδα στο πεδίο

Οι πρόσφατες μετρήσεις που λήφθηκαν από το πεδίο, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

	Κλίση (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)	Παρατηρήσεις
	58	60	
	60	66	Ζωνή εντονού κερματισμού
_			

Πίνακας 3.3.3 Στοιχεία γεωμετρίας του επιπέδου του ρήγματος που λήφθηκαν με την πυξίδα Αυτές, εισήχθησαν μεταξύ των υπολοίπων μετρήσεων ασυνεχειών (στρώση και διακλάσεις) του τεκτονικού διαγράμματος, στο πρόγραμμα Dips της Rocscience και προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα Schmidt, στο οποίο υποδεικνύεται το επίπεδο του ρήγματος (κόκκινο), με βέλος. Τελικά, προκύπτει αντιπροσωπευτική επιφάνεια ρήγματος με στοιχεία 59°/063°.



Εικόνα 3.3.1.1.2.1 Στερεοδιάγραμμα απεικόνισης του επιπέδου του ρήγματος (κόκκινο χρώμα) και των υπολοίπων μετρηθέντων ασυνεχειών

Πρέπει να επισημανθεί εδώ ότι η τιμές των γεωμετρικών στοιχείων του ρήγματος που προέκυψαν από τις δύο μεθόδους υπολογισμού τους (με τις ΙΣΔΓ και με απευθείας μέτρηση με πυξίδα), δεν έχουν ιδιαίτερη απόκλιση. Παρ' όλα αυτά, η επιφάνεια-επίπεδο του ρήγματος που θα χρησιμοποιηθεί για την απεικόνισή του στις διατομές και μηκοτομές, είναι αυτή που προέκυψε με την παρούσα μέθοδο της μέτρησης της κλίσης και γωνίας κλίσης του με πυξίδα στο πεδίο, καθώς χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη ακρίβεια λόγω της επιτόπου μέτρησης της επιφάνειας.

Έτσι λοιπόν για δ=59°, θα υπολογιστεί με τον ίδιο τρόπο που προαναφέρθηκε, η φαινόμενη γωνία κλίσης του ρήγματος (α), κατά μήκος της μηκοτομής.

• $\alpha = \arctan(\tan\delta^*\sin\beta) = \arctan(\tan59^*\sin22) = \arctan(1.6643^*0.3746) =>$ $\alpha = \arctan(0.6235) = 32^\circ$

Χ. Θ. σημείου τομής του ρήγματος με την μηκοτομή	Οξεία γωνία μεταξύ παράταξης και μηκοτομής (β)	Πραγματική Γωνία Κλίσης (δ)	Φαινόμενη Γωνία Κλίσης (α)
12+938	22°	59°	32°

Πίνακας 3.3.4 Υπολογισμός της φαινόμενης γωνίας κλίσεως του ρήγματος στη μηκοτομή

Ένα τρισδιάστατο μοντέλο της σήραγγας «Πέτρα» παραθέτεται παρακάτω, στο οποίο το αντέρεισμα έχει «κοπεί» ακριβώς στη θέση διέλευσης της σήραγγας, προκειμένου να «εμφανιστεί» μέσα σε αυτό ο τρόπος με τον οποίο συναντάται η γεωλογία κατά μήκος του τεχνικού, η γεωμετρία του ρήγματος, οι σχηματισμοί της γεωλογικής οριζοντιογραφίας (επιφανειακοί) και τα συνοδεύοντα τεχνικά έργα (π.χ. γέφυρα, κυβοειδής οχετός, ορύγματα, κ.λπ.), σε συνάρτηση φυσικά με την υψομετρική και υδρολογική πληροφορία.



Εικόνα 3.3.1.1.2.2 Τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο της σήραγγας Σ2Ν, οπού το αντέρεισμα «κόβεται» στη θέση διέλευσης της ερυθράς της σήραγγας, ώστε να διακρίνονται οι σχηματισμοί που διατρέχει και το ρήγμα. Επίσης απεικονίζονται οι σχηματισμοί της γεωλογικής οριζοντιογραφίας και μόνο ενδεικτικά τα τεχνικά έργα εκατέρωθεν της σήραγγας (π.χ. γέφυρα, πρανή στομίων, κυβοειδής οχετός)

3.3.2 Κατασκευή γεωλογικών διατομών

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Για την κατασκευή των γεωλογικών διατομών, η διαδικασία είναι παρόμοια με αυτή της κατασκευή της μηκοτομής. Συγκεκριμένα, υπολογίζονται οι φαινόμενες γωνίες κλίσεων, των πραγματικών γωνιών κλίσεων των γεωλογικών στρωμάτων που παρατηρούνται ανά περιοχή (σύμφωνα με την γεωλογική οριζοντιογραφία),

προφανώς σε συνάρτηση της κατεύθυνσης της εκάστοτε διατομής σε σχέση με τη κατεύθυνση της χάραξης του τεχνικού έργου.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Χρησιμοποιούνται για κάθε διατομή, εκείνες οι γωνίες κλίσεων και εκείνες οι γεωτρήσεις που βρίσκονται πιο κοντά στην εκάστοτε διατομή και προβάλλονται κάθετα σε αυτήν. Ακολουθεί πίνακας με την μετατροπή της πραγματικής γωνίας κλίσης των στρωμάτων των διατομών σε φαινόμενη, ανάλογα τον προσανατολισμό της διατομής (γωνία που σχηματίζει η διατομή με την παράταξη των στρωμάτων).

Χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω εξίσωση για τον υπολογισμό των φαινόμενων γωνιών κλίσεων. Δίνεται παράδειγμα υπολογισμού της γωνίας α για το ρήγμα στην διατομή 652.

Διατομή	Χ. Θ. διατομής	Οξεία γωνία μεταξύ παράταξης και διατομής (β)	Πραγματική Γωνία Κλίσης (δ)	Φαινόμενη Γωνία Κλίσης (α)
TU3A (πρανή στομίου εισόδου)	12+799.99	65°	16°	14.6°
ΤU3C (Στόμιο Εισόδου)	12 + 800.01	65°	16°	14.6°
649	12+848.85	59°	20°	17.3°
(52)	12+909.47	55°	30°	25.3°
052		74°	53°	51.9°
Ρήγμα στη 652		63°	59°	56°
<u> </u>	12+949.41	25°	11°	4.7°
054*		47°	24°	18°
Ρήγμα στην 654		70°	59°	57°
TUPE (46°	24°	18°
ΤU3E (στομιο εξοδου)*	12.000.00	23°	11°	4.3°
Ρήγμα στη ΤU3Ε	12+909.99	72°	59°	58°
ΔΝΤ-12		34°	18°	10.3°
TU3G (πρανή στομίου	12:070.01	46°	24°	18°
εξόδου)	12+9/0.01	23°	11°	4.3°

• $\alpha = \arctan(\tan\delta^*\sin\beta) = \arctan(\tan59^*\sin63) = \arctan(1.6643^*0.891) =>$ $\alpha = \arctan(1.4829) = 56^\circ$

*Στη δεξιά παρειά της σήραγγας, απαντάται κλίση διαφορετική (μεγαλύτερη) σε σχέση με την αριστερή παρειά. Έτσι, ως τιμή της γωνίας β, υπολογίστηκε η ζυγισμένη τιμή της παράταξης των δύο κλίσεων και της κατεύθυνσης (παράταξης) της διατομής του στομίου.

Πίνακας 3.3.5 Υπολογισμός φαινόμενης γωνίας κλίσης της στρώσης στις διατομές της σήραγγας

Όπως και στην περίπτωση της μηκοτομής, έτσι και εδώ προβάλλονται τα στοιχεία τριγώνου που χρησιμοποιήθηκαν, ώστε μέσω του Πυθαγορείου Θεωρήματος να υπολογιστούν οι μετατοπίσεις των στρωμάτων στη θέση της εκάστοτε διατομής, ανάλογα με την απόσταση γεώτρησης-διατομής και την κλίση των στρωμάτων.

X "GF	Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΌσΡΑΣΤ(<u>%</u> ۳20		
1. 1. 4.			ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΡΙΓΩΙ	NOY
	μήμα Γεωλογία Α.Π.Θ	Οριζόντια απόσταση	Κλίση οξείας (μικρότερης) γωνίας	Υψομετρική διαφορά
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Η απόσταση γεώτρησης- μηκοτομής	Η φαινόμενη γωνία (α) στην περιοχή που τα στρώματα κλίνουν με (δ) γωνία πραγματικά	Το πόσο πιο χαμηλά ή ψηλά σε βάθος, πάνω στην τομή, απαντώνται τα στρώματα της γεώτρησης
	Г-26	4.41m	14.6°	1.15 m πιο χαμηλά
	ΔΟ-28	0m	17.3°	-
	Г-27	1.34m	25.3°	0.63m πιο χαμηλά
	ΔT-40 (654)	8.81m	4.7°	0.72m πιο ψηλά
	ΔT-40 (TU3E)	11.76m	4.3°	0.88m πιο χαμηλά
	Г28-А	11.96m	4.3°	0.9m πιο ψηλά
	$\Delta NT-12$ (TU3E)	28.57m	10.3°	5.19m πιο ψηλά

Πίνακας 3.3.6 Υπολογισμοί των κατακόρυφων μετατοπίσεων των στρωμάτων που προβάλλονται στις διατομές, σε σχέση με την θέση τους στις γεωτρήσεις

Οι διατομές που δημιουργήθηκαν κατά μήκος της σήραγγας Σ2N («Πέτρα»), αποτυπώνονται με μπλε γραμμή στην παρακάτω γεωλογική οριζοντιογραφία.



Εικόνα 3.3.2.1 Θέσεις των διατομών επί της οριζοντιογραφίας



Εικόνα 3.3.2.2 Γεωλογική διατομή ΤU3C (Στόμιο εισόδου)



Εικόνα 3.3.2.3 Γεωλογική διατομή 649



Εικόνα 3.3.2.4 Γεωλογική διατομή 652



Εικόνα 3.3.2.5 Γεωλογική διατομή 654



Εικόνα 3.3.2.6 Γεωλογική διατομή ΤU3Ε (Στόμιο εξόδου)

Από τις παραπάνω διατομές, συμπεραίνεται ότι κατά την διάνοιξη της σήραγγας τα στρώματα θα απαντώνται με μικρή κλίση (16-32°) περίπου προς τα δυτικά και με την παράταξη να σχηματίζει μεγάλη γωνία (23 έως 74°) με την διεύθυνση της διατομής. Επομένως, τούτη η κλίση δημιουργεί μη ευνοϊκές συνθήκες ως προς την δημιουργία δυνητικών επίπεδων αστοχιών, λόγω της ασυνέχειας της στρώσης, για την αριστερή (δυτική) παρειά της σήραγγας, ενώ αντίθετα δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για την δεξιά (ανατολική) παρειά.

Ο άξονας της σήραγγας πλησιάζει περισσότερο το να είναι κάθετος στη φορά βύθισης της στρώσης, αν και σχηματίζει περίπου γωνία 45° με αυτήν, δηλαδή ανήκει και στις δύο μεγάλες κατηγορίες του παρακάτω πίνακα.

Διεύθυνση ασυνά	έχειας κάθετη	στον άξονα της	ς σήραγγας	Διεύθυνσ	η ασυνέχειας
Προχώρηση σύμφωνα με την		Προχώρηση αντίθετα με		παράλληλα στον άξονα	
κλίστ	າ	την κλίση		της σήραγγας	
Κλίση	Κλίση	Κλίση	Κλίση	Κλίση	Κλίση
45-90°	20-45°	45-90°	20-45°	45-90°	20-45°
Πολύ ευνοϊκή	Ευνοϊκή	Μέτρια	Δυσμενής	Πολύ δυσμενής	Μέτρια
Για κλίση ασυνέχειας 0-20° ανεξάρτητα από τη διεύθυνσή της σε σχέση με τον άξονα,					
χαρακτηρίζεται μέτρια					
ίνακας 3 3 7 Οδηγίε	νια την ταξινόι	ιηση της επίδοασ	nc 700 700 700	ατολισμού τω	ν ασυνενειών στη

Πίνακας 3.3.7 Οδηγίες για την ταξινόμηση της επίδρασης του προσανατολισμού των ασυνεχειών στην κατασκευή σηράγγων (Wickham et al, 1972)

Η διάνοιξη της σήραγγας, εφόσον πραγματοποιηθεί από τα νότια προς τα βόρεια, θα προχωράει σύμφωνα με την κλίση και για τον λόγο αυτό, με βάση τον

παραπάνω πίνακα, για κλίση 20-45°, η επίδραση του προσανατολισμού της στρώσης στην κατασκευή της σήραγγας είναι κυρίως «ευνοϊκή» για την περίπτωση «διεύθυνσης ασυνέχειας κάθετη στον άξονα της σήραγγας» και «μέτρια», αν ισχύει η αντίθετη περίπτωση («διεύθυνση ασυνέχειας παράλληλα στον άξονα της σήραγγας»). Επίσης, στις θέσεις που η στρώση έχει κλίση 0-20°, αναφέρεται από Wickham et al, (1972) ότι ανεξάρτητα από τη διεύθυνσή της σε σχέση με τον άξονα, η επίδραση του προσανατολισμού της στρώσης στην κατασκευή της σήραγγας χαρακτηρίζεται ως «μέτρια».

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Οσον αφορά το ρήγμα, αυτό φαίνεται ότι θα τέμνει διαγώνια την δεξιά παρειά του στομίου εξόδου συνεχίζοντας για 3m εντός αυτής, τέμνοντας συνεχώς όλο και μικρότερο τμήμα της, μέχρι που απομακρύνεται εντελώς από το πέταλο της σήραγγας. Όπως παρουσιάστηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η τελευταία χιλιομετρική θέση στην οποία το ρήγμα «αγγίζει» την εκσκαφή, είναι η 12+967. Από την διατομή 654 στη Χ.Θ. 12+949.41, δηλαδή περίπου 20m νοτιότερα του στομίου εξόδου (εντός του σώματος της σήραγγας) το ρήγμα φαίνεται ότι βρίσκεται αρκετά απομακρισμένο από το πέταλο της διατομής και λόγω της ζώνης επιρροής του, ίσως οριακά η βραχόμαζα να διαφέρει τεχνικογεωλογικά έως τη συγκεκριμένη XΘ της σήραγγας.



Εικόνα 3.3.2.7 Αριστερά: διατομή στη Χ.Θ. 12+699.99 όπου το ρήγμα τέμνει το πέταλο και δεξιά: διατομή στη Χ.Θ. 12+967 όπου το ρήγμα σχεδόν εφάπτεται στο πέταλο

3.3.3. Υδροφόρος Ορίζοντας στην σήραγγα

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Α.Π.Θ

Στην μελέτη (2014) διευκρινίζεται ότι «στις διαθέσιμες μετρήσεις στάθμης του υπόγειου νερού που είχαν ληφθεί ακριβώς μετά το πέρας των γεωτρήσεων, είχε παρατηρηθεί μία συνεχής πτώση της στάθμης του νερού και επομένως συμπεραίνεται ότι δεν είχε επέλθει κατάσταση ισορροπίας, άρα οι μετρήσεις φαίνεται να αντιστοιχούσαν στα νερά διάτρησης των γεωτρήσεων. Ασφαλή συμπεράσματα για την ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντα, προκύπτουν μόνο με μετρήσεις στάθμης μετά την παρέλευση αρκετού χρονικού διαστήματος από το πέρας των γεωτρήσεων».

Για το λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις της στάθμης για ορισμένες από τις διαθέσιμες γεωτρήσεις, σε ημερομηνία αρκετά μακρινή από την ημέρα διάτρησής τους, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Χ.Θ.	ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ	ΒΑΘΟΣ ΣΤΑΘΜΗΣ (m)
ΔΠ-01	03+730		-4.15
ΔΣ-01	11+324	mo.ib/ mo.it	-
ΔΣ-02	11+387	mo.ib/ mo.it	-12.23
ΔA-01	11+617	AFgs	-8.18
ΔΑ-02	11 + 840	mo.it/mo.w	-4.95
ΔΟ-23	12+371	LM.sc	-8.57
ΔΟ-24	12+638	LMgs /mo.o/ LMcs	-24.3
ΔΣ-03	12+832	mo.ib/ mo.it	-
$\Delta\Sigma$ -04	12+901	mo.ib	-19.0
ΔN-04	12+922	mo.ib	-16.17
ΔΟ-28	13+255	mo.ib	-24.4
ΔΤ-43	13+538	mo.ib	-6.26
ΔA-03	13+707	mo.w/ mo.ib	-5.43
ΔΟ-30	13+762	-	-
ΔΤ-48	14+362	LMsc/LMcs/mo.o	-32.7
ΔΟ-31	14+539	LMcs/mo.ib	-11.8
ΔT -50	15+332	LMsc/LMcs/mo.it	-

Πίνακας 3.3.8 Μετρήσεις στάθμης υδροφόρου ορίζοντα σε ερευνητικές γεωτρήσεις με τοποθέτηση πιεζομέτρου, στις 25/6/2014 (Γεωσκόπιο ΑΤΕ). Όπου mo=μολάσσα, it=ignimbrite-tuff, ib=ignimbritebreccia, mo.w=μανδύας αποσάθρωσης του μολασσικού υποβάθρου

Από τις γεωτρήσεις που προβάλλονται κάθετα στη σήραγγα «Πέτρα», μόνο στην ΔΟ-28 που διανοίχτηκε στις 25/09/2013 - 27/09/2013, είχε πραγματοποιηθεί μέτρηση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα με πιεζόμετρο. Οι εν λόγω μετρηθείσες στάθμες με τις αντίστοιχες ημερομηνίες τους παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα. Ο υδροφορέας είναι το ηφαιστειακό λατυποπαγές όπως αναφέρεται στον πίνακα των μετρήσεων.

X	Ψηφιακή συ Βιβλιοθ			
1 State	Γεώτρηση	Μήνες υδρολογικού έτους	Ημερομηνία μέτρησης	Μετρηθείς στάθμη (m)
Xaro	<u>А.П.е</u>	French	28/09/2013	-15
ONTER		Ξηροι	30/09/2013	-25.5
			03/10/2013	Δ.Υ*
	ΔΟ-28	Vuod	11/11/2013	$\Delta.Y$
		Υγροι	18/12/2013	$\Delta.Y$
			13/02/2014	Δ.Υ
		Ξηροί	25/06/2014	-24.4

*Δεν Υπήρχε στάθμη

Πίνακας 3.3.9 Μετρήσεις στάθμης με πιεζόμετρο στη γεώτρηση ΔΟ-28

Όπως είναι γνωστό, η υγρή περίοδος του υδρολογικού έτους για την Ελλάδα, δηλαδή αυτή στην οποία λαμβάνουν χώρα οι περισσότερες βροχοπτώσεις, διαρκεί από τη 1^η Οκτωβρίου μέχρι τη 1^η Απριλίου.

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι, στους μήνες κατά τους οποίους έγινε μέτρηση στάθμης και παράλληλα αυτοί ανήκουν στην υγρή περίοδο του υδρολογικού έτους, δεν απαντήθηκε στάθμη υδροφόρου ορίζοντα στη γεώτρηση βάθους 28m. Δηλαδή, η στάθμη βρισκόταν τότε σε μεγαλύτερο (από της γεώτρησης) βάθος, παρόλο που ήταν η πιο βροχερή περίοδος.

Αντιθέτως, οι μετρήσεις στάθμης κατά τους μήνες της ξηρής περιόδου (λιγότερες βροχοπτώσεις), υπέδειξαν παρουσία στάθμης νερού εντός της γεώτρησης. Υπόψη για το τελευταίο συμπέρασμα λαμβάνεται μόνο η μέτρηση στις 25/06/2014, δηλαδή με τον Υ.Ο. να καταγράφεται στα 24.4m, καθώς αποτελεί την πιο μακρινή ημερομηνία από την ημέρα διάνοιξης της γεώτρησης. Από την άλλη πλευρά, οι μετρήσεις στάθμης στις 28 και 30 Σεπτεμβρίου του 2013, λήφθηκαν αρκετά κοντά (χρονικά) με την διάνοιξη της γεώτρησης και συνεπώς θεωρούνται επηρεασμένες από τα νερά της γεώτρησης. Πράγματι, η μέτρηση στάθμης ίση με -15m στις 28/09/2013 και δύο (2) μέρες μετά (στις 30/09/2013) ίση με -25.5m, δείχνει πτώση της στάθμης του νερού και επομένως συμπεραίνεται ότι δεν είχε επέλθει κατάσταση ισορροπίας τις ημέρες εκείνες, αλλά η στάθμη μειωνόταν συνεχώς.

Συμπερασματικά, η στάθμη θα τοποθετηθεί στη γεώτρηση ΔΟ-28 στο βάθος των 24.4m, τιμή η οποία θεωρείται και αρκετά συντηρητική αφού όπως προαναφέρθηκε, στους υγρούς μήνες η στάθμη βρισκόταν υπό της γεώτρησης (>28m), ενώ τον ξηρό μήνα, στο τέλος του Ιούνη η στάθμη μετρήθηκε στα 24.4m. Προκύπτει από τη μηκοτομή ότι υδροφόρος ορίζοντας «συναντά» τη σήραγγα περίπου στην οροφή της. Από την άλλη, σε μεγαλύτερα βάθη (>28m) ο Υ.Ο. θα

συναντούσε την σήραγγα είτε περίπου στο επίπεδο της ερυθράς ή και καθόλου (ξηρές συνθήκες).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 3.3.3.1 Μηκοτομή της σήραγγας «Πέτρα» με τη θέση του υδροφόρου ορίζοντα στη ΔΟ-28

Παρά ταύτα, σύμφωνα με την Οριστική Γεωλογική μελέτη της παραλλαγής της χάραξης (Μαρίνος Β., 2020) και με βάση την εμπειρία κατασκευής της προηγηθείσας σήραγγας Σ1, θεωρείται ότι οι συνθήκες αναμένονται ως επί το πλείστον ξηρές κατά μήκος της σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα») και ότι δεν αναμένονται ιδιαίτερα προβλήματα κατά την διάνοιξη ή λειτουργία των έργων. Λαμβάνοντας υπόψη επίσης την μορφολογία της περιοχής ενδιαφέροντος και καθώς η σήραγγα διανοίγεται σε μεγάλο υψόμετρο, μακριά από την επιφάνεια της θάλασσας, η υδροφορία θα βρίσκεται χαμηλότερα και επομένως δεν αναμένεται η συνάντηση Υ.Ο. στο βάθος διάνοιξής της (μέγιστο υπερκείμενο 39m). Επομένως, δεν θα χαραχτεί η γραμμή του υδροφόρου ορίζοντα στην γεωλογική μηκοτομή, παρά μόνο σημειώνεται με το αντίστοιχο σύμβολο η μετρηθείς στάθμη στη ΔΟ-28.

Στη συνέχεια θα αναφερθούν ορισμένες γενικές πληροφορίες και συμπεράσματα που προκύπτουν για την στενή περιοχή μελέτης και βασίζονται σε αναφορές των μελετών (2014 & 2020) και στη γεωλογική λογική. Επειδή δεν πραγματοποιήθηκε μέτρηση στάθμης για κάποια άλλη γεώτρηση κοντά στη στενή περιοχή της σήραγγας παρατηρήθηκε η στάθμη σε περισσότερο απομακρυσμένες γεωτρήσεις, οι οποίες απείχαν σε ευθεία υπό-παράλληλη με τη χάραξη, περίπου 200m από την ΔΟ-28. Και οι δυο γεωτρήσεις που αξιολογήθηκαν, είχαν στάθμη Υ.Ο. στα -16.17m και -6.26m αντίστοιχα, δηλαδή πιο ψηλά από αυτήν στη ΔΟ-28. Όπως αναφέρεται στην Οριστική Γεωλογική μελέτη της παραλλαγής της χάραξης (Μαρίνος B., 2020), τόσο οι υψηλές στάθμες του νερού σε γεωτρήσεις, όσο και το πυκνό υδρογραφικό δίκτυο στην περιοχή εμφάνισης μολασσικών σχηματισμών, αποτελούν ενδείξεις χαμηλής περατότητας αυτών και με πιθανή δημιουργία επικρεμάμενων υδροφορέων. Αυτή η υψηλή στάθμη θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στα φορτία κατά τον σχεδιασμό του κελύφους της υποστήριξης. Διακίνηση κάποιων ποσοτήτων υπόγειου νερού, κατ' εκτίμηση όχι σημαντικών, δεν αποκλείεται σε μεγαλύτερα βάθη, τα οποία όμως δεν επηρεάζουν το προβλεπόμενο έργο.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Είναι επίσης δυνατό σε τέτοιας λιθολογίας πετρώματα (σχεδόν αδιαπέρατα) να ενισχυθεί η υδροφορία (τοπικές κατεισδύσεις και περιορισμένη εκλεκτική κυκλοφορία υπόγειου νερού) στην περίπτωση που δρουν και άλλοι παράγοντες όπως ο χαμηλός βαθμός συγκόλλησης, η σύσταση της συγκολλητικής ύλης και ο βαθμός κερματισμού του πετρώματος (δευτερογενές πορώδες), , ιδιαίτερα την υγρή περίοδο του υδρολογικού έτους, κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων και τελικά η περατότητα να γίνεται χαμηλή έως πολύ χαμηλή ($10^{-9} \le k < 10^{-5}$ m/sec). Σε κάθε περίπτωση η κυκλοφορία αυτή αναμένεται αρκετά ασθενής για να μπορεί να εκφραστεί σε εισροές και παροχή.

Πίεση πόρων μπορεί να αναπτυχθεί σε ανοικτές ρωγμές, αν φυσικά απαντηθούν, και ιδιαίτερα στην περίπτωση παρουσίας αργίλου στο εσωτερικό τους η οποία καθυστερεί την στράγγιση του νερού από την ρωγμή. Σε γενικές γραμμές όμως, όπως θα προκύψει και στη συνέχεια, η ποιότητα του πετρώματος που θα συναντήσει η σήραγγα είναι αρκετά καλή, με ρωγμές κυρίως σφικτές και κλειστές. Αυτό οδηγεί σε παρουσία απλής υγρασίας έως και ξηρές συνθήκες, ίσως και στάγδην στην χειρότερη περίπτωση. Η τιμή της παραμέτρου Ru κρίνεται ορθό να θεωρηθεί ίση με 0.05 έως 0.1 στην χειρότερη περίπτωση.

Εκτός αυτού, οι συχνές οριζόντιες μεταφορές νερού, δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη ενός ομοιόμορφου υδροφορέα. Μικρής δυναμικότητας υδροφόροι όμως, δύναται να αναπτυχθούν μέσα στο δευτερογενές πορώδες. Κρίνεται λοιπόν πιθανή, όπως προαναφέρθηκε, η παρουσία κάποιου επικρεμάμενου υδροφόρου ορίζοντα. Σε περίπτωση επικρεμάμενου Υ.Ο., δηλαδή νερού πάνω από το επίπεδο της σήραγγας, δημιουργούνται πιέσεις από το νερό στο κέλυφος της σήραγγας και σίγουρα απαιτείται κατασκευή αποστραγγιστικών οπών που θα ανακουφίσουν την βραχόμαζα. Παρόλαυτα, οποιαδήποτε παρουσία νερού αναμένεται να αποστραγγίζεται και κατά την διάνοιξη της σήραγγας. Ακόμη, οι ζώνες ρηγμάτων, παρά το γεγονός ότι είναι περισσότερο περατές (δευτερογενές πορώδες), δεν είναι ούτε συχνές αλλά ούτε και εκτεταμένες (μικρής συνήθως εμμονής), με αποτέλεσμα να μην αποτελούν σημαντικές ζώνες επιλεκτικής υδροφορίας. Στην συγκεκριμένη σήραγγα, ρηξιγενής ζώνη τέμνει ένα μέρος της ανατολικής παρειάς του στομίου εξόδου και συνεπώς η περατότητα στην εν λόγω θέση είναι μεγαλύτερη, με επιλεκτική υδροφορία κυρίως τους υγρούς μήνες του υδρολογικού έτους.

Προβλήματα της επίδρασης του υπόγειου νερού στις σήραγγες, σε περιπτώσεις χαμηλής έως πολύ χαμηλής περατότητας πετρώματος με τον Υ.Ο. να βρίσκεται κάτω από την σήραγγα, αποτελούν την πιο ευνοϊκή συνθήκη καθώς υπάρχει στεγανότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύονται οι τεχνικογεωλογικές συνθήκες που απαντώνται στην περιοχή έρευνας, τόσο στην ευρύτερη, όσο και τη στενή άλλα και αυτές που θα απαντηθούν συγκεκριμένα κατά την διάνοιξη της σήραγγας. Στους παρακάτω δύο πίνακες παρουσιάζονται οι τεχνικογεωλογικές παράμετροι που πρέπει να αξιολογηθούν και αυτές που πρέπει να προκύψουν για τον σχεδιασμό σήραγγας, που διανοίγεται σε βραχώδη σχηματισμό.

	Ποιότητα	Παράμετροι	Σχεδιασμού	Χρήση	
	Q	Προς αξιολόγηση	Που προκύπτουν		
I EIO	Άρρηκτο βράχου	$\sigma_{ci},m_i,E_i,\gamma_s$	c _m , φ _m , σ _{cm,} E _m	Συνολικές αστοχίες βραχόμαζας	
УПО	ιζας	GSI			
	χόμα	Δείκτης κερ	ματισμού του πετρώ	ματος (RQD)	
	ba	Βαθμό	ς αποσάθρωσης (Wea	athering)	
	B		Περατότητα (k)		

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη ΜΟΕΟ ΦΡΑΣΤΟ	~"		
STOMIA 8		Ιδιότητες	Χρήση
	Ασυνεχειών	Γεωμηχανικές (c,φ)	Κινηματική
Alle	6	Γεωμετρικές	ανάλυση

Συγκεκριμένα, θα πρέπει να αξιολογηθούν οι παράμετροι σ_{ci}, m_i, E_i και γ_s για τη διερεύνηση της ποιότητας του άρρηκτου βράχου στο υπόγειο ώστε να προκύψουν οι παράμετροι της βραχόμαζας (c_m, φ_m, σ_{cm} E_m) με στόχο την μελέτη των συνολικών αστοχιών της βραχόμαζας. Επιπλέον διερευνώνται και οι γεωμηχανικές ιδιότητες των ασυνεχειών που σε συνδυασμό με τις γεωμετρικές τους ιδιότητες είναι απαραίτητες για τις κινηματικές αναλύσεις και αναλύσεις ευστάθειας τόσο στα στόμια όσο και στο υπόγειο.

Τούτο πραγματοποιείται διαμέσου της στατιστικής ανάλυσης των τιμών ορισμένων εκ των τεχνικογεωλογικών παραμέτρων (π.χ. ειδικό βάρος, πορώδες, λόγος Poisson) και της εξαγωγής αντιπροσωπευτικής τιμής που εκφράζει τόσο το σύνολο του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη όσο και τις επιμέρους λιθολογίες του. Επίσης διερευνώνται τυχόν παρόμοιες γεωτεχνικές ιδιότητες των ηφαιστειακών τόφφων και ηφαιστειακών λατυποπαγών.

Επίσης, ο σχηματισμός που απαντάται στη περιοχή έρευνας (ιγκνιμβρίτης) και εκφράζει εξ ολοκλήρου τη σήραγγα, διακρίνεται σε τεχνικογεωλογικές ενότητες, δηλαδή ομάδες όμοιων γεωμηχανικών χαρακτηριστικών. Αρχικά αυτές προκύπτουν για την ευρύτερη περιοχή (όλη την παραλλαγή της χάραξης), έπειτα εντοπίζονται αυτές που εκφράζουν και τη στενή περιοχή (γεωτρήσεις εκατέρωθεν της σήραγγας) και τέλος αυτές που θα συναντηθούν κατά την εκσκαφή της. Έτσι, για τις υπόλοιπες τεχνικογεωλογικές παραμέτρους (π.χ. RQD, GSI, βαθμός αποσάθρωσης) εξάγεται εύρος τιμής που θα χαρακτηρίσει στη συνέχεια αντίστοιχα κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα. Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη το γεγονός της αξιολόγησης του ιγκνιμβρίτη που εκφράζει την στενή περιοχή, σαν σχηματισμό (σαν μία λιθολογία), οι ενότητες διακρίθηκαν με βάση το δεύτερο (2°) κριτήριο διάκρισης τεχνικογεωλογικών ενοτήτων που είναι ο γεωλογικός δείκτης αντοχής (GSI).

Στη συνέχεια, στο παρόν κεφάλαιο γίνεται λόγος για την τεχνικογεωλογική συμπεριφορά της βραχόμαζας, για κάθε ενότητα που προέκειψε ξεχωριστά. Πρώτον γίνεται μία εκτίμησή της, μέσω της χρήσης του διαγράμματος τεχνικογεωλογικής

συμπεριφοράς (TBC) και δεύτερον με χρήση ειδικών προγραμμάτων τόσο για το υπόγειο όσο και τα πρανή των στομίων.

4.2 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Με σκοπό την εξαγωγή αντιπροσωπευτικών γεωτεχνικών παραμέτρων για τους παρόντες στην υπό εξέταση σήραγγα βραχώδεις σχηματισμούς, πραγματοποιήθηκε γέω-στατιστική ανάλυση των τιμών των παραμέτρων που εξάχθηκαν από τα μητρώα των γεωτρήσεων σε φύλλο του Excel. Η ανάλυση έγινε κυρίως μέσω του προγράμματος SPSS IBM Statistics, ενώ σε ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε και το υπολογιστικό φύλλο του Excel. Συγκεκριμένα, οι παράμετροι που εξετάστηκαν αφορούσαν τις παρακάτω ιδιότητες του βραχώδους σχηματισμού.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ		
Τεχνικογεωλογικές	Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής (GSI)	
συνθήκες –	Δείκτης κερματισμού του πετρώματος (RQD)	
Χαρακτηριστικά	Βαθμός αποσάθρωσης της βραχόμαζας	
βραχόμαζας	Γεωμηχανική ταξινόμηση (RMR)	
	Ειδικό βάρος (Gs)	
	Φαινόμενο βάρος (γ)	
	Πορώδες (n)	
Εργαστηριακές	Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του άρρηκτου βράχου (σ _{ci})	
δοκιμές	Λόγος Poisson (v)	
βραχομηχανικής	Μέτρο ελαστικότητας (Ε)	
	Αντοχή σε εφελκυσμό (σ _t)	
	Διατμητική αντοχή (c, φ)	
	Ανοιγμένος δείκτης αντοχής σε σημειακή φόρτιση (Is(50))	
Επιτόπου δοκιμές	Περατότητα (k)	

Πίνακας 4.2.1 Εξεταζόμενες παράμετροι μέσω στατιστικής επεξεργασίας

Αφού εξαχθούν οι αντιπροσωπευτικές τιμές των παραπάνω παραμέτρων για τον ιγκνιμβρίτη, ορισμένες εξ αυτών (π.χ. GSI, σ_{ci}) θα χρησιμοποιηθούν στον υπολογισμό των γεωτεχνικών παραμέτρων σχεδιασμού για τη σήραγγα (π.χ. τιμές διατμητικές αντοχής της βραχόμαζας, κ.α.).

Επίσης οι τιμές ορισμένων εκ των παραμέτρων θα ομαδοποιηθούν κατάλληλα και θα διακριθούν Τεχνικογεωλογικές Ενότητες κατά μήκος της σήραγγας Σ2Ν

(«Πέτρα»). Τέλος, κατασκευάζονται γεωτεχνικές μηκοτομές, για τις παραμέτρους που κατανέμονται με το βάθος, με σκοπό την εξέταση της διασποράς των αποτελεσμάτων των δοκιμών κατά μήκος και βάθος της σήραγγας.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Αξίζει να αναφερθεί στο σημείο αυτό ότι εκτός των παραπάνω δοκιμών στους βραχώδεις σχηματισμούς, εκτελέστηκαν και δοκιμές εδαφομηχανικής, τα αποτελέσματα των οποίων καταγράφονται στα μητρώα. Πραγματοποιήθηκαν κυρίως σε υλικά κατολισθήσεων και εδαφικά υλικά που λήφθηκαν από την αποσαθρωμένη μολάσσα. Αναφορικά με τα υλικά κατολισθήσεων, αυτά δεν απαντώνται κατά μήκος του εξεταζόμενου τεχνικού και για τον λόγο αυτό δεν κρίνεται σκόπιμη η στατιστική επεξεργασία τους. Όσον αφορά την αποσαθρωμένη βραχόμαζα η οποία απαντάται επιφανειακά του τεχνικού, ισχύει ότι τα βάθη στα οποία συναντάται, είναι πολύ μικρά και συνεπώς δεν αναμένεται να επηρεάσουν το έργο. Μόνο στις θέσεις των στομίων πρόκειται να απαντηθούν, αλλά εκεί θα αφαιρεθούν κατά την κατασκευή του έργου και συνεπώς δεν κρίνεται σκόπιμη η γνώση των τεχνικογεωλογικών ιδιοτήτων τους στην παρούσα εργασία.

4.2.2. Τεχνικογεωλογικές συνθήκες-Χαρακτηριστικά βραχόμαζας

4.2.2.1. Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής (GSI)

Όλα τα γεωυλικά που χαρακτηρίζονται ως βραχόμαζες, ταξινομήθηκαν με το σύστημα ταξινόμησης βραχόμαζας του Γεωλογικού Δείκτη Αντοχής, στο πλαίσιο διάκρισης τεχνικογεωλογικών ενοτήτων, καθώς δεν ήταν διαθέσιμη η συγκεκριμένη πληροφορία στα μητρώα. Επανεξετάστηκαν για τον λόγο αυτό όλες οι φωτογραφίες των πυρήνων των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων.

Από κάθε εύρος GSI -ανά 10 μονάδες- που αποδόθηκε σε κάθε τμήμα κατά μήκος των γεωτρήσεων (π.χ. GSI=30-40 για το τμήμα 5.5-8m της γεώτρησης Γ-26), προέκυψε μία μέση τιμή (π.χ. 35). Αυτή χρησιμοποιήθηκε στη στατιστική επεξεργασία των τιμών GSI με το πρόγραμμα SPSS IBM Statistics. Όλες οι βαθμονομήσεις αντιστοιχούν στο πέτρωμα του ιγκνιμβρίτη που αξιολογείται ότι θα απαντηθεί κατά την εκσκαφή.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία όλων των μέσων τιμών των δομένων ευρών GSI, των συνολικών διαθέσιμων γεωτρήσεων κατά μήκος του νέου τμήματος της χάραξης του οδικού δικτύου και όχι μόνο των γεωτρήσεων πέριξ της Χ.Θ. της σήραγγας «Πέτρα».

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Σκοπός αυτού είναι η απόκτηση μίας συνολικής εικόνας για τον υπό εξέταση σχηματισμό του έργου (ιγκνιμβρίτης). Με άλλα λόγια, βασικοί στόχοι της στατιστικής επεξεργασίας αυτού του πλήθους τιμών GSI για τον σχηματισμό, ακόμα και σε απόσταση από το τεχνικό έργο, είναι η αξιολόγηση ως προς την δομή και την ποιότητα ασυνεχειών του συνόλου του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη, που δεν περιορίζεται μόνο στην πολύ στενή, αλλά και λίγο πιο απομακρυσμένη (κατά μήκος της χάραξης) περιοχή μελέτης. Επίσης, στόχος είναι η ομαδοποίηση των τιμών GSI για όλη αυτή την περιοχή και η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τους διάφορους δυνατούς τρόπους εμφάνισης του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη (αναφορικά με την δομή της βραχόμαζας και την ποιότητα των ασυνεχειών της).

Σε συνέχεια των παραπάνω ενεργειών, θα διερευνηθεί και θα επισημανθεί σε ποιες από τις συνολικές κατηγορίες της ευρύτερης περιοχής ανήκει ο σχηματισμός του ιγκνιμβρίτη της στενής περιοχής. Συμπερασματικά, με την προαναφερθείσα ενιαία στατιστική επεξεργασία δίνεται η δυνατότητα για πιο αξιόπιστα και ασφαλή συμπεράσματα για τον σχηματισμό, καθώς αξιολογείται ένα μεγάλο πλήθος τιμών από μία εκτεταμένη περιοχή και αυτό συγκρίνεται με αυτές που χαρακτηρίζουν τη στενή περιοχή. Τέλος, γίνεται η συσχέτιση των τιμών GSI με το βάθος και προκύπτουν ανάλογα συμπεράσματα για την κατανομή τους σε βάθος.

4.2.2.1.1. Γέω-στατιστική επεξεργασία των τιμών GSI της ευρύτερης περιοχής (όλης της παραλλαγής της χάραξης)

Το διάγραμμα που ακολουθεί, αναπαριστά μία προς μία, τις τιμές GSI (άξονας x) του ιγκνιμβρίτη από όλες τις δοθείσες γεωτρήσεις της ευρύτερης περιοχής της σήραγγας, σε συνάρτηση με την συχνότητα εμφάνισής τους (άξονας y), δηλαδή το πόσες φορές καταμετρούνται στο σύνολο των τιμών (N=267).



Διάγραμμα 4.2.2.1 Τιμές GSI (άξονας χ) του ιγκνιμβρίτη από όλες τις δοθείσες γεωτρήσεις της ευρύτερης περιοχής της σήραγγας, σε συνάρτηση με την συχνότητα εμφάνισής τους (άξονας y)

Μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης (N=28 φορές) παρατηρείται στην τιμή GSI=65, δεύτερη έρχεται η τιμή GSI=75 με εμφάνιση 24 φορές και τρίτες οι τιμές GSI=33 και 85 με εμφάνιση 16 και 15 φορές αντίστοιχα. Επίσης οι τιμές 30, 40, 60, 73, 77, 80, 83 εμφανίζονται έκαστη 10 ή περισσότερες φορές στις γεωτρήσεις.

Το δεύτερο διάγραμμα που ακολουθεί, αναπαριστά μία προς μία, τις τιμές GSI (άξονας χ) του ιγκνιμβρίτη από όλες τις δοθείσες γεωτρήσεις της ευρύτερης περιοχής της σήραγγας, σε συνάρτηση με το ποσοστό επί τοις εκατό (%) στο οποίο αυτές απαντώνται ως προς το σύνολο των τιμών (100%), δηλαδή σε συνάρτηση με τη σχετική συχνότητα εμφάνισής τους (άξονας y).



Διάγραμμα 4.2.2.2 Τιμές GSI (άξονας χ) του ιγκνιμβρίτη από όλες τις δοθείσες γεωτρήσεις της ευρύτερης περιοχής της σήραγγας, σε συνάρτηση με το ποσοστό επί τοις εκατό (%) στο οποίο αυτές απαντώνται ως προς το σύνολο των τιμών (100%) (άξονας y)

Ακολουθεί πίνακας με τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των παραπάνω τιμών GSI. Η επικρατούσα τιμή (mode) προέκυψε και στον παρακάτω πίνακα, ίση με 65. Η διάμεσος (median) ισούται με 65 και αναπαριστά την τιμή εκείνη κάτω από την οποία κατανέμεται το 50% του συνόλου των τιμών και αντίστοιχα πάνω από αυτήν το υπόλοιπο 50%. Αξίζει να παρατηρηθεί ότι η συγκεκριμένη τιμή GSI είναι σχετικά υψηλή.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Στατιστική Ανάλυση				
GSI				
Ν	Valid	267		
	Missing	0		
Mean		57,71		
Std. Error of	Std. Error of Mean			
Median	65,00			
Mode	65			
Std. Deviatio	n	21,158		
Minimum		13		
Maximum	90			
Percentiles	25	37,00		
	50	65,00		
	75	75,00		

Πίνακας 4.2.2 Αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των τιμών GSI για την ευρύτερη περιοχή

Το τρίτο διάγραμμα που ακολουθεί, αναπαριστά τις τιμές GSI (άξονας χ) του ιγκνιμβρίτη από όλες τις δοθείσες γεωτρήσεις της ευρύτερης περιοχής της σήραγγας, ανά ομάδες των 10 μονάδων, σε συνάρτηση με το ποσοστό επί τοις εκατό (%) στο οποίο αυτές απαντώνται ως προς το σύνολο των τιμών (100%), δηλαδή σε συνάρτηση με τη σχετική συχνότητα εμφάνισής τους (άξονας y).

Η ομαδοποίηση των τιμών GSI ανά 10 μονάδες, πραγματοποιήθηκε μέσω της εντολής Visual Binning του SPSS, με μοναδικό σκοπό την δημιουργία ευρύτερων στηλών (μπάρες) και τον σχηματισμό μίας πιο ξεκάθαρης άποψης για την κατανομή των μεγεθών και όχι μόνο ανά μία τιμή, όπως στα προηγούμενα διαγράμματα. Δηλαδή οι λόγοι είναι καθαρά οπτικοί. Η προαναφερθείσα εντολή λοιπόν, «έκοψε» την σειρά αυτή των τιμών GSI του προηγούμενου διαγράμματος, σε εύρη ανά 10 μονάδες και προέκυψε το ακόλουθο διάγραμμα.



(<50-60).



Όπως είναι γνωστό, ένα εύρος τιμών GSI της τάξης των 10-15 μονάδων, μπορεί να αντιστοιχεί σε περισσότερους από έναν συνδυασμούς δομής και ποιότητας ασυνεχειών στο διάγραμμα. Για παράδειγμα το εύρος GSI=30-40 στο διάγραμμα GSI για μολάσσα σε βάθος, αντιστοιχεί τόσο σε δομή αποδιοργανωμένη με καλή έως μέτρια ποιότητα ασυνεχειών, όσο και σε μία διαταραγμένη στρωματώδη/πτυχωμένη δομή, με μέτρια ποιότητα ασυνεχειών, όσο και σε άλλους συνδυασμούς αυτών των δύο παραγόντων.

Για τον παραπάνω λόγο, θα ήταν λανθασμένη επιλογή να διακριθούν κατηγορίες ιγκνιμβρίτη μόνο με βάση την τιμή GSI και όχι λαμβάνοντας υπόψη και τα χαρακτηριστικά (δομή και ποιότητα ασυνεχειών) από τα οποία προέκυψε η συγκεκριμένη τιμή. Η προαναφερθείσα διάκριση, δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί με κάποια ειδική στατιστική επεξεργασία, παρά μόνο μέσω του ανθρώπινου παράγοντα, της γεωλογικής λογικής και συνεπώς του ορισμού στοιχείων που πρέπει να ομαδοποιηθούν. Έτσι διακρίθηκαν, συνολικά εννιά (9) κατηγορίες ιγκνιμβρίτη με βάση το GSI, με στοιχεία από όλες τις διαθέσιμές γεωτρήσεις της ευρύτερης περιοχής.

Αρχικά, οι τιμές GSI διακρίθηκαν με βάση την δομή που χαρακτηρίζει το πέτρωμα και έπειτα διακρίθηκαν περεταίρω ανάλογα την ποιότητα των ασυνεχειών. Η πρώτη διάκριση έγινε εύκολα και γρήγορα, χωρίς στατιστική επεξεργασία, παρά μόνο με την εφαρμογή φίλτρου στην στήλη «ΔΟΜΗ» του Excel. Οι δομές που απαντήθηκαν στον σχηματισμό του ιγκνιμβρίτη της συνολικής εξεταζόμενης περιοχής, καταγράφονται στον ακόλουθο πίνακα.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

α/α	ΔОМН
1	Άρρηκτη
2	Άρρηκτη έως Τεμαχώδης/ Αδιατάρακτη-Στρωματώδης
3	Τεμαχώδης/ Αδιατάρακτη-Στρωματώδης
4	Διαταραγμένη-Στρωματώδης/Πτυχωμένη
5	Διαταραγμένη-Στρωματώδης/Πτυχωμένη έως Αποδιοργανωμένη
6	Αποδιοργανωμένη

Πίνακας 4.2.3 Δομές που απαντήθηκαν στον σχηματισμό του ιγκνιμβρίτη της ευρύτερης περιοχής Ορισμένες από αυτές αντιστοιχούν σε ενδιάμεσες (στο διάγραμμα του GSI)

κατηγορίες δομής της βραχόμαζας και ορισμένες ξεκάθαρα σε μία συγκεκριμένη.

Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται το πλήθος των τιμών της κάθε κατηγορίας, ανάλογα την δομή. Οι περισσότερες τιμές ανήκουν στην «άρρηκτη» δομή, ενώ ακολουθούν η «αποδιοργανωμένη» και «τεμαχώδης» δομή.





Στο ακόλουθο διάγραμμα που προέκυψε μέσα από το υπολογιστικό φύλλο του Excel, προβάλλεται το πλήθος τιμών (άξονας y) που αντιστοιχεί σε κάθε μία δοθείσα τιμή GSI (άξονας x) στο πέτρωμα, ενώ με διαφορετικό χρώμα απεικονίζονται οι αντίστοιχες δομές του σχηματισμού και το «μέρος / αναλογία» κάθε τιμής GSI που μπορεί να καταλαμβάνουν.

Έτσι, γίνεται λοιπόν κατανοητό και περισσότερο ευκρινές, όπως προαναφέρθηκε, το «μέρος» εκείνο που καταλαμβάνει η κάθε δομή, σε κάθε τιμή GSI με την οποία έχει χαρακτηριστεί ο σχηματισμός. Για παράδειγμα η τιμή GSI=85 αντιστοιχεί εξ ολοκλήρου σε «άρρηκτη» δομή (μόνο το μπλε χρώμα στη μπάρα), ενώ η τιμή GSI=33 μπορεί να ανήκει είτε σε δομή «Διαταραγμένη – Στρωματώδη / Πτυχωμένη» ή «Διαταραγμένη – Στρωματώδη / Πτυχωμένη έως Αποδιοργανωμένη» ή «Αποδιοργανωμένη» (κόκκινο, ροζ και πορτοκαλί χρώμα σε μία μπάρα).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Διάγραμμα 4.2.2.5 Πλήθος τιμών (άξονας y) ανά δοθείσα τιμή GSI στο πέτρωμα (άξονας x). Με διαφορετικό χρώμα απεικονίζονται οι αντίστοιχες δομές του σχηματισμού και το «μέρος / αναλογία» κάθε τιμής GSI που καταλαμβάνουν

Το παρακάτω θηκόγραμμα (boxplot) παριστάνει την διακύμανση ή αλλιώς κατανομή των τιμών GSI σε σχέση με το σύνολο. Συγκεκριμένα απεικονίζει την μέγιστη (90) και την ελάχιστη (13) τιμή, την τιμή κάτω από την οποία βρίσκεται το 75% των τιμών (GSI=75), την τιμή κάτω από την οποία βρίσκεται το 25% των τιμών (GSI=37) και την τιμή κάτω από την οποία βρίσκεται το 50% των τιμών (GSI=65) που, ταυτίζεται και με μην διάμεσο.



Διάγραμμα 4.2.2.6 Θηκόγραμμα τιμών GSI ευρύτερης περιοχής μελέτης

Στη συνέχεια, για την κάθε μία δομή θα πραγματοποιηθεί στατιστική επεξεργασία των τιμών της, προκειμένου να εξαχθεί το αντιπροσωπευτικό εύρος αυτών, μία μέση τιμή και εάν κριθεί απαραίτητο να διακριθεί σε περεταίρω κατηγορίες ανάλογα την ποιότητα των ασυνεχειών.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη	8
ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας	Σ"
A.11.0	Mean
	Std.

АРРНКТН ДОМН			
N	Valid	101	
	Missing	166	
Mean		78,73	
Std. Error of	Mean	,500	
Median		77,00	
Mode		75	
Std. Deviation		5,024	
Minimum		65	
Maximum		90	
Percentiles	25	75,00	
	50	77,00	
	75	83,00	

Πίνακας 4.2.4 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας για την άρρηκτη δομή του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη της ευρύτερης περιοχής μελέτης

Από τα παραπάνω, αντιπροσωπευτικό εύρος 10 μονάδων θεωρείται αυτό των 74-84, ενώ η μέση τιμή είναι GSI=79 και η τυπική απόκλιση περίπου ±5. Δεν διακρίνεται σε περεταίρω κατηγορίες με βάση την ποιότητα των ασυνεχειών, αφού σε όλες αυτές τις τιμές, όπως φαίνεται με την εφαρμογή φίλτρου στο excel, αντιστοιχεί ποιότητα ασυνεχειών από πολύ καλή έως μέτρια.

Επομένως η πρώτη κατηγορία είναι η άρρηκτη δομή με κυρίως καλή ποιότητα ασυνεχειών. Σίγουρα όμως απαντήθηκαν σε αυτή τη δομή και περιπτώσεις πολύ καλής ποιότητας ασυνεχειών έως μέτριας.

ΆΡΡΗΚΤΗ ΕΩΣ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ/				
ΑΔΙΑΤΑΡΑ	ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ			
Ν	Valid	14		
	Missing	253		
Mean	Mean			
Std. Error of	Mean	1,486		
Median		65,00		
Mode		65		
Std. Deviation	on	5,559		
Minimum		63		
Maximum		80		
Percentiles	25	65,00		
	50	65,00		
	75	75,00		

Πίνακας 4.2.5 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας για την Άρρηκτη έως Τεμαχώδη/Αδιατάρακτη-Στρωματώδη δομή του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη της ευρύτερης περιοχής μελέτης

Από τα παραπάνω, αντιπροσωπευτικό εύρος θεωρείται αυτό των 64-74 μονάδων, η μέση τιμή είναι GSI=69 και η τυπική απόκλιση περίπου ±6. Επομένως η δεύτερη κατηγορία κατά GSI είναι η άρρηκτη έως τεμαχώδης/ αδιατάρακτηστρωματώδης δομή με πολύ καλή έως μέτρια ποιότητα ασυνεχειών.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη	8		
ΘΕΟΦΡΑΣΙΟΣ Τμήμα Γεωλογίας	TEMAXΩ ΣT	ΑΗΣ/ΑΔΙΑΤΑ ΡΩΜΑΤΩΔΗ	APAKTH- ΙΣ
А.П.О	N	Valid	48
		Missing	219
	Mean		62,35
	Std. Error of	Mean	,819
	Median		65,00
	Mode		65
	Std. Deviatio	n	5,674
	Minimum		49
	Maximum		70
	Percentiles	25	60,00
		50	65,00
		75	65,00

Πίνακας 4.2.6 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας για την Τεμαχώδη/Αδιατάρακτη-Στρωματώδη δομή του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη της ευρύτερης περιοχής μελέτης

Από τα παραπάνω, αντιπροσωπευτικό εύρος θεωρείται αυτό των 57-67 μονάδων, η μέση τιμή είναι GSI=62 και η τυπική απόκλιση περίπου ±6. Επομένως η τρίτη κατηγορία είναι η τεμαχώδης/ αδιατάρακτη-στρωματώδης δομή με πολύ καλή έως μέτρια ποιότητα ασυνεχειών.

ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-			
ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ			
Ν	Valid	28	
	Missing	239	
Mean		40,07	
Std. Error of Mean		1,152	
Median		40,00	
Mode		40 ^a	
Std. Deviation	n	6,098	
Minimum		28	
Maximum		50	
Percentiles	25	33,00	
	50	40,00	
	75	45,00	
a. Multiple modes exist. The smallest			
value is shown			

Πίνακας 4.2.7 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας για την Διαταραγμένη-Στρωματώδη/Πτυχωμένη δομή του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη της ευρύτερης περιοχής μελέτης



Διάγραμμα 4.2.2.7 Συχνότητα εμφάνισης των τιμών GSI με «Διαταραγμένη-Στρωματώδη/Πτυχωμένη» δομή

Από τα παραπάνω, αντιπροσωπευτικό εύρος θεωρείται αυτό των 35-45 μονάδων, καθώς σε αυτό παρατηρείται συσσώρευση των τιμών, η μέση τιμή είναι GSI=40 και η τυπική απόκλιση περίπου ±6. Αν και η καμπύλη έχει καμπανοειδή μορφή, το εύρος στο οποίο κυμαίνονται οι τιμές αυτής της δομής, είναι περίπου της τάξης των 20 μονάδων (GSI_{max}=50 και GSI_{min}=28). Αυτό υποδεικνύει ότι η ποιότητα των ασυνεχειών ποικίλει περισσότερο σε σχέση με τις προηγούμενες κατηγορίες και αυτό πράγματι αποδείχθηκε με την χρήση φίλτρου στην αντίστοιχη στήλη του excel (ποιότητα ασυνεχειών πολύ καλή έως πτωχή).

Για τον λόγο αυτό, με την εντολή Classify και Two-step Cluster Analysis, με χρήση του Schwarz's Bayesian Criterion (BIC), οι τιμές GSI ταξινομήθηκαν αυτόματα από το SPSS σε 2 ομάδες, με «cluster» καλής ποιότητας.

Model Summary

 Algorithm
 TwoStep

 Inputs
 1

 Clusters
 2

Cluster Quality

 Poor
 Fair
 Gor

Για μεγαλύτερη ακρίβεια και για την εξαγωγή των κέντρων των ομάδων, πραγματοποιήθηκε και μία ακόμη διαφορετική ανάλυση. Έτσι, η συγκεκριμένη κατηγορία επιλέχθηκε να διακριθεί χειροκίνητα σε δύο «clusters», με τη χρήση ξανά

Silhouette measure of cohesion and separation

-1,0

της εντολής Classify αλλά τώρα με ανάλυση «K-Means Cluster Analysis» και καταγραφή από τον χρήστη του επιθυμητού αριθμού των Cluster (2).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Initial Cluster Centers			
	Clus	ster	
	1	2	
BLOCKY_DISTURBED_SEAMY	28	50	

Final Cluster Centers			
	Clu	ster	
	1	2	
BLOCKY_DISTURBED_SEAMY	32	44	

Number of Cases in each Cluster		
Cluster	1	9,000
	2	19,000
Valid		28,000
Missing		239,000

Έτσι, τα τελικά κέντρα των ομάδων που σχηματίστηκαν είναι GSI=32 και GSI=44. Συμβουλευόμενοι λοιπόν το παραπάνω ιστόγραμμα των συχνοτήτων, την μέγιστη και ελάχιστη τιμή αυτής της κατηγορίας και την ποιότητα των ασυνεχειών ανά τιμή από το excel, οι ομάδες GSI θα οριστούν ως 28-38 και 40-50.

Επομένως η τέταρτη κατηγορία είναι η διαταραγμένηστρωματώδης/πτυχωμένη δομή με πολύ καλή έως καλή-μέτρια ποιότητα ασυνεχειών (GSI=40-50) και η πέμπτη κατηγορία η διαταραγμένη-στρωματώδης/πτυχωμένη δομή με μέτρια έως πτωχή ποιότητα ασυνεχειών (GSI=28-38).

ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-		
ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ		
ΕΩΣ ΑΠΟ	ΟΔΙΟΡΓΑΝΩ	2MENH
Ν	Valid	25
	Missing	242
Mean		34,28
Std. Error of Mean		1,008
Median		33,00
Mode		30
Std. Deviation		5,038
Minimum		25
Maximum		45
Percentiles	25	30,00
	50	33,00
	75	37,50

Πίνακας 4.2.8 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας για την Διαταραγμένη-Στρωματώδη/Πτυχωμένη έως Αποδιοργανωμένη δομή του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη της ευρύτερης περιοχής μελέτης



Διάγραμμα 4.2.2.8 Συχνότητα εμφάνισης των τιμών GSI με «Διαταραγμένη-Στρωματώδη/Πτυχωμένη έως Αποδιοργανωμένη» δομή

Από τα παραπάνω, αντιπροσωπευτικό εύρος θεωρείται αυτό περίπου των 30-40 μονάδων GSI, καθώς εκεί παρατηρείται συσσώρευση τιμών και η μέση τιμή είναι GSI=34 με τυπική απόκλιση ±5. Παρόλαυτα, το εύρος στο οποίο κυμαίνονται οι τιμές αυτής της δομής, είναι της τάξης των 20 μονάδων (GSI_{max}=45 και GSI_{min}=25). Αυτό υποδεικνύει ότι η ποιότητα των ασυνεχειών ποικίλει και μεταβάλλει τις τιμές GSI στην ίδια δομή (πολύ καλή έως μέτρια ποιότητα).

Για τον λόγο αυτό, με την εντολή Classify και Two-step Cluster Analysis, με χρήση του Schwarz's Bayesian Criterion (BIC), οι τιμές GSI ταξινομήθηκαν αυτόματα από το SPSS σε 2 ομάδες, με «cluster» καλής ποιότητας.





Για μεγαλύτερη ακρίβεια και για την εξαγωγή των κέντρων των ομάδων, πραγματοποιήθηκε και μία ακόμη διαφορετική ανάλυση. Έτσι, η συγκεκριμένη κατηγορία επιλέχθηκε να διακριθεί χειροκίνητα σε δύο «clusters», με τη χρήση ξανά της εντολής Classify αλλά τώρα με ανάλυση «K-Means Cluster Analysis» και καταγραφή από τον χρήστη του επιθυμητού αριθμού των Cluster (2).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Initial Cluster Centers		
	Cluster	
	1	2
BLOCKY_DISTURBED_SEAMY_DISINTEGRATED	45	25

Final Cluster Centers		
	Cluster	
	1	2
BLOCKY_DISTURBED_SEAMY_DISINTEGRATED	39	31

Number of Cases in each Cluster		
Cluster	1	11,000
	2	14,000
Valid		25,000
Missing		242,000

Έτσι, τα τελικά κέντρα των ομάδων που σχηματίστηκαν είναι GSI=31 και GSI=39. Συμβουλευόμενοι λοιπόν το παραπάνω ιστόγραμμα των συχνοτήτων, την μέγιστη και ελάχιστη τιμή αυτής της κατηγορίας και την ποιότητα των ασυνεχειών ανά τιμή από το excel, οι ομάδες GSI θα οριστούν ως 25-35 και 35-45.

Επομένως η έκτη κατηγορία είναι η διαταραγμένη - στρωματώδης / πτυχωμένη έως αποδιοργανωμένη δομή με πολύ καλή έως καλή-μέτρια ποιότητα ασυνεχειών (GSI=35-45) και η έβδομη κατηγορία η διαταραγμένη - στρωματώδης / πτυχωμένη έως αποδιοργανωμένη δομή με μέτρια έως πτωχή ποιότητα ασυνεχειών (GSI=25-35).

ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ			
Ν	Valid	51	
	Missing	216	
Mean		29,73	
Std. Error of Mean		1,111	
Median		32,00	
Mode		25 ^a	
Std. Deviation		7,932	
Minimum		13	
Maximum		42	
Percentiles	25	25,00	
	50	32,00	
	75	35,00	
a. Multiple modes exist. The smallest			
value is shown			

Πίνακας 4.2.9 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας για την Αποδιοργανωμένη δομή του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη της ευρύτερης περιοχής μελέτης



Διάγραμμα 4.2.2.9 Συχνότητα εμφάνισης των τιμών GSI με «Αποδιοργανωμένη» δομή

Από τα παραπάνω, αντιπροσωπευτικό εύρος θεωρείται αυτό των 23-37 μονάδων, καθώς σε αυτό παρατηρείται συσσώρευση των τιμών και η μέση τιμή είναι GSI=30 με τυπική απόκλιση περίπου ±7. Το εύρος στο οποίο κυμαίνονται οι τιμές αυτής της δομής, είναι περίπου της τάξης των 30 μονάδων (GSI_{max}=42 και GSI_{min}=13). Αυτό υποδεικνύει ότι η ποιότητα των ασυνεχειών ποικίλει και μεταβάλλει τις τιμές GSI στην ίδια δομή.

Για τον λόγο αυτό, με την εντολή Classify και Two-step Cluster Analysis, με χρήση του Schwarz's Bayesian Criterion (BIC), οι τιμές GSI ταξινομήθηκαν αυτόματα από το SPSS σε 2 ομάδες, με «cluster» καλής ποιότητας.





Για μεγαλύτερη ακρίβεια και για την εξαγωγή των κέντρων των ομάδων, πραγματοποιήθηκε και μία ακόμη διαφορετική ανάλυση. Έτσι, η συγκεκριμένη κατηγορία επιλέχθηκε να διακριθεί χειροκίνητα σε δύο «clusters», με τη χρήση ξανά της εντολής Classify αλλά τώρα με ανάλυση «K-Means Cluster Analysis» και καταγραφή από τον χρήστη του επιθυμητού αριθμού των Cluster (2).

ster Centers	
Ch	ıster
1	2
13	42
	ster Centers Ch 1 13

Ρηφιακή συλλογή

Final Cluster Centers		
	Cluster	
	1	2
DISINTEGRATED	21	35

Number of Cases in each Cluster			
Cluster	1	19,000	
	2	32,000	
Valid		51,000	
Missing		216,000	

Έτσι, τα τελικά κέντρα των ομάδων που σχηματίστηκαν είναι GSI=21 και GSI=35. Συμβουλευόμενοι λοιπόν το παραπάνω ιστόγραμμα των συχνοτήτων, την μέγιστη και ελάχιστη τιμή αυτής της κατηγορίας και την ποιότητα των ασυνεχειών ανά τιμή από το excel, οι ομάδες GSI θα οριστούν ως 30-40 και 16-26.

Επομένως η όγδοη (8^η) κατηγορία είναι η αποδιοργανωμένη δομή με πολύ καλή έως μέτρια ποιότητα ασυνεχειών (GSI=30-40) και η ένατη (9^η) κατηγορία η αποδιοργανωμένη δομή με μέτρια-πτωχή έως πολύ πτωχή ποιότητα ασυνεχειών (GSI=16-26).

Ο συνοπτικός πίνακας των παραπάνω αποτελεσμάτων των αναλύσεων παρουσιάζεται στη συνέχεια και περιλαμβάνει τη δομή, την ποιότητα των ασυνεχειών και την αντίστοιχη τιμή GSI για κάθε κατηγορία βραχόμαζας του ιγκνιμβρίτη της ευρύτερης περιοχής.

α/α	ΔΟΜΗ	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	GSI
1	Άρρηκτη	Πολύ Καλή έως Μέτρια	74-84
2	Άρρηκτη έως Τεμαχώδης/ Αδιατάρακτη- Στρωματώδης	Πολύ Καλή έως Μέτρια	64-74
3	Τεμαχώδης/ Αδιατάρακτη-Στρωματώδης	Πολύ Καλή έως Μέτρια	57-67
4	Διαταραγμένη-Στρωματώδης/Πτυχωμένη	Πολύ Καλή έως Καλή-Μέτρια	40-50
5	Διαταραγμένη-Στρωματώδης/Πτυχωμένη	Μέτρια έως Πτωχή	28-38
6	Διαταραγμένη-Στρωματώδης/Πτυχωμένη έως Αποδιοργανωμένη	Πολύ Καλή έως Καλή-Μέτρια	35-45
7	Διαταραγμένη-Στρωματώδης/Πτυχωμένη έως Αποδιοργανωμένη	Μέτρια έως Πτωχή	25-35
8	Αποδιοργανωμένη	Πολύ Καλή έως Μέτρια	30-40
9	Αποδιοργανωμένη	Μέτρια-Πτωχή έως Πολύ Πτωχή	16-26

Πίνακας 4.2.10 Συνολικός πίνακας της δομής, της ποιότητας των ασυνεχειών και της αντίστοιχης τιμής GSI για κάθε κατηγορία βραχόμαζας του ιγκνιμβρίτη της ευρύτερης περιοχής



Μολάσσα υπό περιορισμό σε βάθος, είτε ετερογενής με εναλλαγές ψαμμίτη ή/και ιλυόλιθου ή/και κροκαλοπαγούς είτε λιθολογικά ομοιογενής

(M2) Έντονα κερματισμένη ή λατυποπαγής μολάσσα σε ζώνες ρηγμάτων

Σημειώσεις:

- Όταν δεν υπάρχουν ασυνέχειες στη βραχόμοζα, προτείνεται να χρησιμοποιούνται απευθείας εργαστηριακές δοκιμές.
- Το διάγραμμα GSI δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για χαλορά κροκολοπαγή. Το υλικό τότε μπορεί να προσομοιωθεί
- ως ένα ελαφρώς συγκολλημένο ποτάμων αποθέσεων (κυρίως χαλίκια) γεωυλικό
 - Εικόνα 4.2.2.1.1.1 Απεικόνιση των αντιπροσωπευτικών «ομάδων» GSI του ιγκνιμβρίτη της ευρύτερης περιοχής μελέτης, στο διάγραμμα του GSI για μολάσσα υπό περιορισμό

Το διάγραμμα που ακολουθεί, αναπαριστά τις τιμές GSI (άξονας χ) του ιγκνιμβρίτη από όλες τις δοθείσες γεωτρήσεις της ευρύτερης περιοχής της σήραγγας, χωρισμένες σε κατηγορίες, ανάλογα με την δομή και την ποιότητα των ασυνεχειών που τις χαρακτηρίζει, σε συνάρτηση με το πλήθος τους (N) δηλαδή με το πόσες φορές εμφανίζεται η κάθε μία τιμή (άξονας y).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Συγκεκριμένα, η κάθε κατηγορία δομής και ποιότητας ασυνεχειών, αναπαριστάται με διαφορετικό χρώμα και στον x άξονα αντιστοιχείται στις τιμές GSI που συμπεριλαμβάνει.



Διάγραμμα 4.2.2.10 Τιμές GSI (άξονας χ) του ιγκνιμβρίτη από το σύνολο των γεωτρήσεων της ευρύτερης περιοχής της σήραγγας, χωρισμένες σε κατηγορίες, ανάλογα την δομή και ποιότητα των ασυνεχειών που τις χαρακτηρίζει, σε συνάρτηση με το πλήθος τους (N)

Το επόμενο διάγραμμα, αναπαριστά τις τιμές GSI (άξονας χ) του ιγκνιμβρίτη από όλες τις δοθείσες γεωτρήσεις της ευρύτερης περιοχής της σήραγγας, σε συνάρτηση με το βάθος στο οποίο αυτές απαντώνται (άξονας y). Στόχος είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με την σχέση των δύο παραμέτρων και συνεπώς την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ενδεχόμενη δυνατότητα για σχετική «πρόβλεψη» των τιμών GSI με το βάθος.

Το γεγονός της χρήσης τιμών από όλες τις γεωτρήσεις της ευρύτερης περιοχής, παρέχει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα σχετικά με την συνολική συμπεριφορά του σχηματισμού, σε αντίθεση με την περίπτωση της εστίασης μόνο στην πολύ στενή περιοχή της σήραγγας.



Διάγραμμα 4.2.2.11 Τιμές GSI (άξονας x) του ιγκνιμβρίτη από όλες γεωτρήσεις της ευρύτερης περιοχής της σήραγγας, σε συνάρτηση με το βάθος (άξονας y)

Με μία πρώτη ματιά στο διάγραμμα δεν φαίνεται να υπάρχει συσχέτιση του GSI με το βάθος, αλλά συναντάται μία ποικιλία τιμών σε όλα σχεδόν τα βάθη. Όπως είναι εμφανές, οι γεωτρήσεις, στην πλειονότητά τους διανοίχτηκαν μέχρι τα 20-30m, με εξαίρεση μόνο μία (1) εξ αυτών που έφτασε τα 85m βάθους.

Ειδικότερα, μέχρι και το βάθος των 20m, παρατηρούνται τιμές GSI αρκετά μεγάλες αλλά και πολύ μικρές. Κάτω από το βάθος των 20m, αν εξαιρεθούν οι πέντε (5) τιμές που βρίσκονται μεταξύ του εύρους GSI=30-40 και αντιστοιχούν σε ζώνες χαμηλότερης ποιότητας πετρώματος, θα μπορούσε να παρατηρηθεί μία μικρή αύξηση-βελτίωση του GSI με το βάθος.



Διάγραμμα 4.2.2.12 Τιμές GSI (άξονας x) του ιγκνιμβρίτη σε συνάρτηση με το βάθος (άξονας y), ενώ διακρίνεται συσσώρευση τιμών σε δύο θέσεις στο διάγραμμα

Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι, μεγάλη συσσώρευση τιμών παρατηρείται σε δύο περιοχές του διαγράμματος. Η μία μεταξύ των τιμών GSI 30-40 και η δεύτερη μεταξύ των τιμών 60-85. Έτσι, με μία ευρύτερη ματιά, το σύνολο των τιμών GSI θα μπορούσε να χωριστεί σε δύο μεγάλες κατηγορίες, αυτή με τιμές <50 που εμφανίζονται σε όλα τα βάθη έως και 30m και αυτή με τιμές >60 με παρουσία σε όλα τα βάθη έως τα 85m. Η παρατήρηση αυτή ταυτίζεται με τις δύο ομάδες της μολάσσας (M1 και M2) στο διάγραμμα του GSI για περιορισμένη βραχόμαζα.

Επομένως, δεν χαρακτηρίζεται ως ασφαλής η περίπτωση της πρόβλεψης του GSI κάτω από την επιφάνεια και η εξαγωγή συμπερασμάτων για τις αναμενόμενες τιμές του σε βάθος από επιφανειακές παρατηρήσεις, αλλά προτείνεται σε κάθε περίπτωση η εκτέλεση γεωτρήσεων για τον ακριβή χαρακτηρισμό της βραχόμαζας υπό περιορισμό σύμφωνα με τον δείκτη γεωλογικής αντοχής.

Παρόλο λοιπόν που θα περίμενε κανείς ο σχηματισμός να εμφανίζεται με καλύτερη δομή σε βάθος, τούτο δεν συμβαίνει και το πιθανότερο είναι να οφείλεται στους παρακάτω παράγοντες. Διακλάσεις που φτάνουν σε μεγάλο βάθος από την

επιφάνεια και έχουν κερματίσει περεταίρω το πέτρωμα ή συνιζηματογενείς ζώνες διάρρηξης τοπικού χαρακτήρα.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

4.2.2.1.2 Γέω-στατιστική επεξεργασία τιμών GSI της στενής περιοχής της σήραγγας «Πέτρα» (6 γεωτρήσεις εκατέρωθεν)

Επίσης στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε για την στενή περιοχή της σήραγγας. Σε αυτήν χρησιμοποιήθηκαν οι γεωτρήσεις οι οποίες βρίσκονται αρκετά κοντά και προβάλλονται κάθετα σε αυτήν, αλλά και γεωτρήσεις που δεν προβάλλονται στη σήραγγα αλλά απέχουν ελάχιστα μέτρα εκατέρωθεν των στομίων και θεωρούνται αντιπροσωπευτικές για την στενή περιοχή.

Από αυτή την ανάλυση θα προκύψουν οι συχνότητες εμφάνισης των διαφόρων τιμών GSI, η ομαδοποίηση των τιμών GSI ανάλογα με την δομή και την ποιότητα ασυνεχειών και η σχέση του GSI με το βάθος κατά μήκος της σήραγγας. Τελικά, θα διευκρινιστεί ποιές από τις εννέα (9) κατηγορίες βραχόμαζας που προέκυψαν παραπάνω για την ευρύτερη περιοχή, συναντώνται στην στενή περιοχή μελέτης.

Ακολουθεί πίνακας με τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των τιμών GSI των γεωτρήσεων της πολύ στενής περιοχής.

Στατιστική Ανάλυση			
GSI			
Ν	Valid	44	
	Missing	0	
Mean		57,18	
Std. Error of Mean		3,188	
Median		65,00	
Mode		65	
Std. Deviation		21,150	
Minimum		17	
Maximum		83	
Percentiles	25	38,50	
	50	65,00	
	75	77,00	

Πίνακας 4.2.11 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη της στενής περιοχής μελέτης


Διάγραμμα 4.2.2.13 Ιστόγραμμα συχνότητας εμφάνισης των τιμών GSI της στενής περιοχής της σήραγγας «Πέτρα»

Από το ιστόγραμμα παρατηρείται συσσώρευση τιμών σε δύο περιοχές, η μία περίπου μεταξύ 15-45 και η δεύτερη μεταξύ 60-85. Όπως προαναφέρθηκε, το γεγονός αυτό ομοιάζει με την περίπτωση των ομάδων M1 και M2 του διαγράμματος GSI για περιορισμένη μολάσσα. Το θηκόγραμμα των τιμών φαίνεται στη συνέχεια.





Το πρώτο διάγραμμα που ακολουθεί, αναπαριστά μία προς μία, τις τιμές GSI (άξονας x) του ιγκνιμβρίτη από τις διαθέσιμες γεωτρήσεις στην στενή περιοχή της σήραγγας, σε συνάρτηση με την συχνότητα εμφάνισής τους (άξονας y), δηλαδή το πόσες φορές καταμετρούνται στο σύνολο των τιμών (N=44).



Διάγραμμα 4.2.2.15 Τιμές GSI (άξονας x) του ιγκνιμβρίτη στην στενή περιοχή της σήραγγας, σε συνάρτηση με την συχνότητα εμφάνισής τους (άξονας y)

Μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης (8 φορές) παρατηρείται για την τιμή GSI=65, καθώς επίσης οι τιμές GSI=40 και 80, εμφανίζονται 4 και 5 φορές αντίστοιχα, στις γεωτρήσεις, με αμέσως επόμενη μεγαλύτερη εμφάνιση (3 φορές) να κάνουν οι τιμές του γεωλογικού δείκτη αντοχής 60, 77 και 82.

Το δεύτερο διάγραμμα που ακολουθεί, αναπαριστά μία προς μία, τις τιμές GSI (άξονας χ) του ιγκνιμβρίτη από όλες τις δοθείσες γεωτρήσεις της στενής περιοχής της σήραγγας, σε συνάρτηση με το ποσοστό επί τοις εκατό (%) στο οποίο αυτές απαντώνται ως προς το σύνολο των τιμών (100%), δηλαδή σε συνάρτηση με τη σχετική συχνότητα εμφάνισής τους (άξονας y).



Διάγραμμα 4.2.2.16 Τιμές GSI (άξονας x) του ιγκνιμβρίτη της στενής περιοχής της σήραγγας, σε συνάρτηση με το ποσοστό επί τοις εκατό (%) στο οποίο αυτές απαντώνται ως προς το σύνολο των τιμών (100%)

Παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό (18.2%) αντιστοιχεί στην τιμή GSI=65.

Το τρίτο διάγραμμα που ακολουθεί, αναπαριστά τις τιμές GSI (άξονας χ) του ιγκνιμβρίτη από όλες τις δοθείσες γεωτρήσεις της ευρύτερης περιοχής της σήραγγας, ανά ομάδες των 10 μονάδων, σε συνάρτηση με το ποσοστό επί τοις εκατό (%) στο οποίο αυτές απαντώνται ως προς το σύνολο των τιμών (100%), δηλαδή σε συνάρτηση με τη σχετική συχνότητα εμφάνισής τους (άξονας y).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Η ομαδοποίηση των τιμών GSI ανά 10 μονάδες, πραγματοποιήθηκε μέσω της εντολής Visual Binning του SPSS, μόνο με σκοπό την δημιουργία ευρύτερων στηλών (μπάρες) και τον σχηματισμό μίας πιο ξεκάθαρης άποψης για την κατανομή των μεγεθών και όχι μόνο ανά μία τιμή, όπως στα προηγούμενα διαγράμματα. Δηλαδή οι λόγοι είναι καθαρά οπτικοί. Η προαναφερθείσα εντολή λοιπόν, «έκοψε» την σειρά αυτή των τιμών GSI του προηγούμενου διαγράμματος, σε εύρη ανά 10 μονάδες και προέκυψε το ακόλουθο διάγραμμα.



Διάγραμμα 4.2.2.17 Εύρη τιμών GSI ανά 10 μονάδες σε συνάρτηση με την σχετική συχνότητα εμφάνισής τους

Την μεγαλύτερη σχετική συχνότητα καταλαμβάνει το εύρος τιμών GSI=70-80 (~27%), ενώ ακολουθεί το εύρος 30-40 (~23%).

Αρχικά, οι τιμές GSI διακρίθηκαν με βάση την δομή που χαρακτηρίζει το πέτρωμα και έπειτα διακρίθηκαν περεταίρω ανάλογα την ποιότητα των ασυνεχειών. Η πρώτη διάκριση έγινε εύκολα και γρήγορα, χωρίς στατιστική επεξεργασία, παρά μόνο με την εφαρμογή φίλτρου στην στήλη «ΔΟΜΗ» του Excel. Οι δομές που απαντήθηκαν στον σχηματισμό του ιγκνιμβρίτη της πολύ στενής περιοχής της σήραγγας, υπογραμμίζονται στον ακόλουθο πίνακα των συνολικών δομών που είχαν προκύψει για όλον τον σχηματισμό.

Ψηφι Βιβ	ακή συ. λιοθ	λλογή ήκη
" ⊖EO⊈	a/a	ΔΟΜΗ
Janaph	1 <mark>1</mark> εω	Αρρηκτη
0	2 3	Αρρηκτη εως Τεμαχωσης/ Ασιαταρακτη-Στρωματωσης
	4	Διαταραγμένη-Στρωματώδης/Πτυχωμένη
	<mark>5</mark>	Διαταραγμένη-Στρωματώδης/Πτυχωμένη έως Αποδιοργανωμένη
	6	Αποδιοργανωμένη

Πίνακας 4.2.12 Οι δομές βραχόμαζας που απαντήθηκαν στον σχηματισμό του ιγκνιμβρίτη της στενής περιοχής της σήραγγας, υπογραμμίζονται μεταξύ των συνολικών δομών που προέκυψαν για όλον τον σχηματισμό

Συμπεραίνεται ότι στην στενή περιοχή της σήραγγας εμφανίζονται μόνο οι 4 από τις 6 δομές που σημειώθηκαν στο σύνολο του σχηματισμού της περιοχής. Το πλήθος τιμών για κάθε περίπτωση δομής παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα.





Στη συνέχεια φαίνεται το διάγραμμα του GSI σε συνάρτηση ,με την συχνότητα εμφάνισης των τιμών για κάθε δομή που απαντήθηκε στις γεωτρήσεις της σήραγγας. Συγκεκριμένα, η κάθε κατηγορία δομής αναπαριστάται με διαφορετικό χρώμα και στον x άξονα αντιστοιχείται στις τιμές GSI που συμπεριλαμβάνει. Διακρίνονται ξεκάθαρα οι διαφορετικές ομάδες τιμών που περιλαμβάνει η κάθε κατηγορία δομής, με εξαίρεση μόνο την περίπτωση της «Διαταραγμένης-Στρωματώδους/Πτυχωμένης έως Αποδιοργανωμένης» δομής και «Αποδιοργανωμένης» δομής όπου τα εύρη GSI αλληλεπικαλύπτονται ελαφρώς.



Διάγραμμα 4.2.2.19 Τιμές GSI σε συνάρτηση με την συχνότητα εμφάνισής τους για κάθε δομή βραχόμαζας της στενής περιοχής μελέτης

Στο διάγραμμα διασποράς που ακολουθεί, απεικονίζονται οι τιμές GSI που έχουν δοθεί σε κάθε ένα τμήμα των γεωτρήσεων, στη στενή περιοχή της σήραγγας, σε συνάρτηση με το βάθος. Παρατηρείται μία τάση για αύξηση των τιμών GSI με την αύξηση του βάθους. Παρόλαυτα, τόσο μεγάλες όσο και μικρές τιμές GSI εντοπίζονται σε βάθη έως 15m, ενώ βαθύτερα οι μικρές τιμές GSI παύουν να εμφανίζονται και δεσπόζουν όλο και μεγαλύτερες. Το προαναφερθέν, γίνεται αντιληπτό και από την γραμμική γραμμή τάσης που προέκυψε που δείχνει αύξηση με την αύξηση του βάθους.



Διάγραμμα 4.2.2.20 Τιμές GSI στη στενή περιοχή της σήραγγας, σε συνάρτηση με το βάθος

Αξίζει να αναφερθεί ότι η αυξητική σχέση των τιμών GSI με το βάθος, γίνεται πιο ξεκάθαρη με την απάλειψη ορισμένων τιμών που αποκλίνουν από το σύνολο (outliers). Αυτές είναι τιμές κυρίως μικρές που εμφανίζονται σε μεγάλα βάθη, εκεί όπου υπό κανονικές συνθήκες δεν αναμένονταν να είναι παρούσες.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Με βάση την κρίση της γράφουσας, «outliers» θεωρούνται οι τιμές GSI=40 σε βάθος 27m περίπου, GSI=18 σε βάθος 12.7m, GSI=23 σε βάθος 11.3m, GSI=35 σε βάθος 16.4m και GSI=23 σε βάθος 13m περίπου. Τούτο το φαινόμενο ενδεχομένως να οφείλεται είτε σε διακλάσεις οι οποίες συνεχίζονται σε βάθος στον σχηματισμό του ιγκνιμβρίτη, είτε σε συνιζηματογενείς, τοπικού χαρακτήρα ζώνες διάρρηξης. Στο παρακάτω διάγραμμα έχουν απαλειφτεί οι τιμές αυτές.



Διάγραμμα 4.2.2.21 Τιμές GSI στη στενή περιοχή της σήραγγας, σε συνάρτηση με το βάθος, ενώ έχουν απαλειφθεί οι τιμές «outliers»

Στη συνέχεια, για την κάθε μία δομή θα πραγματοποιηθεί στατιστική επεξεργασία των τιμών τους και θα διευκρινιστεί σε ποιές από τις 9 κατηγορίες GSI που διακρίθηκαν για την ευρύτερη περιοχή, ανήκουν.

Στατιστική Ανάλυση						
		INTACT (MASSIVE)	BLOCKY	BL/DIST/SE - DISINTEGR	DISINTEGR	
Ν	Valid	16	11	3	13	
	Missing	85	90	98	88	
Mean		78,63	63,64	39,67	31,85	
Std. Erro	or of Mean	,769	,704	2,333	2,388	
Median		80,00	65,00	42,00	34,00	
Mode		80	65	42	40	
Std. Dev	viation	3,074	2,335	4,041	8,611	
Minimu	m	73	60	35	17	
Maximum		83	65	42	40	
Percent	25	75,50	60,00	35,00	23,00	
iles	50	80,00	65,00	42,00	34,00	
	75	81,50	65,00	•	40,00	

Πίνακας 4.2.13 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών GSI για τις δομές της βραχόμαζας που απαντήθηκαν στη στενή περιοχή της σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα»)

АРРНКТН

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

μήμα Γεωλογίας

Η μέγιστη και ελάχιστη τιμή GSI για την συγκεκριμένη δομή, είναι αντίστοιχα GSI_{max}=83 και GSI_{min}=73, με μέση τιμή GSI_{mean}= 79 και τυπική απόκλιση ±3. Με εφαρμογή φίλτρου στην αντίστοιχη στήλη στο excel, διακρίνεται η ποιότητα των ασυνεχειών από «πολύ καλή» έως «καλή-μέτρια». Συνεπώς η κατηγορία αυτή ανήκει στην 1^η ομάδα τιμών GSI (74-84) με «άρρηκτη» δομή και «πολύ καλή έως μέτρια» ποιότητα ασυνεχειών.

ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ/ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ

Η μέγιστη και ελάχιστη τιμή GSI για την συγκεκριμένη δομή, είναι αντίστοιχα GSI_{max}=65 και GSI_{min}=60, με μέση τιμή GSI_{mean}= 64 και τυπική απόκλιση ±9. Με εφαρμογή φίλτρου στην αντίστοιχη στήλη στο excel, διακρίνεται η ποιότητα των ασυνεχειών από «καλή» έως «καλή-μέτρια». Συνεπώς η κατηγορία αυτή ανήκει στην 3^η ομάδα τιμών GSI (57-67) με «τεμαχώδη/ αδιατάρακτη-στρωματώδη» δομή και «πολύ καλή έως μέτρια» ποιότητα ασυνεχειών.

ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ ΕΩΣ ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ

Η μέγιστη και ελάχιστη τιμή GSI για την συγκεκριμένη δομή, είναι αντίστοιχα GSI_{max}=42 και GSI_{min}=35, με μέση τιμή GSI_{mean}= 40 και τυπική απόκλιση ±4. Με εφαρμογή φίλτρου στην αντίστοιχη στήλη στο excel, διακρίνεται η ποιότητα των ασυνεχειών από «καλή» έως «μέτρια». Συνεπώς η κατηγορία αυτή ανήκει στην 6^η ομάδα τιμών GSI (35-45) με «διαταραγμένη-στρωματώδη/πτυχωμένη έως αποδιοργανωμένη» δομή και «πολύ καλή έως καλή-μέτρια» ποιότητα ασυνεχειών.

ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ

Η μέγιστη και ελάχιστη τιμή GSI για την συγκεκριμένη δομή, είναι αντίστοιχα GSI_{max}=40 και GSI_{min}=17, με μέση τιμή GSI_{mean}= 32 και τυπική απόκλιση ±4. Με εφαρμογή φίλτρου στην αντίστοιχη στήλη στο excel, διακρίνεται η ποιότητα των ασυνεχειών από «καλή» έως «πτωχή- πολύ πτωχή».



Διάγραμμα 4.2.2.22 Συχνότητα εμφάνισης των τιμών GSI με «Αποδιοργανωμένη» δομή

Στο παραπάνω ιστόγραμμα διακρίνονται μπάρες και στις δύο κατηγορίες στις οποίες χωρίστηκε η αποδιοργανωμένη δομή με βάση την ποιότητα των ασυνεχειών (GSI=16-26 και GSI= 30-40). Συνεπώς, μερικές από τις τιμές της κατηγορίας αυτής ανήκουν στην 8^η ομάδα τιμών GSI (30-40) με «αποδιοργανωμένη» δομή και «πολύ καλή» έως «μέτρια» ποιότητα ασυνεχειών και οι υπόλοιπες στην 9^η ομάδα, με «αποδιοργανωμένη» δομή και «μέτρια- πτωχή» έως «πτωχή- πολύ πτωχή» ποιότητα ασυνεχειών.

Ακολουθεί διάγραμμα τιμών GSI της «αποδιοργανωμένης» δομής σε συνάρτηση με την συχνότητα εμφάνισής τους, στο οποίο απεικονίζεται με διαφορετικό χρώμα η 8^η και 9^η ομάδα τιμών GSI, που διακρίθηκαν ανάλογα την ποιότητα των ασυνεχειών της εν λόγω δομής στον σχηματισμό.



Διάγραμμα 4.2.2.23 Τιμές GSI της «Αποδιοργανωμένης» δομής σε συνάρτηση με την συχνότητα εμφάνισής τους. Απεικονίζεται με διαφορετικό χρώμα η 8ⁿ και 9ⁿ ομάδα τιμών GSI, που διακρίθηκαν βάση της ποιότητας των ασυνεχειών της εν λόγω δομής

Στον επόμενο πίνακα, ο οποίος είχε προκύψει από την ομαδοποίηση των τιμών GSI των γεωτρήσεων της ευρύτερης περιοχής, υπογραμμίστηκαν εκείνες οι ομάδες οι οποίες εμφανίζονται και στις γεωτρήσεις της υπό μελέτη σήραγγας.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

α/α	ΔΟΜΗ	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	GSI
1	Άρρηκτη	<mark>Πολύ Καλή έως Μέτρια</mark>	<mark>74-84</mark>
2	Άρρηκτη έως Τεμαχώδης/ Αδιατάρακτη- Στρωματώδης	Πολύ Καλή έως Μέτρια	65-75
<mark>3</mark>	Τεμαχώδης/ Αδιατάρακτη-Στρωματώδης	<mark>Πολύ Καλή έως Μέτρια</mark>	<mark>57-67</mark>
4	Διαταραγμένη-Στρωματώδης/Πτυχωμένη	Πολύ Καλή έως Καλή-Μέτρια	40-50
5	Διαταραγμένη-Στρωματώδης/Πτυχωμένη	Μέτρια έως Πτωχή	28-38
<mark>6</mark>	<mark>Διαταραγμένη-Στρωματώδης/Πτυχωμένη</mark> έως Αποδιοργανωμένη	Πολύ Καλή έως Καλή-Μέτρια	<mark>35-45</mark>
7	Διαταραγμένη-Στρωματώδης/Πτυχωμένη έως Αποδιοργανωμένη	Μέτρια έως Πτωχή	25-35
<mark>8</mark>	Αποδιοργανωμένη	<mark>Πολύ Καλή έως Μέτρια</mark>	<mark>30-40</mark>
<mark>9</mark>	Αποδιοργανωμένη	<mark>Μέτρια-Πτωχή έως Πολύ</mark> <mark>Πτωχή</mark>	<mark>16-26</mark>

Πίνακας 4.2.14 Συγκεντρωτικός πίνακας των ομάδων GSI της ευρύτερης περιοχής, με υπογράμμιση εκείνων που εμφανίζονται και στις γεωτρήσεις της υπό μελέτη σήραγγας

4.2.2.1.3. Επίδραση του νερού στις τιμές GSI

Στο σημείο αυτό, πρέπει να γίνει μία σημαντική παρατήρηση. Ισχύει ότι ο ιγκνιμβρίτης χαρακτηρίζεται από την παρουσία δευτερογενούς πορώδους, διαμέσου του οποίου δύναται να κυκλοφορεί νερό, ιδιαίτερα τους υγρούς μήνες του υδρολογικού έτους, οπού αναμένονται αιφνίδιες-παροδικές εισροές στη σήραγγα.

Δεδομένου λοιπόν ότι η ύπαρξη νερού έχει αρνητική επίδραση στην τιμή της αντοχής σε θλίψη του άρρηκτου πετρώματος (σ_{ci}) όπως και στην τιμή της σταθεράς m_i, διαπιστώνεται ότι η παρουσία του νερού είναι ενδεχόμενο να αναδειχθεί σε σχετικά κρίσιμο παράγοντα για επιμέρους τμήματα της υπόγειας διάνοιξης. Για τον καθορισμό των παραμέτρων σ_{ci} και m_i υπό καθεστώς νερού, απαιτείται εκτέλεση εξειδικευμένων δοκιμών επιτόπου του έργου, ενώ δεν υπάρχουν στη βιβλιογραφία ποσοτικές εκτιμήσεις για τη μείωση που θα πρέπει να γίνει σε αυτές, λόγω παρουσίας υπόγειου νερού.

Επομένως θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ύπαρξη υπόγειου νερού, κατά την κατηγοριοποίηση της βραχόμαζας με βάση το GSI, έτσι ώστε οι τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων της βραχόμαζας να απομειώνονται, εν τέλει, κατάλληλα.

Συγκεκριμένα, η παραπάνω ταξινόμηση κατά GSI πραγματοποιήθηκε μόνο σύμφωνα με την δομή της βραχόμαζας και την ποιότητα των ασυνεχειών της. Πέραν όμως των δύο παραπάνω παραμέτρων πρέπει να ληφθεί υπόψη η δυσμενής επίδραση του νερού στην αντοχή της βραχόμαζας κατά τις δημοσιεύσεις των Marinos & Hoek (2000).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Σύμφωνα με αυτές, επειδή «η διατμητική αντοχή των επιφανειών σε βράχους που υπόκειται σε εξασθένηση λόγω διακύμανσης της περιεκτικότητας σε υγρασία είναι περεταίρω μειωμένη όταν υπάρχει νερό», συνίσταται μικρή μετακίνηση του δείκτη GSI προς τα δεξιά, όταν οι βραχόμαζες ανήκουν στις τρείς (3) τελευταίες στήλες του διαγράμματος (μέτρια έως πτωχή κατηγορία). Από την άλλη, η υδροστατική πίεση λαμβάνεται υπόψη ανεξάρτητα, με την ανάλυση ενεργών τάσεων κατά τον σχεδιασμό και όχι μέσα από το GSI (Μαρίνος Β., παρουσίαση).

Έτσι λοιπόν, το εύρος τιμών που δίνεται ακολούθως για το GSI στην στενή περιοχή της σήραγγας, αντιστοιχεί σε χαμηλότερο εύρος τιμών της κατηγορίας κατάταξης της βραχόμαζας βάση της εν γένη δομής της και της ποιότητας ασυνεχειών, αφού έχει απομειωθεί περαιτέρω λόγω του νερού. Συνεπώς, με βάση το τελικό αυτό εύρος τιμών GSI, θα γίνει η εξαγωγή των αντιπροσωπευτικών τιμών των γεωτεχνικών παραμέτρων του κριτηρίου Hoek and Brown.

Παρακάτω παρουσιάζεται η στατιστική επεξεργασία των τιμών GSI, όντας απομειωμένες λόγω του νερού. Η απομείωση έγινε ξεχωριστά για κάθε μία τιμή του GSI στην οποία η παράμετρος της ποιότητας των ασυνεχειών ήταν μέτρια έως πολύ πτωχή. Αυτή πραγματοποιήθηκε κατά 5 μονάδες περίπου για κάθε εύρος. Για παράδειγμα ένα εύρος τιμών 30-40 που αντιστοιχούσε σε δομή «διαταραγμένηστρωματώδη/πτυχωμένη» με «μέτρια» ποιότητα ασυνεχειών, μετά την απομείωση λόγω παρουσίας νερού, έλαβε τιμή 25-35, δηλαδή δομή πάλι «διαταραγμένηστρωματώδη/πτυχωμένη», αλλά με «μέτρια - πτωχή» ποιότητα ασυνεχειών, λόγω της μετακίνησης προς τα δεξιά στο διάγραμμα.

Στατιστική Ανάλυση											
α/α		1	2	3a	3 b	4a	4b	5a	5b	6a	6b
Δομή_Ποιότητα ασυν	νεχειών	ar_kl	ar_tas_kl	tas_kl	tas_kk	dsp_kl	dsp_kk	dsp_ap_kl	dsp_ap_kk	ap_kl	ap_kk
Ν	Valid	101	14	41	7	19	9	9	16	26	25
	Missing	0	87	60	94	82	92	92	85	75	76
Mean		78,58	68,79	64,24	46,29	43,68	27,44	39,78	26,19	36,19	18,00
Std. Error of Mean		,540	1,635	,535	,969	,773	,626	,997	,684	,597	1,077
Median		77,00	65,00	65,00	45,00	43,00	28,00	38,00	25,00	35,00	20,00

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Mode		75	65	65	45	40 ^a	28	37 ^a	25	33	20
Std. Deviation	εωλογί	5,430	6,117	3,426	2,563	3,367	1,878	2,991	2,738	3,047	5,385
Minimum		60	58	60	44	40	23	37	20	32	8
Maximum		90	80	70	50	50	30	45	32	42	27
Percentiles	25	75,00	65,00	60,00	45,00	40,00	27,00	37,00	25,00	33,00	12,00
	50	77,00	65,00	65,00	45,00	43,00	28,00	38,00	25,00	35,00	20,00
	75	83,00	75,00	65,00	50,00	45,00	28,00	42,00	28,00	39,00	21,50

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

Πίνακας 4.2.15 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών GSI μετά από απομείωσή τους λόγω του νερού. Όπου ar: άρρηκτη δομή, ar_tas: άρρηκτη έως τεμαχώδης-αδιατάρακτη/στρωματώδης δομή, tas: τεμαχώδης-αδιατάρακτη/στρωματώδης, dsp: διαταραγμένη-στρωματώδης/πτυχωμένη, dsp_ap:διαταραγμένη-στρωματώδης/πτυχωμένη έως αποδιοργανωμένη, ap: αποδιοργανωμένη, kl: καλή ποιότητα ασυνεχειών, kk: κακή ποιότητα ασυνεχειών

Έτσι λοιπόν, οι τιμές διαμορφώνονται όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

α/α	ΔОМН	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	GSI
1	Άρρηκτη	Πολύ Καλή έως Μέτρια	74-84
2	Άρρηκτη έως Τεμαχώδης/ Αδιατάρακτη-Στρωματώδης	Πολύ Καλή έως Μέτρια	65-75
3a	Τεμαχώδης/ Αδιατάρακτη-Στρωματώδης	Πολύ Καλή έως Καλή-Μέτρια	60-70
3b	Τεμαχώδης/ Αδιατάρακτη-Στρωματώδης	Μέτρια έως Πτωχή	40-50
4a	Διαταραγμένη-Στρωματώδης/Πτυχωμένη	Πολύ Καλή έως Καλή-Μέτρια	40-50
4b	Διαταραγμένη-Στρωματώδης/Πτυχωμένη	Μέτρια έως Πτωχή	23-30
5a	Διαταραγμένη-Στρωματώδης/Πτυχωμένη έως Αποδιοργανωμένη	Πολύ Καλή έως Καλή-Μέτρια	37-45
5b	Διαταραγμένη-Στρωματώδης/Πτυχωμένη έως Αποδιοργανωμένη	Μέτρια έως Πτωχή	20-30
6a	Αποδιοργανωμένη	Πολύ Καλή έως Καλή-Μέτρια	32-42
6b	Αποδιοργανωμένη	Μέτρια έως Πολύ Πτωχή	13-23

Πίνακας 4.2.16 Τελικές κατηγορίες τιμών GSI μετά από απομείωσή τους λόγω του νερού

Να αναφερθεί εδώ ότι η κατηγορία της «άρρηκτης» δομής και της «άρρηκτης έως τεμαχώδους/ αδιατάρακτης-στρωματώδους», έμειναν ως έχει, καθώς η ποιότητα των ασυνεχειών τους ήταν σε γενικές γραμμές «καλή» και συνεπώς δεν επιδέχεται απομείωση λόγω της παρουσίας νερού, σύμφωνα με τους Marinos & Hoek (2000).

Η κατηγορία που χωρίστηκε σε δύο επιμέρους ομάδες ανάλογα την ποιότητα των ασυνεχειών είναι αυτή της «Τεμαχώδους/ Αδιατάρακτης-Στρωματώδους» δομής, καθώς σε N=7 τιμές εκ του συνόλου (N=48) έγινε απομείωση των τιμών με μεταφορά τους προς τα δεξιά του διαγράμματος.

Τέλος, οι υπόλοιπες κατηγορίες παρέμειναν ως έχει, δηλαδή με μία «καλύτερη» και μία «χειρότερη» ομάδα ποιότητας ασυνεχειών, με μικρές μόνο αλλαγές στα αντιπροσωπευτικά εύρη τιμών τους, μιας και η ομάδες με την «χειρότερη» ποιότητα ασυνεχειών υπέστησαν απομείωση.



Μ1 Μολάσσα υπό περιορισμό σε βάθος, είτε ετερογενής με εναλλαγές ψαμμίτη ή/και ιλυόλιθου ή/και κροκαλοπαγούς είτε λιθολογικά ομοιογενής

(M2) Έντονα κερματισμένη ή λατυποπαγής μολάσσα σε ζώνες ρηγμάτων

Σημειώσεις:

Ψηφιακή συλλογή

Όταν δεν υπάρχουν ασυνέχειες στη βραχόμοζα, προτείνεται να χρησιμοποιούνται απευθείας εργαστηριακές δακιμές

 Το διάγραμμα GSI δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για χαλαρά κροκολοπογή. Το υλικό τότε μπορεί να προσομοιωθεί ως ένα ελαφρώς συγκολλημένα ποτόμιων αποθέσεων (κυρίως χαλίκα) γεωυλικό

Εικόνα 4.2.2.3.1 Διάγραμμα του Δείκτη Γεωλογικής αντοχής (GSI) για μολάσσα περιορισμένη σε βάθος, με αποτύπωση των περιοχών που αντιστοιχούν στις παρατηρούμενες ομάδες τιμών της ευρύτερης περιοχής μελέτης

Δ Στη συνέχεια θα επισημανθεί μετά από στατιστική ανάλυση, ποιες από τις κατηγορίες αυτές απαντώνται στην στενή περιοχή της σήραγγας. Η στατιστική ανάλυση των τιμών των εν λόγω γεωτρήσεων παρουσιάζεται ακολούθως.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Γμήμα Γεωλογίας

Στατιστική Ανάλυση								
		AR_K_TU	AR_K_TU TAS_K_TU DSP_AP_KL_TU DSP_AP_KK_TU		DSP_AP_KK_TU	AP_KL_TU	AP_KK_TU	
		Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	Ν	
Ν	Valid	16	11	2	1	9	4	
	Missin	85	90	99	100	92	97	
	g							
Mean		78,63	63,64	42,00	30,00	37,00	15,25	
Std. Error	of Mean	,769	,704	,000		1,067	1,601	
Median		80,00	65,00	42,00	30,00	38,00	15,50	
Mode		80	65	42	30	40	18	
Std. Devia	tion	3,074	2,335	,000		3,202	3,202	
Minimum		73	60	42	30	33	12	
Maximum		83	65	42	30	40	18	
Percentile	25	75,50	60,00	42,00	30,00	33,50	12,25	
s	50	80,00	65,00	42,00	30,00	38,00	15,50	
	75	81,50	65,00	42,00	30,00	40,00	18,00	

Πίνακας 4.2.17 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών GSI της στενής περιοχής, μετά από απομείωσή τους λόγω του νερού

Οι κατηγορίες που είναι παρούσες στη σήραγγα, υπογραμμίζονται στον παρακάτω πίνακα και κυκλώνεται η θέση τους στο διάγραμμα του GSI.

α/α	ΔΟΜΗ	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	GSI
1	<mark>Άρρηκτη</mark>	<mark>Πολύ Καλή έως Μέτρια</mark>	<mark>74-84</mark>
2	Άρρηκτη έως Τεμαχώδης/ Αδιατάρακτη- Στρωματώδης	Πολύ Καλή έως Μέτρια	65-75
3a	Τεμαχώδης/ Αδιατάρακτη-Στρωματώδης	<mark>Πολύ Καλή έως Καλή-Μέτρια</mark>	<mark>60-70</mark>
3b	Τεμαχώδης/ Αδιατάρακτη-Στρωματώδης	Μέτρια έως Πτωχή	43-50
4a	Διαταραγμένη-Στρωματώδης/Πτυχωμένη	Πολύ Καλή έως Καλή-Μέτρια	40-50
4b	Διαταραγμένη-Στρωματώδης/Πτυχωμένη	Μέτρια έως Πτωχή	23-30
5a	<mark>Διαταραγμένη-Στρωματώδης/Πτυχωμένη</mark> έως Αποδιοργανωμένη	Πολύ Καλή έως Καλή-Μέτρια	<mark>37-45</mark>
5b	<mark>Διαταραγμένη-Στρωματώδης/Πτυχωμένη</mark> <mark>έως Αποδιοργανωμένη</mark>	Μέτρια έως Πτωχή	<mark>20-30</mark>
6a	Αποδιοργανωμένη	<mark>Πολύ Καλή έως Καλή-Μέτρια</mark>	<mark>32-42</mark>
6b	Αποδιοργανωμένη	Μέτρια έως Πολύ Πτωχή	<mark>13-23</mark>

Πίνακας 4.2.18 Κατηγορίες τιμών GSI μετά από απομείωσή τους λόγω του νερού και υπογράμμιση αυτών που απαντώνται στη στενή περιοχή μελέτης



Μολάσσα υπό περιορισμό σε βάθος, είτε ετερογενής με εναλλαγές ψαμμίτη ή/και ιλυόλιθου ή/και κροκαλοπαγούς είτε λιθολογικά ομοιογενής

(M2) Έντονα κερματισμένη ή λατυποπαγής μολάσσα σε ζώνες ρηγμάτων

Σημειώσεις:

Ψηφιακή συλλογή

Όταν δεν υπάρχουν ασυνέχειες στη βραχόμαζα, προτείνεται να χρησιμοποιούνται απευθείας εργαστηριακές δοκιμές.

 Το διάγραμμα GSI δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για χαλορά κροκολοπογή. Το υλικό τότε μπορεί να προσομοιωθεί ως ένα ελαφρώς συγκολλημένα ποτάμιων αποθέσεων (κυρίως χαλίκια) γεωυλικό

Εικόνα 4.2.2.1.3.1 Διάγραμμα του Δείκτη Γεωλογικής αντοχής (GSI) για μολάσσα περιορισμένη σε βάθος, με αποτύπωση των περιοχών που αντιστοιχούν στις παρατηρούμενες ομάδες τιμών της στενής περιοχής μελέτης Οι τιμές GSI κατά μήκος της σήραγγας και ως προς το βάθος, φαίνονται στην παρακάτω τεχνικογεωλογική μηκοτομή. Παρατηρήται συγκεκριμένα ότι κατά μήκος της σχεδιαζόμενης εκσκαφής, «αγγίζεται» κατά βάση το εύρος 74-84 (σκούρο πράσσινο) και δευτερευόντως απαντώνται λίγα σε αριθμό και κατά τόπους μικρότερα εύρη, με βασικότερα αυτά στη γεώτρηση ΔΟ-28, καθώς στις υπόλοιπες γεωτρήσεις (π.χ. Γ-27) αντιστοιχούν σε επιφανειακές αξιολογήσεις.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη





Εικόνα 4.2.2.1.3.2 Τεχνικογεωλογική μηκοτομή της σήραγγας «Πέτρα» με την κατά βάθος χρωματική απεικόνιση των τιμών GSI

4.2.2.2. Δείκτης Κερματισμού του Πετρώματος (RQD)

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

А.П.Ө

Ο δείκτης RQD που εξάχθηκε με βάση τους πυρήνες των γεωτρήσεων ανά βουτιά, υποβλήθηκε επίσης σε στατιστική επεξεργασία. Σκοπός είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων για την συχνότητα εμφάνισης της κάθε τιμής RQD του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη, τόσο κατά μήκος της στενής περιοχής της σήραγγας όσο και της ευρύτερης περιοχής στην οποία υπήρχαν διαθέσιμες γεωτρήσεις.

Επιπλέον, οι τιμές RQD ομαδοποιούνται με βάση την προτεινόμενη κατηγοριοποίησή τους κατά Deree et al (1967) που φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

RQD (%)	Ποιότητα πετρώματος
90-100	Εξαιρετική (Excellent)
75-90	Καλή (Good)
50-75	Μέτρια (Fair)
25-50	Φτωχή (Poor)
<25	Πολύ φτωγή (Very poor)

Πίνακας 4.2.19 Πίνακας ταξινόμησης πετρώματος κατά RQD (Rock Quality Designation) κατά Deree et al (1967)

Τέλος, για τον συγκεκριμένο σχηματισμό, θα προκύψουν στοιχεία σχετικά με την σχέση του RQD με το βάθος, τόσο στην στενή περιοχή όσο και σε μεγαλύτερη απόσταση από το τεχνικό έργο.

4.2.2.2.1. Γέω-στατιστική επεξεργασία τιμών RQD της ευρύτερης περιοχής (όλης της παραλλαγής της χάραξης)

Το σύνολο των τιμών που αξιολογήθηκαν ήταν N=360. Τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Στατιστική Ανάλυση				
RQD				
N	Valid	360		
	Missing	0		
Mean		64,76		
Std. Error of	1,611			
Median	70,00			
Mode		100		
Std. Deviation	on	30,564		
Minimum		0		
Maximum	100			
Percentiles	25	45,00		
	50	70,00		
	75	92,75		

Πίνακας 4.2.20 Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης για τις τιμές RQD της ευρύτερης περιοχής μελέτης



Ψηφιακή συλλογή



Διάγραμμα 4.2.2.24 Τιμές RQD (%) σε συνάρτηση με τη συχνότητα εμφάνισής τους

Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει την συχνότητα εμφάνισης (Ν φορές) των τιμών RQD που έχουν προκύψει από την αξιολόγηση όλων των διαθέσιμων πυρήνων γεωτρήσεων, της ευρύτερης περιοχής του έργου. Συγκεκριμένα απεικονίζονται σε «μπάρες» οι τιμές RQD που έχουν αποδοθεί στον σχηματισμό, σε συνάρτηση με το πόσες φορές απαντώνται κάθε φορά οι ίδιες.



Διάγραμμα 4.2.2.25 Συχνότητα εμφάνισης (Ν φορές) των τιμών RQD της ευρύτερης περιοχής του έργου

Γίνεται αντιληπτή από το παραπάνω διάγραμμα η μεγάλη επικράτηση των τιμών RQD = 100% με εμφάνιση N=57 φορές, δευτερευόντως κυριαρχούν και οι τιμές RQD =0% με εμφάνιση N=23 φορές, ενώ τιμές RQD με σχετικά μεγαλύτερη καταμέτρησή τους στο σύνολο είναι αυτές που εμφανίζονται 10-15 φορές και συγκεκριμένα είναι οι RQD=50%, RQD=80% και RQD=95%. Σύμφωνα με τα παραπάνω, εκτός της περίπτωσης του RQD=0%, όλες οι υπόλοιπες τιμές που δεσπόζουν στο σύνολο είναι σχετικά μεγάλες (RQD≥50%).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Αυτό σημαίνει ότι ένα μεγάλο μέρος από το πλήθος των γεωτρήσεων του σχηματισμού, χαρακτηρίζεται κυρίως από «μέτρια» έως «εξαιρετική» ποιότητα, κατά τον δείκτη κερματισμού του πετρώματος (RQD). Το προαναφερθέν μπορεί να εξακριβωθεί και με την κατασκευή θηκογράμματος (boxplot) για τις τιμές, όπως φαίνεται στη συνέχεια. Το «box» βρίσκεται σχετικά ψηλά, ξεκινώντας από την τιμή RQD=45%.



Διάγραμμα 4.2.2.26 Θηκόγραμμα των τιμών RQD (%) της ευρύτερης περιοχής μελέτης

Το θηκόγραμμα παριστάνει δηλαδή την διακύμανση των τιμών RQD σε σχέση με το σύνολο και συγκεκριμένα απεικονίζει την μέγιστη (RQD=100) και την ελάχιστη (RQD=0) τιμή που απαντάται, την τιμή κάτω από την οποία βρίσκεται το 75% των τιμών (RQD=93), την τιμή κάτω από την οποία βρίσκεται το 25% των τιμών (RQD = 45) και την τιμή κάτω από την οποία βρίσκεται το 50% των τιμών (RQD=70) που, ταυτίζεται και με μην διάμεσο. Επίσης, τιμές αυτές έχουν προκύψει ήδη στον προηγούμενο πίνακα με τα συνολικά αποτελέσματα της στατιστικής, στις γραμμές του «percentiles».

Ακόμη, ζητήθηκε χειροκίνητα από το πρόγραμμα SPSS να εμφανίσει επιπλέον τεταρτημόρια («quartiles»), πέραν των προκαθορισμένων (25, 50, 75). Ειδικότερα, με τον υπολογισμό του τεταρτημορίου Q₂=30, αποδείχθηκε ότι μόλις το 30% του συνόλου των τιμών βρίσκεται κάτω από την τιμή RQD=50%, που αντιστοιχεί σε μέτρια ποιότητα πετρώματος. Επομένως μόνο το 30% των τιμών έχει ποιότητα πτωχή ή πολύ πτωχή.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη	%		
COLORI AZ IOZ	Στατι	στική Ανάλ	սση
Γεωλογίας	RQD		
Δ.Π.Θ	N	Valid	360
OX reading a strain of the		Missing	0
	Percentiles	25	45,00
		30	50,00
		50	70,00
		75	92,75

Πίνακας 4.2.21 Τεταρτημόρια των τιμών RQD (%)

Τέλος, το γεγονός ότι οι μισές εκ του συνόλου των τιμών (Q₄=50%) βρίσκονται πάνω από την τιμή RQD=70%, επικυρώνει το συμπέρασμα που προέκυψε από το διάγραμμα της συχνότητας εμφάνισης των τιμών, ότι δηλαδή η ποιότητα του σχηματισμού στο σύνολό του, με μία πρώτη «ματιά», σύμφωνα με τον δείκτη κερματισμού του πετρώματος είναι σχετικά καλή/ικανοποιητική. Περισσότερα και πιο ακριβή συμπεράσματα θα εξαχθούν στη συνέχεια με περαιτέρω ανάλυση.

Το ακόλουθο διάγραμμα προβάλλει την σχετική συχνότητα (%) των τιμών RQD που έχουν προκύψει από την αξιολόγηση όλων των διαθέσιμων πυρήνων γεωτρήσεων, της ευρύτερης περιοχής του έργου. Με άλλα λόγια παραθέτει το ποσοστό (%) το οποίο καταλαμβάνει η κάθε τιμή στο σύνολο.



Διάγραμμα 4.2.2.27 Τιμές RQD(%), της ευρύτερης περιοχής του έργου, σε συνάρτηση με την σχετική συχνότητά τους (%)

Μεγαλύτερο ποσοστό (15.8%) καταλαμβάνει η τιμή RQD=100%, ακολουθεί η τιμή RQD=0% με ποσοστό 6.4%, ενώ οι τιμές RQD=50%, RQD=65%, RQD=80%, RQD=95% και RQD=97% καταλαμβάνουν ποσοστό >2%.

Το επόμενο διάγραμμα απεικονίζει την σχετική συχνότητα (%) των τιμών RQD που έχουν προκύψει από την αξιολόγηση όλων των διαθέσιμων πυρήνων γεωτρήσεων, της ευρύτερης περιοχής του έργου. Οι τιμές RQD (%) στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ομαδοποιημένες στον x άξονα, σύμφωνα με προτεινόμενη κατηγοριοποίησή τους κατά Deree et al (1967). Η ομαδοποίηση έγινε με την εντολή Visual Binning, όπως περιγράφηκε σε προηγούμενη περίπτωση αντίστοιχα για το GSI.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Διάγραμμα 4.2.2.28 Σχετική συχνότητα (%) των τιμών RQD της ευρύτερης περιοχής του έργου, ομαδοποιημένες στον x άξονα, κατά Deree et al (1967)

Μεγαλύτερη σχετική συχνότητα (27.8%) εμφανίζει το εύρος 90-100 που αντιστοιχεί σε «εξαιρετική» ποιότητα πετρώματος, ενώ ακολουθεί το εύρος RQD=50-75% που αντιστοιχεί σε «μέτρια» ποιότητα πετρώματος. Οι υπόλοιπες κατηγορίες ταξινόμησης της βραχόμαζας κατά RQD (Deree at al, 1967) είναι περίπου ισόποσες και αποτελούν έκαστη το 15% περίπου του συνόλου.

Στο παρακάτω διάγραμμα που δημιουργήθηκε με τα εργαλεία του excel φαίνεται η σχέση των τιμών RQD (%) της ευρύτερης περιοχής του έργου, σε συνάρτηση με το βάθος (m).



Διάγραμμα 4.2.2.29 Τιμές RQD (%) της ευρύτερης περιοχής του έργου, σε συνάρτηση με το βάθος (m)

Αξίζει να αναφερθεί ότι σύμφωνα με το διάγραμμα διασποράς RQD (%) βάθους (m), δεν παρατηρείται ξεκάθαρη συσχέτιση των δύο παραμέτρων, δηλαδή όπως θα αναμένονταν, αύξηση των τιμών RQD με την αύξηση του βάθους. Η διαθέσιμη πληροφορία RQD στις γεωτρήσεις φτάνει συνήθως μέχρι τα 20-25m, και σπανίως οι γεωτρήσεις έχουν διατρηθεί μέχρι τα 30-35m περίπου. Εξαίρεση αποτελεί μόνο η γεώτρηση ονόματι ΓΣ2, της οποίας το πέρας τοποθετείται στα 85m περίπου και οι τιμές της στα μεγάλα αυτά βάθη (>30-35m) δείχνουν όλες «εξαιρετική» ποιότητα πετρώματος.

Σημειωτέο είναι παρ' όλα αυτά ότι, οι τιμές RQD=0% περιορίζονται μέχρι το βάθος των 17m περίπου, ενώ οι τιμές RQD=100% είναι οι μοναδικές που εμφανίζονται σε βάθος άνω των 40m. Μεγαλύτερη πυκνότητα τιμών παρουσιάζεται από την τιμή RQD=50% και δεξιότερα, δηλαδή (όπως αποδείχθηκε και από τα τεταρτημόρια και το θηκόγραμμα προηγουμένως) κυριαρχούν στο σύνολο του σχηματισμού κατά βάση τιμές RQD>50%.

Βέβαια, παρατηρώντας πιο προσεκτικά το διάγραμμα διασποράς RQD (%) βάθους (m) και ζητώντας από το excel να προβάλλει την γραμμική γραμμή τάσης, σημειώνεται μία ελαφριά τάση για αύξηση των τιμών RQD σε μεγαλύτερα βάθη. Το προαναφερθέν γίνεται περισσότερο ξεκάθαρο με την απάλειψη ορισμένων «ακραίων» τιμών (outliers) που αποκλίνουν από το σύνολο, όπως RQD=11% σε βάθος περίπου 28m, RQD=20% σε βάθος περίπου 33 και 24m. Στο επόμενο διάγραμμα διασποράς έχουν απαλειφτεί ορισμένες ακραίες τιμές κατά την κρίση της γράφουσας και προβάλλονται μόνο αυτές μέχρι το βάθος των 40m.



Διάγραμμα 4.2.2.30 Τιμές RQD (%) της ευρύτερης περιοχής του έργου, σε συνάρτηση με το βάθος (m), μετά από απάλειψη των ακραίων τιμών και σε βάθος έως 40m

Σε κάθε περίπτωση δεν μπορεί να προβλεφτεί η ποιότητα του πετρώματος σε βάθος σύμφωνα με τον υπό εξέταση δείκτη κερματισμού, καθώς τόσο μικρές όσο και μεγαλύτερες τιμές δύναται να απαντηθούν σε όλα τα βάθη. Οι μικρές τιμές (π.χ. RQD=13%) σε μεγάλα βάθη (π.χ. 21m) ενδεχομένως οφείλονται σε ασυνέχειες οι οποίες συνεχίζουν σε βάθος και δεν είναι κλειστές («ραμμένες») αλλά ανοικτές και κερματίζουν περεταίρω το πέτρωμα. Επίσης πιθανόν να απαντώνται στα βάθη αυτά, συνιζηματογενή ρήγματα τοπικού χαρακτήρα που προσδίδουν στον σχηματισμό χαρακτήρα περισσότερο κατακερματισμένο. Σε περίπτωση που οι ασυνέχειες είναι κλειστές σε μικρό βάθος (π.χ. «φρέσκο» πρανές, μη επίδραση ακόμη των καιρικών συνθηκών, κλπ) αρκετά μεγάλες τιμές RQD θα είναι παρούσες κοντά στην επιφάνεια.

Μικρές τιμές RQD σε μικρά βάθη είναι απόλυτα λογικό να υπάρχουν εξαιτίας της επίδρασης καιρικών συνθηκών και της αποσυμφόρησης της βραχόμαζας, ενώ αντίστοιχα μεγάλες τιμές RQD μακριά από την επιφάνεια είναι αναμενόμενες λόγω της πιο «κλειστής» και «σφικτής» δομής της βραχόμαζας και της παρουσίας όλο και περισσότερου υγιούς πετρώματος.

4.2.2.2.2 Γέω-στατιστική επεξεργασία τιμών RQD στενής περιοχής της σήραγγας «Πέτρας» (6 γεωτρήσεις εκατέρωθεν)

Επίσης στατιστική ανάλυση στις τιμές του δείκτη κερματισμού του πετρώματος πραγματοποιήθηκε για την στενή περιοχή της σήραγγας. Σε αυτήν χρησιμοποιήθηκαν οι γεωτρήσεις οι οποίες βρίσκονται αρκετά κοντά και προβάλλονται κάθετα σε αυτήν, αλλά και γεωτρήσεις που δεν προβάλλονται στη σήραγγα αλλά απέχουν ελάχιστα μέτρα εκατέρωθεν των στομίων και θεωρούνται αντιπροσωπευτικές για την στενή περιοχή. Αυτές είναι οι Γ-26, Γ-28Α, ΔΤ-40, Γ-27, ΔΝΤ-12, ΔΟ-28.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Από αυτή την ανάλυση θα προκύψουν οι συχνότητες εμφάνισης των διαφόρων τιμών RQD, η ομαδοποίηση των τιμών RQD σύμφωνα με την προτεινόμενη ταξινόμηση κατά Deree et al (1967) και η σχέση του RQD με το βάθος κατά μήκος της σήραγγας. Ακολουθεί πίνακας με τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των τιμών RQD.

Στατιστική Ανάληση					
ROD PETRA	ROD PETRA				
N	Valid	50			
	Missing	310			
Mean		66,08			
Std. Error of I	Mean	4,516			
Median		78,00			
Mode		0 ^a			
Std. Deviation	n	31,932			
Minimum		0			
Maximum		100			
Percentiles	25	48,75			
	50	78,00			
	75	92,00			
a. Multiple m	odes exist. T	he smallest			
value is shown					

Πίνακας 4.2.22 Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης των τιμών RQD(%) της στενής περιοχής μελέτης.

Υπάρχουν πολλές επικρατούσες τιμές (mode) στα δεδομένα και στον πίνακα φαίνεται η πιο μικρή (RQD=0%). Η διάμεσος (median) ισούται με RQD=78% και αναπαριστά την τιμή εκείνη κάτω από την οποία κατανέμεται το 50% του συνόλου των τιμών και αντίστοιχα πάνω από αυτήν το υπόλοιπο 50%. Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι η συγκεκριμένη τιμή είναι αρκετά μεγάλη.

Τούτο γίνεται αντιληπτό και από το επόμενο θηκόγραμμα, του οποίου το κουτί (box) βρίσκεται αρκετά ψηλά στην κλίμακα των τιμών RQD (%). Τέλος, από το τεταρτημόριο Q₁=25% που αντιστοιχεί σε τιμή περίπου RQD=50%, συμπεραίνεται ότι μόλις το 25% του συνόλου των τιμών βρίσκεται υπό της τιμής RQD=50%, δηλαδή έχει ποιότητα χειρότερη από τη «μέτρια». Το ποσοστό αυτό είναι μικρότερο από εκείνο που είχε προκύψει αντίστοιχα για την ευρύτερη περιοχή του σχηματισμού



Διάγραμμα 4.2.2.31 Θηκόγραμμα των τιμών RQD(%) της στενής περιοχής της σήραγγας

Το ιστόγραμμα που προέκυψε από την στατιστική επεξεργασία, φανερώνει όλο και μεγαλύτερη επικράτηση τιμών όσο πιο μεγάλες αυτές είναι (όσο κινούμαστε δεξιότερα στο διάγραμμα). Από την παραπάνω διαπίστωση, αποκλίνει μόνο η τιμή RQD=0% η οποία αν και πολύ μικρή, εμφανίζεται αρκετές φορές στις γεωτρήσεις της στενής περιοχής της σήραγγας.

Το διάγραμμα που ακολουθεί, αναπαριστά μία προς μία, τις τιμές RQD (άξονας x) του ιγκνιμβρίτη από τις διαθέσιμες γεωτρήσεις στην στενή περιοχή της σήραγγας, σε συνάρτηση με την συχνότητα εμφάνισής τους (άξονας y), δηλαδή το πόσες φορές καταμετρούνται στο σύνολο των τιμών (N=50).



Διάγραμμα 4.2.2.32 Τιμές RQD (άξονας x) του ιγκνιμβρίτη στην στενή περιοχή της σήραγγας, σε συνάρτηση με την συχνότητα εμφάνισής τους (άξονας y)

Βιβλιοθήκη Περισσότερες φορές (N=5) εμφανίζονται οι τιμές RQD=0% και RQD=92%, ενώ τη δεύτερη θέση κατέχουν οι τιμές RQD=91% και RQD=95% με εμφάνιση 3 φορές έκαστη.

Ψηφιακή συλλογή

Ιδιας λογικής διάγραμμα παρουσιάζεται και ακολούθως, μόνο που εδώ στον άξονα y, οι τιμές RQD αντιστοιχούνται με την σχετική συχνότητά τους (%), δηλαδή το ποσοστό που καταλαμβάνει η κάθε μία στο σύνολο.



Διάγραμμα 4.2.2.33 Συχνότητα εμφάνισης των τιμών RQD (%) της στενής περιοχής



Οι παραπάνω τιμές ομαδοποιήθηκαν σύμφωνα με την κατηγοριοποίησή τους κατά Deree et al (1967), μέσω της εντολής Visual Binning του SPSS.

Διάγραμμα 4.2.2.34 Τιμές RQD (%) ομαδοποιημένες κατά Deree et al (1967), σε συνάρτηση με την σχετική συχνότητά τους

Με ποσοστό 32% επικρατεί το εύρος RQD=90-100%, δηλαδή «εξαιρετική ποιότητα» πετρώματος, ενώ ακολουθεί με ποσοστό 24% το εύρος RQD=50-75% της «μέτριας ποιότητας».

Στο παρακάτω διάγραμμα διασποράς φαίνεται η σχέση των τιμών RQD (%) της στενής περιοχής του έργου, σε συνάρτηση με το βάθος (m).



Διάγραμμα 4.2.2.35 Τιμές RQD (%) της στενής περιοχής, σε συνάρτηση με το βάθος (m)

Οι γεωτρήσεις στην στενή περιοχή της σήραγγας έχουν διατρηθεί μέχρι το βάθος των 20m συνήθως, ενώ σπανίως μπορεί να φτάνουν και τα 30 ή 10-15m. Είναι εμφανής η μεγάλη πυκνότητα τιμών στο δεξί μέρος του διαγράμματος διασποράς, δηλαδή περίπου από την τιμή RQD=50% και άνω.

Δεν είναι ξεκάθαρη η συσχέτιση των δύο παραμέτρων, αλλά θα μπορούσε ενδεχομένως να παρατηρηθεί μία ελαφριά αύξηση των τιμών RQD σε μεγαλύτερα βάθη, η οποία με την με την απάλειψη ορισμένων «ακραίων» τιμών, γίνεται περισσότερο ξεκάθαρη (π.χ. τα σημεία (0,12.7), (7,12)). Αυτό επαληθεύεται και από την κλίση της γραμμικής γραμμής τάσης του διαγράμματος.



Διάγραμμα 4.2.2.36 Τιμές RQD (%) της στενής περιοχής, σε συνάρτηση με το βάθος (m), μετά από απάλειψη των «ακραίων» τιμών

Η τεχνικογεωλογική μηκοτομή του δείκτη ποιότητας που πετρώματος RQD (%) παραθέτεται στη συνέχεια. Συμπεραίνεται από την μηκοτομή ότι η ποιότητα που αναμένεται να συναντηθεί κατά την διάνοιξη της σήραγγας «Πέτρα» είναι κυρίως

«εξαιρετική» και δευτερευόντως (ΔΟ-28 και λιγότερο η ΔΤ-40) «μέτρια» έως «καλή». Σημειωτέο είναι ότι η γεώτρηση ΔΝΤ-12 αντιστοιχεί εξ ολοκλήρου σε «πτωχή» έως «πολύ πτωχή» ποιότητα πετρώματος και τούτο είναι λογικό, αφού το ρήγμα αποδείχθηκε ότι την τέμνει.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 4.2.2.2.1 Τεχνικογεωλογική μηκοτομή του δείκτη ποιότητας του πετρώματος (RQD) κατά μήκος της σήραγγας «Πέτρα»

4.2.2.3. Αποσάθρωση (Weathering)

Η ταξινόμηση των πυρήνων των γεωτρήσεων ως προς τον βαθμό αποσάθρωσής τους, είχε ήδη πραγματοποιηθεί στο μεγαλύτερό της μέρος και καταγραφεί στα μητρώα, δηλαδή οι τιμές οι οποίες επεξεργαστήκαν στατιστικά λήφθηκαν απευθείας από αυτά.

Σε ορισμένες από τις γεωτρήσεις που δεν διέθεταν αξιολόγηση καταγεγραμμένη στα μητρώα, ως προς τον βαθμό αποσάθρωσης, αυτή πραγματοποιήθηκε από την γράφουσα με παρατήρηση των πυρήνων γεωτρήσεων στα κασάκια των διαθέσιμων φωτογραφιών.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Πρέπει να διευκρινιστεί ότι σχεδόν τα μισά από τα διαθέσιμα μητρώα περιλάμβαναν την ταξινόμηση των σχηματισμών ως προς την αποσάθρωσή τους με βάση το Βρετανικό Σύστημα (British Standard, BS 5930:1999), ενώ τα υπόλοιπα μισά με βάση το σύστημα ταξινόμησης της βραχόμαζας που προτείνει η ISRM (1981) (International Society of Rock Mechanics). Τα δύο αυτά συστήματα ταξινόμησης παρουσιάζουν πρακτικά μικρές διαφορές, κυρίως στον τρόπο που αριθμούν τις κατηγορίες τους.

Ειδικότερα κατά τα Βρετανικά πρότυπα (1999) η ομογενής βραχόμαζα κατατάσσεται σε έξι (6) κατηγορίες, ενώ σύμφωνα με την ISRM (1981) οι βαθμοί αποσάθρωσης των βραχωδών δειγμάτων περιλαμβάνουν επτά (7) κατηγορίες, όπως φαίνεται παρακάτω.

Βαθμοί αποσάθρωσης βραχωδών δειγμάτων				
Κατηγορία πετρώματος Περιγραφή		Κατηγορία κατά ISRM		
Υγιές (F)	Χωρίς ίχνη αποσάθρωσης	Ι		
Ελάχιστα αποσαθρωμένο	Η αποσάθρωση περιορίζεται στις επιφάνειες των ασυνεχειών	II		
Ολίγον αποσαθρωμένο	Έντονη αποσάθρωση στις επιφάνειες των ασυνεχειών και ελαφρά αποσάθρωση στη μάζα του υλικού	III		
Μετρίως αποσαθρωμένο	Εκτεταμένη αποσάθρωση στη μάζα του υλικού, χωρίς το υλικό να παρουσιάζει ευθρυπτότητα.	IV		
Έντονα αποσαθρωμένο	Εκτεταμένη αποσάθρωση στη μάζα του υλικού, με τοπική ευθρυπτότητα του υλικού	V		
Πλήρως αποσαθρωμένο Πλήρης αποσάθρωση και μεγάλη ευθρυπτότητα του υλικού, με διατήρηση της υφής και της δομής		VI		
Έδαφος	Η υφή και δομή του υλικού έχει καταστραφεί και το υλικό μπορεί να χαρακτηρισθεί ως έδαφος (υπολειμματικός σχηματισμός)	-		

Πίνακας 4.2.23 Βαθμοί αποσάθρωσης βραχωδών δειγμάτων που προτείνει η ISRM (anonymous,

1981)

Βαθμός αποσάθρωσης	Χαρακτηρισμός	Περιγραφή
Ι	Υγιές	Unchanged from original state
II	Ελαφρά αποσαθρωμένο	Slight discoloration, slight weakening
III	Μετρίως αποσαθρωμένο	Considerably weakened, penetrative discoloration. Large pieces cannot be broken by hand
IV	Έντονα αποσαθρωμένο	Large pieces cannot be broken by hand. Does not readily disaggregate (slake) when

X "a	Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη Φωτο	5"	
	OTI NE IO	4	dry sample immersed in water
TEL MA	Τμήμα Γεωλογίας	Εντελώς αποσαθοωμένο	Considerably weakened. Slakes. Original
X	ΑΠΘ	Εντελως αποσασρωμένο	texture apparent
ON the		10	Soil derived by in situ weathering but
	VI	Υπολειπόμενο έδαφος	retaining none of the original texture or
			fabric

Πίνακας 4.2.24 Βαθμοί αποσάθρωσης βραχωδών δειγμάτων κατά το Βρετανικό πρότυπο (2^η στήλη μεταφρασμένη από τη γράφουσα, από British Standard, BS 5930:1999) Τόσο η ISRM (1981) όσο και το B.S. (1999) συμφωνούν στον παρακάτω

χαρακτηρισμό της αποσάθρωσης του βραχώδους υλικού.

Ταξινόμηση	Περιγραφή	
Υγιές (fresh)	Κανένα ίχνος αποσάθρωσης	
Αποχρωματισμένο	Το χρώμα του μητρικού πετρώματος έχει αλλάξει. Αν η αλλαγή	
(discoloured)	του χρώματος περιορίζεται σε μερικά ορυκτά πρέπει να	
	αναφέρεται.	
Αποσυνθεμένο	Το πέτρωμα έχει μετατραπεί σε έδαφος, ο αρχικός του ιστός	
(decomposed)	διατηρείται, αλλά μερικοί ή όλοι οι κρύσταλλοι έχουν	
	αποσυντεθεί.	
Θρυμματισμένο	Το πέτρωμα έχει μετατραπεί σε εύθρυπτο υλικό, ο αρχικός του	
(disintegrated)	ιστός διατηρείται και οι κρύσταλλοι δεν έχουν αποσυντεθεί	

Πίνακας 4.2.25 Αποσάθρωση βραχώδους υλικού (ISRM, 1981 και B.S. 5930, 1999)

Η διαφορά των δύο συστημάτων έγκειται απλά στο γεγονός ότι η κατηγορίες «ελάχιστα» και «ολίγον» αποσαθρωμένη βραχόμαζα (βαθμός αποσάθρωσης ΙΙ & ΙΙΙ) της ISRM (1981), αντιπροσωπεύονται από μία μόνο κατηγορία κατά τα Βρετανικά πρότυπα, την «ελαφρά» αποσαθρωμένη βραχόμαζα (βαθμός αποσάθρωσης ΙΙ).

Για τον λόγο αυτό, προκειμένου να επεξεργαστούν οι τιμές αποσάθρωσης σε ένα σύστημα, έγινε μετατροπή των τιμών του Βρετανικού προτύπου σε τιμές αποσάθρωσης κατά ISRM (1981), παράλληλα με επιβεβαίωση αυτής της μετατροπής με παρατήρηση των πυρήνων των γεωτρήσεων στις φωτογραφίες από τα κασάκια.

Το σύνολο των τιμών υποβλήθηκε σε στατιστική επεξεργασία. Σκοπός είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων για την συχνότητα εμφάνισης της κάθε τιμής βαθμού αποσάθρωσης του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη, τόσο κατά μήκος της στενής περιοχής της σήραγγας όσο και της ευρύτερης περιοχής στην οποία υπήρχαν διαθέσιμες γεωτρήσεις. Τέλος, για τον συγκεκριμένο σχηματισμό, θα προκύψουν συμπεράσματα σχετικά με την κατανομή της αποσάθρωσης με το βάθος, τόσο στην στενή περιοχή όσο και σε μεγαλύτερη απόσταση από το έργο.



Οι τιμές αποσάθρωσης χαρακτηρίζονται με λατινικούς αριθμούς, δηλαδή γράμματα. Επομένως, για να είναι δυνατό να επεξεργαστούν, παρ' όλη την μορφή τους αυτή, τα γράμματα αντιστοιχήθηκαν με αριθμούς (αραβικά ψηφία). Για παράδειγμα το Ι με το 1, το Ι-ΙΙ με το 1.5, το ΙΙ με το 2, το ΙΙ-ΙΙΙ με το 2.5 και ούτω καθεξής. Τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας εκθέτονται στον ακόλουθο πίνακα, με την αντίστοιχη μορφή αριθμών όπως προαναφέρθηκε.

Στατιστική Ανάλυση				
Weathering				
Ν	Valid	154		
	Missing	0		
Mean		2.776		
Std. Error of	Std. Error of Mean			
Median	Median			
Mode	1.0			
Std. Deviation	Std. Deviation			
Minimum	Minimum			
Maximum		6.0		
Percentiles	25	1.500		
	50	3.000		
	75	3.625		

Πίνακας 4.2.26 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των βαθμών αποσάθρωσης για την ευρύτερη περιοχή μελέτης

Η μέση τιμή αντιστοιχεί σε αποσάθρωση ΙΙ-ΙΙΙ έως ΙΙΙ με τυπική απόκλιση ± 1.5 περίπου, δηλαδή κυμαίνεται συνήθως από Ι έως IV-V, με επικρατούσα τιμή (mode) την αποσάθρωση βαθμού Ι και διάμεσο (median) την τιμή ΙΙΙ. Η τελευταία δείχνει ότι το 50% των τιμών βρίσκεται πάνω από τον βαθμό αποσάθρωσης ΙΙΙ ενώ το υπόλοιπο 50% των τιμών βρίσκεται κάτω αυτόν.

Το διάγραμμα που ακολουθεί, αναπαριστά μία προς μία, τις τιμές βαθμού αποσάθρωσης κατά ISRM (1981) (άξονας x) του ιγκνιμβρίτη από τις διαθέσιμες γεωτρήσεις στην ευρύτερη περιοχή της σήραγγας, σε συνάρτηση με την συχνότητα εμφάνισής τους (άξονας y), δηλαδή το πόσες φορές καταμετρούνται στο σύνολο των τιμών (N=154).



Διάγραμμα 4.2.2.37 Βαθμοί αποσάθρωσης (άξονας x) του ιγκνιμβρίτη της ευρύτερης περιοχής της σήραγγας, σε συνάρτηση με την συχνότητα εμφάνισής τους (άξονας y)

Περισσότερες φορές (N=33) εμφανίζεται η τιμή αποσάθρωσης Ι, τη δεύτερη θέση κατέχουν οι τιμές Ι-ΙΙ και ΙΙΙ-ΙV με εμφάνιση N=24 έκαστη και την τέταρτη θέση με N=20 ο βαθμός αποσάθρωσης ΙΙΙ του σχηματισμού. Σε γενικές γραμμές παρατηρείται επικράτηση κυρίως των μικρότερων βαθμών αποσάθρωσης (άρα και λιγότερο αποσαθρωμένου σχηματισμού) δηλαδή από τους βαθμούς «ολίγον»-«μετρίως» αποσαθρωμένος έως «υγιής».

Ιδιας λογικής διάγραμμα παρουσιάζεται και ακολούθως, μόνο που εδώ στον άξονα y, οι βαθμοί αποσάθρωσης αντιστοιχούνται με την σχετική συχνότητά τους (%), δηλαδή το ποσοστό που καταλαμβάνει η κάθε μία στο σύνολο.





Στη συνέχεια κατασκευάζεται θηκόγραμμα, το οποίο επιβεβαιώνει τα παραπάνω, δηλαδή ότι οι μισές εκ του συνόλου των τιμών είναι μικρότερες από τον βαθμό αποσάθρωσης ΙΙΙ ενώ οι υπόλοιπες μισές είναι μεγαλύτερες αυτού. Το 75% των τιμών είναι πιο μικρές (λιγότερη αποσάθρωση) από τον βαθμό αποσάθρωσης ΙΙΙ-



Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη





Τα παραπάνω υποδεικνύουν ότι ο σχηματισμός του ιγκνιμβρίτη της ευρύτερης περιοχής δεν είναι σημαντικά αποσαθρωμένος. Σίγουρα όμως θα πρέπει να διευκρινιστεί στη συνέχεια, το βάθος στο οποίο απαντώνται οι μεγάλες τιμές αποσάθρωσης (≥IV) που αξιολογήθηκαν μεν, αλλά δεν δεσπόζουν στον σχηματισμό (μόλις το 25% της συνολικής αξιολόγησης).

Το παρακάτω διάγραμμα διασποράς απεικονίζει την σχέση του βαθμού αποσάθρωσης κατά ISRM (1981) με το βάθος. Συγκεκριμένα, δεν φαίνεται εκ πρώτης όψεως ξεκάθαρη συσχέτιση των δύο παραμέτρων παρά μόνο με την εφαρμογή της γραμμικής γραμμής τάσης, μία ελαφρά μείωση της αποσάθρωσης με την αύξηση του βάθους.



Διάγραμμα 4.2.2.40 Σχέση του βαθμού αποσάθρωσης (ISRM, 1981) της ευρύτερης περιοχής, με το βάθος (m)

Η σχέση των δύο παραμέτρων δεν γίνεται επίσης εξ ολοκλήρου αντιληπτή, καθώς η παράμετρος του βάθους αγγίζει τα 80-90m σε μία μόνο γεώτρηση (ενώ οι υπόλοιπες είναι έως το βάθος των 30-35m), με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή, για τις υπόλοιπες τιμές, η διάκριση της λεπτομέρειας κατά βάθος.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Για το λόγο αυτό, διαγράφηκαν οι βαθμοί αποσάθρωσης των ακραίων βαθών (>35m) και προέκυψε η ακόλουθη εικόνα του διαγράμματος διασποράς. Εξάλλου αυτά τα ακραία βάθη περιλαμβάνουν μόνο τιμές αποσάθρωσης Ι, κάτι απολύτως αναμενόμενο και λογικό, αφού δεν έχουν επηρεαστεί από τις επιφανειακές συνθήκες και οι διακλάσεις είναι κατά βάση κλειστές, ενώ το νερό διαμέσου του δευτερογενούς πορώδους δεν δύναται να φτάσει τόσο βαθιά.

. Επίσης από αυτό έχουν απαλειφτεί από τη γράφουσα ορισμένες ακραίες τιμές, προκειμένου να γίνει περισσότερο εμφανής η σχέση των παραμέτρων βαθμού αποσάθρωσης – βάθους. Αυτές ήταν οι (V, 27.3), (V, 27.4), (IV, 29.75), (IV, 25.05), (VI, 11.25), (V, 17.05), οι οποίες πρακτικά είναι τιμές έντονης αποσάθρωσης σε μεγάλα (μη αναμενόμενα) βάθη.

Οι παραπάνω τιμές ενδεχομένως οφείλονται σε ανοικτές διακλάσεις ή μικρές ρηγματογενείς ζώνες διαμέσου των οποίων πραγματοποιείται κυκλοφορία νερού που αλλοιώνει τα χαρακτηριστικά της βραχόμαζας.



Διάγραμμα 4.2.2.41 Σχέση του βαθμού αποσάθρωσης (ISRM, 1981) της ευρύτερης περιοχής με το βάθος (m), μετά από απάλειψη των «ακραίων» τιμών και έως το βάθος των 35m.

Με την εντολή Classify και Two-step Cluster Analysis, με χρήση του Schwarz's Bayesian Criterion (BIC), οι βαθμοί αποσάθρωσης ταξινομήθηκαν αυτόματα από το SPSS σε 3 ομάδες, με «cluster» καλής ποιότητας.



Model Summary

Algorithm	TwoStep
Inputs	1
Clusters	3

Cluster Quality



Για μεγαλύτερη ακρίβεια και για την εξαγωγή των κέντρων των ομάδων, πραγματοποιήθηκε και μία ακόμη διαφορετική ανάλυση. Έτσι, η συγκεκριμένη κατηγορία επιλέχθηκε να διακριθεί χειροκίνητα σε τρία «clusters», με τη χρήση ξανά της εντολής Classify αλλά τώρα με ανάλυση «K-Means Cluster Analysis» και καταγραφή από τον χρήστη του επιθυμητού αριθμού των Cluster (3).

Initial Cluster Centers				
	Cluster			
	1 2 3			
Weathering	3.5	6.0	1.0	

Final Cluster Centers				
	Cluster			
	1 2 3			
Weathering	3.5	5.4	1.3	

ANOVA							
	Cluste	er		Error	ſ		
	Mean Square	df		Mean Square	df	F	Sig.
Weathering	148,758		2	,238	151	623,854	,000

The F tests should be used only for descriptive purposes because the clusters have been chosen to maximize the differences among cases in different clusters. The observed significance levels are not corrected for this and thus cannot be interpreted as tests of the hypothesis that the cluster means are equal.

Number of Cases in each				
Cluster				
Cluster	1	71,000		
	2	17,000		
	3	66,000		
Valid		154,000		
Missing		,000		

Έτσι, τα τελικά κέντρα των ομάδων που σχηματίστηκαν είναι αποσάθρωση βαθμού ΙΙΙ-ΙV, V έως V-VI και Ι έως Ι-ΙΙ. Συμβουλευόμενοι λοιπόν τα ιστογράμματα των συχνοτήτων, την μέγιστη και ελάχιστη τιμή αποσάθρωσης, ορίζονται τα εύρη των ομάδων βαθμού αποσάθρωσης ως τα παρακάτω του πίνακα.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

α/α	Βαθμός Αποσάθρωσης (ISRM, 1981)
1	Ι έως ΙΙ
2	ΙΙ-ΙΙΙ έως ΙV
3	ΙΝ-Ν έως ΝΙ

Πίνακας 4.2.27 Εύρη ομάδων ως προς τον βαθμό αποσάθρωσης για τον ιγκνιμβρίτη της ευρύτερης περιοχής

Επομένως η πρώτη και καλύτερη ομάδα περιλαμβάνει πέτρωμα «υγιές», χωρίς ίχνη αποσάθρωσης έως «ελάχιστα αποσαθρωμένο», δηλαδή με αποσάθρωση μόνο στις επιφάνειες την ασυνεχειών. Στη δεύτερη ομάδα ανήκουν οι «ελάχιστα ολίγον» αποσαθρωμένοι σχηματισμοί, δηλαδή αυτοί που ίσως έχουν ξεκινήσει να εμφανίζουν κάποια ελαφριά αποσάθρωση στη μάζα του υλικού, πέραν της αποσάθρωσης στην επιφάνεια των ασυνεχειών. Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει βαθμούς αποσάθρωσης έως IV («μετρίως αποσαθρωμένο») δηλαδή μέχρι την περίπτωση εκτεταμένης αποσάθρωσης στη μάζα του υλικού χωρίς αυτό να παρουσιάζει ευθρυπτότητα. Η τελευταία και «χειρότερη» ομάδα αποσάθρωσης χαρακτηρίζεται από «μέτρια - έντονη» αποσάθρωση δηλαδή εκτεταμένη στη μάζα του υλικού χωρίς ευθρυπτότητα έως τοπική ευθρυπτότητα, μέχρι και την τελευταία παρατηρούμενη έκτη (VI) κατηγορία της πλήρους αποσάθρωσης.

Cluster	Βαθμός Αποσάθρωσης (ISRM, 1981)	Περιγραφή Αποσάθρωσης
1	ΙΙ-ΙΙΙ έως ΙV	«ελάχιστα - ολίγον» έως «μέτρια»
2	ΙΝ-Ν έως ΝΙ	«μέτρια – έντονη» έως «πλήρης»
3	Ι έως ΙΙ	«υγιές» έως «ελάχιστη»

Πίνακας 4.2.28 Εύρη ομάδων ως προς τον βαθμό αποσάθρωσης για τον ιγκνιμβρίτη της ευρύτερης περιοχής με την αντίστοιχη περιγραφή τους

Η ομαδοποίηση των βαθμών αποσάθρωσης, πραγματοποιήθηκε μέσω της εντολής Visual Binning του SPSS, μόνο με σκοπό την δημιουργία ευρύτερων στηλών (μπάρες) και τον σχηματισμό μίας πιο ξεκάθαρης άποψης για την κατανομή αυτών και όχι μόνο ανά μία τιμή, όπως στα προηγούμενα διαγράμματα. Δηλαδή οι λόγοι είναι καθαρά οπτικοί.

Η προαναφερθείσα εντολή λοιπόν, «έκοψε» την σειρά αυτή των βαθμών αποσάθρωσης των προηγούμενων διαγραμμάτων, σε εύρη ανά 2 «βαθμούς» (≥Ι έως ≤ΙΙ, ≥ΙΙ-ΙΙ έως ≤ΙV, ≥ΙV-V έως ≤VΙ). Προέκυψε το ακόλουθο διάγραμμα στο οποίο αποτυπώνονται με διαφορετικά χρώματα.



Διάγραμμα 4.2.2.42 Ομαδοποίηση των βαθμών αποσάθρωσης την ευρύτερης περιοχής ανά δύο (2) βαθμούς, σε συνάρτηση της σχετικής συχνότητας εμφάνισής τους (%)

4.2.2.3.2. Αποσάθρωση βραχόμαζας στενής περιοχής (6 γεωτρήσεις εκατέρωθεν)

Επίσης στατιστική ανάλυση στις τιμές του βαθμού αποσάθρωσης της βραχόμαζας, πραγματοποιήθηκε για την στενή περιοχή της σήραγγας. Σε αυτήν χρησιμοποιήθηκαν οι γεωτρήσεις που βρίσκονται αρκετά κοντά και προβάλλονται κάθετα σε αυτήν, αλλά και γεωτρήσεις που δεν προβάλλονται στη σήραγγα αλλά απέχουν εκατέρωθεν θεωρούνται ελάχιστα μέτρα των στομίων και αντιπροσωπευτικές για την στενή περιοχή (ΔΟ-28, ΔΝΤ-12, ΔΤ-40, Γ-26, Γ-27, Γ-28Α). Από αυτή την ανάλυση θα προκύψουν οι συχνότητες εμφάνισης των διαφόρων βαθμών αποσάθρωσης της βραχόμαζας για τη στενή περιοχή, η ομαδοποίησή τους σύμφωνα με την προτεινόμενη ταξινόμηση κατά ISRM (1981) και η σχέση τους με το βάθος. Ακολουθεί πίνακας με τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των βαθμών αποσάθρωσης κατά (ISRM, 1981).
Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη	9		
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ Τμήμα Γεωλογίας	<u>Στατ</u> Weathering_t	ιστική Ανάλι unnel	οση
А.П.О	N	Valid	27
OX Sec. 1 K		Missing	127
	Mean		2.778
	Std. Error of	Mean	.2633
	Median		3.000
	Mode		1.5
	Std. Deviatio	n	1.3681
	Minimum		1.0
	Maximum		6.0
	Sum		75.0
	Percentiles	25	1.500
		50	3.000
		75	3.500
	a. Multiple m	odes exist. Tl	he smallest
	value is show	'n	
	-		

Πίνακας 4.2.29 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των βαθμών αποσάθρωσης της στενής περιοχής της σήραγγας

Η μέση τιμή αντιστοιχεί σε αποσάθρωση ΙΙ-ΙΙΙ έως ΙΙΙ με τυπική απόκλιση ±1.4 περίπου, δηλαδή κυμαίνεται συνήθως από Ι έως IV-V, με ελάχιστη επικρατούσα τιμή (mode) την αποσάθρωση βαθμού Ι-ΙΙ και διάμεσο (median) την τιμή ΙΙΙ. Η τελευταία δείχνει ότι το 50% των τιμών βρίσκεται πάνω από τον βαθμό αποσάθρωσης ΙΙΙ ενώ το υπόλοιπο 50% των τιμών βρίσκεται κάτω από αυτόν.

Το διάγραμμα που ακολουθεί, αναπαριστά μία προς μία, τις τιμές βαθμού αποσάθρωσης κατά ISRM (1981) (άξονας x) του ιγκνιμβρίτη από τις διαθέσιμες γεωτρήσεις στην στενή περιοχή της σήραγγας, σε συνάρτηση με την συχνότητα εμφάνισής τους (άξονας y), δηλαδή το πόσες φορές καταμετρούνται στο σύνολο των τιμών (N=27).



Διάγραμμα 4.2.2.43 Συχνότητα εμφάνισης των βαθμών αποσάθρωσης της στενής περιοχής της σήραγγας Περισσότερες φορές (N=6) είναι παρούσες οι τιμές αποσάθρωσης I-II και III, τη δεύτερη θέση κατέχει η τιμή III-IV με εμφάνιση N=5 και την τέταρτη θέση με N=3 οι βαθμοί αποσάθρωσης I και V του σχηματισμού. Οι τιμές αυτές δείχνουν μικρή σχετικά αποσάθρωση να χαρακτηρίζει κατά βάση τον σχηματισμό του ιγκνιμβρίτη στη στενή περιοχή (άρα και λιγότερο αποσαθρωμένου σχηματισμού) δηλαδή «ολίγον - μετρίως» αποσαθρωμένος έως «υγιής».

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Τδιας λογικής διάγραμμα παρουσιάζεται και ακολούθως, μόνο που εδώ στον άξονα y, οι βαθμοί αποσάθρωσης αντιστοιχούνται με την σχετική συχνότητά τους (%), δηλαδή το ποσοστό που καταλαμβάνει η κάθε μία στο σύνολο.



Διάγραμμα 4.2.2.44 Σχετική συχνότητά (%) των βαθμών αποσάθρωσης του ιγκνιμβρίτη της στενής περιοχής

Στη συνέχεια κατασκευάζεται θηκόγραμμα, το οποίο επιβεβαιώνει τα παραπάνω. Το «box» εντοπίζεται στις χαμηλές τιμές του βαθμού αποσάθρωσης (III-IV και μικρότερες). Ισχύουν όσα ακριβώς αναφέρθηκαν για την ευρύτερη περιοχή της σήραγγας.



Διάγραμμα 4.2.2.45 Θηκόγραμμα τιμών αποσάθρωσης της στενής περιοχής μελέτης. Όπου 1, αντιστοιχεί σε βαθμό αποσάθρωσης Ι, όπου 1.5, σε βαθμό αποσάθρωσης Ι-ΙΙ, κ.λπ.

Τα παραπάνω υποδεικνύουν ότι ο σχηματισμός του ιγκνιμβρίτη της στενής περιοχής δεν είναι σημαντικά αποσαθρωμένος. Σίγουρα όμως θα πρέπει να διευκρινιστεί στη συνέχεια, το βάθος στο οποίο απαντώνται οι μεγάλες τιμές αποσάθρωσης (≥IV) που αξιολογήθηκαν μεν, αλλά δεν δεσπόζουν στον σχηματισμό (μόλις το 25% της συνολικής αξιολόγησης).

Αναφορικά με τις κατηγορίες στις οποίες διακρίθηκαν παραπάνω οι βαθμοί αποσάθρωσης του σχηματισμού για την ευρύτερη περιοχή, συμπεραίνεται ότι παρατηρούνται οι ίδιες και στην στενή περιοχή. Αυτές παραθέτονται ακολούθως και αποτυπώνονται στη συνέχεια σε διάγραμμα με τρία διαφορετικά χρώματα.

Cluster	Βαθμός Αποσάθρωσης (ISRM, 1981)	Περιγραφή Αποσάθρωσης
1	ΙΙ-ΙΙΙ έως ΙV	«ελάχιστα - ολίγον» έως «μέτρια»
2	ΙV-V έως VΙ	«μέτρια – έντονη» έως «πλήρης»
3	Ι έως ΙΙ	«υγιές» έως «ελάχιστη»

Πίνακας 4.2.30 Κατηγορίες αποσάθρωσης της στενής περιοχής με την αντίστοιχη περιγραφής τους





Το παρακάτω διάγραμμα διασποράς απεικονίζει την σχέση του βαθμού αποσάθρωσης κατά ISRM (1981) με το βάθος. Φαίνεται σχετικά καθαρά η συσχέτιση των δύο παραμέτρων και συγκεκριμένα η μείωση του βαθμού αποσάθρωσης με την αύξηση του βάθους. Με την εφαρμογή της γραμμικής γραμμής τάσης και την έντονη κλίση της, το παραπάνω επιβεβαιώνεται.



Διάγραμμα 4.2.2.47 Σχέση του βαθμού αποσάθρωσης κατά ISRM (1981) με το βάθος, για την στενή περιοχή

Κατά μήκος της εκσκαφής αναμένεται, σύμφωνα με την παρακάτω τεχνικογεωλογική μηκοτομή, κυρίως αποσάθρωση βαθμού Ι-ΙΙ (κατά ISRM, 1981).



Εικόνα 4.2.2.3.2.1 Τεχνικογεωλογική μηκοτομή της διακύμανσης του βαθμού αποσάθρωσης με το βάθος, κατά μήκος της σήραγγας «Πέτρα»

4.2.2.4. Rock Mass Rating System (RMR)

Ο δείκτης RMR λήφθηκε απευθείας από τα μητρώα και υποβλήθηκε σε στατιστική επεξεργασία. Σκοπός είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων για την συχνότητα εμφάνισης της κάθε τιμής RMR του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη, τόσο κατά μήκος της στενής περιοχής της σήραγγας όσο και της ευρύτερης περιοχής στην οποία υπήρχαν διαθέσιμες γεωτρήσεις κατά μήκος του εξεταζόμενου τμήματος της νέας χάραξης του οδικού δικτύου. Επιπλέον, οι τιμές RMR ομαδοποιούνται με βάση την προτεινόμενη κατηγοριοποίησή τους κατά Bieniawski (1989) που φαίνεται παρακάτω στον πίνακα. Για τον συγκεκριμένο σχηματισμό, θα προκύψουν στοιχεία σχετικά με την σχέση του RMR με το βάθος, τόσο στην στενή περιοχή όσο και σε μεγαλύτερη απόσταση από το έργο, ενώ η κατανομή τους στη σήραγγα «Πέτρα» θα απεικονιστεί σε αντίστοιχη τεχνικογεωλογική μηκοτομή.

X A	Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη		
	Τιμές του δείκτη RMR	Περιγραφή βραχόμαζας	Κατηγορία βραχόμαζας
FASTAT	μήμα Γεο81-100 ος	Πολύ καλή	Ι
X2201	61-80	Καλή	II
ON JEWS 1	41-60	Μέτρια	III
	21-40	Φτωχή	IV
	0-20	Πολύ φτωχή	V

Πίνακας 4.2.31 Σύστημα ταξινόμησης RMR (Rock Mass Rating) κατά Bieniawski (1989)

4.2.2.4.1. RMR ευρύτερης περιοχής (όλης της παραλλαγής της χάραξης)

Τα περισσότερα μητρώα δεν διάθεταν αξιολόγηση κατά RMR και για τον λόγο αυτό το σύνολο των τιμών που αξιολογήθηκαν ήταν μόνο N=20, ενώ ειδικά για την περιοχή της σήραγγας μόνο τρεις (3) εκ των έξι (6) γεωτρήσεων περιλάμβαναν τιμές RMR. Τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Στατιστική Ανάλυση			
RMR			
Ν	Valid	20	
	Missing	0	
Mean		43,35	
Std. Error of Mean		1,925	
Median		46,50	
Mode		51	
Std. Deviatio	on	8,610	
Minimum		27	
Maximum		52	
Percentiles	25	39,25	
	50	46,50	
	75	51,00	

Πίνακας 4.2.32 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών RMR της ευρύτερης περιοχής μελέτης

Η μέγιστη και ελάχιστη διαθέσιμη τιμή είναι αντίστοιχα RMR=52 και RMR=27. Η μέση τιμή (mean) αντιστοιχεί σε RMR=43 με τυπική απόκλιση ±9 περίπου, επικρατούσα τιμή (mode) RMR=51 και διάμεσο (median) RMR=47. Η τελευταία δείχνει ότι το 50% των τιμών βρίσκεται πάνω από την τιμή RMR=47 ενώ το υπόλοιπο 50% των τιμών βρίσκεται κάτω από την τιμή RMR=47. Ακολουθεί το αντίστοιχο ιστόγραμμα.



Διάγραμμα 4.2.2.48 Κατανομή των τιμών RMR κατά Bieniawski (1989) (άξονας x) στην ευρύτερη περιοχή της σήραγγας, σε συνάρτηση με την συχνότητα εμφάνισής τους (άξονας y)

Το διάγραμμα που ακολουθεί, αναπαριστά μία προς μία, τις τιμές RMR κατά Bieniawski (1989) (άξονας x) του ιγκνιμβρίτη από τις διαθέσιμες γεωτρήσεις στην ευρύτερη περιοχή της σήραγγας, σε συνάρτηση με την συχνότητα εμφάνισής τους (άξονας y), δηλαδή το πόσες φορές καταμετρούνται στο σύνολο των τιμών (N=20).





Περισσότερες φορές (N=5) είναι παρούσα η τιμή RMR=51, τη δεύτερη θέση κατέχει η τιμή RMR=27 με εμφάνιση N=3 και την τέταρτη θέση με N=2 η τιμή RMR=47 του σχηματισμού. Σε γενικές γραμμές παρατηρείται επικράτηση κυρίως των τιμών που ανήκουν στις κατηγορίες βραχόμαζας ΙΙΙ (RMR=41-60) και IV (RMR=21-40) κατά Bieniawski (1989).

Ίδιας λογικής διάγραμμα παρουσιάζεται και ακολούθως, μόνο που εδώ στον άξονα y, οι τιμές RMR αντιστοιχούνται με την σχετική συχνότητά τους (%), δηλαδή το ποσοστό που καταλαμβάνει η κάθε μία στο σύνολο.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Διάγραμμα 4.2.2.50 Σχετική συχνότητά (%) εμφάνισης των τιμών RMR της ευρύτερης περιοχής

Στη συνέχεια κατασκευάζεται θηκόγραμμα, το οποίο επιβεβαιώνει τα παραπάνω, δηλαδή ότι οι μισές εκ του συνόλου των τιμών είναι μικρότερες από RMR=47 ενώ οι υπόλοιπες μισές είναι μεγαλύτερες αυτού. Το 75% των τιμών είναι πιο μικρές από RMR=51, ενώ το 25% των τιμών είναι μικρότερες από RMR=39.





Επομένως, ο σχηματισμός του ιγκνιμβρίτη της ευρύτερης περιοχής ανήκει εξ ολοκλήρου, με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα, στις κατηγορίες βραχόμαζας ΙΙΙ (RMR=41-60) και IV (RMR=21-40) κατά Bieniawski (1989). Σύμφωνα με την εν λόγω ταξινόμηση, δύνεται η δυνατότητα στον μελετητή να βγάλει συμπεράσματα σχετικά με τον τρόπο εκσκαφής και της μόνιμη υποστήριξη της σήραγγας.

βιβλιοθ	ήκη				
D⊉ PA	5 77	05" I	ΥΠΟΣ	тнрізн	
ήμα Γεω Α.Π.(Κατηγορί βραχομάζ	Εκσκαφή	ΗΛΩΣΕΙΣ – ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ (ολικής πάκτωσης, διαμέτρου 20 mm)	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	Χαλύβδινα πλαίσια
	l RMR: 81 – 100	Ολομέτωπη, προχώρηση 3m	Γενικά δεν χρειάζεται υπος σημειακέ	πήριξη εκτός από ς αγκυρώσεις	περιστασιακές
	II RMR: 61 – 80	Ολομέτωπη, 1.0– 1.5 m προχώρηση. Πλήρης υποστήριξη 20 m πριν το μέτωπο	Τοπικές αγκυρώσειςστην οροφή μήκους 3m ανά 2.5 m με μεταλλικό πλέγμα τοπικά	50 mm στην οροφή όπου χρειάζεται	
	III RMR: 41 – 60	Προχώρηση πρώτα στο ανώτερο τμήμα κατά 1.5– 3 m. Έναρξη υποστήριξης αμέσως μετά από κάθε ανατίναξη. Πλήρης υποστήριξη 10 m πριν το μέτωπο	Συστηματικές αγκυρώσεις με αγκύρια μήκους 4m ανά 1.5 – 2 m στην οροφή και στα τοιχώματα και με μεταλλικό πλέγμα στην οροφή	50 – 100mm στην οροφή και 30 mm στα τοιχώματα	
R 21	IV RMR: 21 – 40	Προχώρηση πρώτα στο ανώτερο τμήμα κατά 1.0 – 1.5 m. Εγκατάσταση υποστήριξης συγχρόνως με την εκσκαφή 10 m από το μέτωπο	Συστηματικές αγκυρώσεις μήκους 4 – 5 m ανά 1 – 1.5 m στην οροφή και στα τοιχώματα με μεταλλικό πλέγμα	100 - 150mm στην οροφή και 100 mm στα τοιχώματα	Ελαφρά πλαίσια ανά 1.5m όπου χρειάζεται
	RMR: <20	Πολλαττλά τμήματα προχώρησης. Προχώρηση στο ανώτερο τμήμα 0.5 – 1.5m εγκατάσταση υποστήριξης συγχρόνως με την εκσκαφή. Τοποθέτηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος αμέσως μετά την έκρηξη	Συστηματικές αγκυρώσεις μήκους 5 – 6 m ανά 1 – 1.5 m στην οροφή και τα τοιχώματα με μεταλλικό πλέγμα. Αγκύρωση δαττέδου ανεστραμμένου θόλου (invert)	150 – 200 mm στην οροφή 150 mm στα τοιχώματα και 50 mm στο μέτωπο	Μέσα ως βαριά πλαίσια ανά 0.75m, με σύνδεση μεταξύ τους και δοκοί προπορείας (αν χρειάζονται). Κλείσιμο invert.

Ψηφιακή συλλογή

Εικόνα 4.2.2.4.1.1 Προτεινόμενος τρόπος εκσκαφής και μόνιμης υποστήριξης σηράγγων (Bieniawski,1989). Αναφέρεται για σήραγγα διαμέτρου 10m, με κατακόρυφες τάσεις <25MPa, πεταλοειδούς διατομής που διανοίγεται με χρήση συμβατικού τρόπου εκσκαφής, δηλαδή με σημειακή διάτρηση και χρήση εκρηκτικών (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2004, p.43)

Το παρακάτω διάγραμμα διασποράς απεικονίζει την σχέση των τιμών RMR με το βάθος και συγκεκριμένα, δεν εντοπίζεται συσχέτιση των δύο παραμέτρων. Ξεκάθαρη είναι η συγκέντρωση των τιμών μεταξύ RMR=27 και RMR=52 αλλά διασπαρμένες σε διάφορα βάθη. Βέβαια τα αποτελέσματα της επεξεργασίας ενδεχομένως να μην είναι αντιπροσωπευτικά της συνολικής εικόνας του RMR για την ευρύτερη περιοχή, καθώς το πλήθος (N) των διαθέσιμων μεταβλητών δεν ήταν μεγάλο και συνεπώς επαρκές.



Διάγραμμα 4.2.2.52 Σχέση των τιμών RMR της ευρύτερης περιοχής, με το βάθος

4.2.2.4.2. RMR της στενής περιοχής (6 γεωτρήσεις εκατέρωθεν)

Όσον αφορά την στενή περιοχή της σήραγγας, δεν κρίνεται αναγκαία η λεπτομερής στατιστική επεξεργασία των τιμών, καθώς το πλήθος τους είναι ιδιαίτερα μικρό (N=4). Τα αποτελέσματα μίας πρώτης στατιστικής επεξεργασίας παραθέτονται ακολούθως.

Στατιστική Ανάλυση				
RMR_TUNN	RMR_TUNNEL			
Ν	Valid	4		
	Missing	16		
Mean		45,25		
Std. Error of	Mean	1,797		
Median		44,50		
Mode		42 ^a		
Std. Deviation		3,594		
Minimum		42		
Maximum		50		
Percentiles	25	42,25		
	50	44,50		
	75	49,00		
a. Multiple modes exist. The smallest				
value is shown				

Πίνακας 4.2.33 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών RMR της στενής περιοχής μελέτης



Διάγραμμα 4.2.2.53 Ιστόγραμμα κατανομής των τιμών RMR

Επειδή όλη η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται από βραχόμαζα κατηγορίας III (RMR=41-60) κατά Bieniawski (1989), το ίδιο ισχύει και για την στενή περιοχή της σήραγγας. Όλες οι τιμές καταγράφονται από μία φορά και κυμαίνονται από RMR=42 έως RMR=50, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο ιστόγραμμα.



Διάγραμμα 4.2.2.54 Τιμές RMR στενής περιοχής, σε συνάρτηση με την συχνότητα εμφάνισής τους

Η σήραγγα κατά το μήκος και βάθος της χαρακτηρίζεται από τις τιμές RMR που φαίνονται στην παρακάτω τεχνικογεωλογική μηκοτομή, οι οποίες αντιστοιχούν σε «μέτρια» ποιότητα.



Εικόνα 4.2.2.4.2.1 Τεχνικογεωλογική μηκοτομή της κατανομής των τιμών RMR στη σήραγγα «Πέτρα»

4.2.3. Εργαστηριακές δοκιμές βραχομηχανικής 4.2.3.1. Ειδικό βάρος βράχου - Gs (t/m³)

Οι τιμές ειδικού βάρους που καταγράφονται στα μητρώα για τον ιγκνιμβρίτη, υποβλήθηκαν σε στατιστική επεξεργασία με σκοπό την εξαγωγή μίας αντιπροσωπευτικής τιμής ειδικού βάρους για το σχηματισμό. Το πλήθος των διαθέσιμων τιμών είναι τέσσερεις (N=4), οι δύο εκ των οποίων έχουν προκύψει από δοκιμή στο ηφαιστειακό λατυποπαγές ενώ οι άλλες δύο από δοκιμή στον ηφαιστειακό τόφφο.

Επομένως, πέραν της ενιαίας τιμής ειδικού βάρους για το σύνολο του σχηματισμού, θα προκύψουν ειδικότερα οι μέσοι όροι των τιμών Gs (t/m³) για την κάθε επιμέρους λιθολογία του ιγκνιμβρίτη και έτσι θα εξαχθεί αντιπροσωπευτική

τιμή ειδικού βάρους ξεχωριστά για τους ηφαιστειακούς τόφφους και τα ηφαιστειακά λατυποπαγή. Οι τιμές λοιπόν ήταν οι ακόλουθες του πίνακα.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

a/a	Λιθολογία	Ειδικό βάρος – Gs (t/m ³)
1	Ηφαιστειακό Λατυποπαγές	2.661
2	Ηφαιστειακό Λατυποπαγές	2.689
3	Ηφαιστειακός Τόφφος	2.628
4	Ηφαιστειακός Τόφφος	2.657

Πίνακας 4.2.34 Σύνολο τιμών ειδικών βαρών που εξάχθηκαν από τα μητρώα

Αξίζει να παρατηρηθεί ότι οι τιμές ειδικού βάρους των ηφαιστειακών λατυποπαγών είναι ελαφρώς μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές των ηφαιστειακών τόφφων. Τούτο ενδεχομένως συμβαίνει λόγω της παρουσίας λιθαριών και βολίδων (κοινώς λατυπών) στη μάζα των λατυποπαγών που έχουν μεγαλύτερο ειδικό βάρος συγκριτικά με την συγκολλημένη τέφρα από την οποία αποτελείται εξ ολοκλήρου ο ηφαιστειακός τόφφος. Συγκεκριμένα, οι λατύπες έχουν ηφαιστειακή προέλευση (μάζες μαγματικού υλικού) και ήταν ήδη στερεοποιημένες κατά την διάρκεια της εκτίναξής τους. Το τελευταίο συμπεραίνεται από το γωνιώδες-ακανόνιστο σχήμα τους. Σαφώς, η παρουσία των εν λόγω τεμαχών που χαρακτηρίζονται από το μεγαλύτερο ειδικό βάρος του μάγματος, οδηγούν σε συνολική αύξηση του ειδικού βάρους της συγκεκριμένης λιθολογίας. Ακολουθούν τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των παραπάνω τιμών.

Στατιστική Ανάλυση		
Gs		
Ν	Valid	4
	Missing	0
Mean		2.65875
Std. Error of	Mean	.012479
Median		2.65900
Mode		2.628 ^a
Std. Deviation		.024958
Minimum		2.628
Maximum		2.689
Percentiles	25	2.63525
	50	2.65900
	75	2.68200
a. Multiple modes exist. The		
smallest value is shown		

Πίνακας 4.2.35 Αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των ειδικών βαρών (Gs) του σχηματισμού

Επομένως για τον συνολικό σχηματισμό του ιγκνιμβρίτη αντιπροσωπευτική τιμή ειδικού βάρους θα θεωρηθεί η τιμή Gs=2.659 t/m³. Για το ηφαιστειακό λατυποπαγές, όπως προκύπτει από τον μέσο όρο των δύο διαθέσιμων τιμών, είναι Gs=2.675 t/m³ ενώ για τον ηφαιστειακό τόφφο είναι Gs=2.643 t/m³.

4.2.3.2. Φαινόμενο βάρος βράχου - γ (gr/cm³)

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Οι τιμές φαινόμενου βάρους που καταγράφονται στα μητρώα για τον ιγκνιμβρίτη, υποβλήθηκαν σε στατιστική επεξεργασία με σκοπό την εξαγωγή μίας αντιπροσωπευτικής τιμής φαινόμενου βάρους για το σχηματισμό.

Το πλήθος των διαθέσιμων τιμών είναι N=82. Ειδικότερα, οι είκοσι μία (21) τιμές έχουν προκύψει από δοκιμή στο ηφαιστειακό λατυποπαγές ενώ οι υπόλοιπες εξήντα τρείς (63) από δοκιμή στον ηφαιστειακό τόφφο. Συνολικά, τα τελευταία δύο νούμερα δεν δίνουν άθροισμα N=82 αλλά N=84, διότι ορισμένες από τις τιμές προέκυψαν από δοκιμή σε βάθος δείγματος που περιλάμβανε τόσο λατυποπαγή όσο και τόφφο και επομένως δεν ήταν ξεκάθαρη η λιθολογία στην οποία εκτελέστηκε η δοκιμή. Θεωρήθηκε λοιπόν πρέπον να συμμετέχουν οι τιμές αυτές ισάξια και στις δύο λιθολογίες (διπλή εμφάνιση).

Πέραν της ενιαίας τιμής φαινόμενου βάρους για το σύνολο του σχηματισμού, θα προκύψουν ειδικότερα οι μέσοι όροι των τιμών γ (gr/cm³) για την κάθε επιμέρους λιθολογία του ιγκνιμβρίτη και έτσι θα εξαχθεί αντιπροσωπευτική τιμή φαινόμενου βάρους ξεχωριστά για τους ηφαιστειακούς τόφφους και για τα ηφαιστειακά λατυποπαγή. Τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας για το σύνολο του σχηματισμού παραθέτονται στη συνέχεια.

Στατιστική Ανάλυση			
γ			
Ν	Valid	82	
	Missing	8	
Mean		2.5341	
Std. Error of	Mean	.00995	
Median		2.5400	
Mode		2.59	
Std. Deviation		.09007	
Minimum		2.14	
Maximum		2.81	
Percentiles	25	2.4975	
	50	2.5400	
	75	2.5900	





4



Ως μέση τιμή (mean) ορίζεται η τιμή γ=2.53 gr/cm³ για τον σχηματισμό του ιγκνιμβρίτη. Στο διάγραμμα σχετικής συχνότητας (%) - ειδικού βάρους (gr/cm³) προβάλλονται μία προς μία όλες οι τιμές ειδικού βάρους που αξιολογήθηκαν εκφρασμένες ως προς το ποσοστό συμμετοχής τους στο σύνολο των τιμών, καθώς επίσης γίνονται αντιληπτές οι τιμές που επικρατούν έναντι άλλων.



Διάγραμμα 4.2.3.2 Σχετικής συχνότητα (%) των τιμών ειδικού βάρους (gr/cm³)

Παρακάτω, θα αξιολογηθεί το φαινόμενο βάρος ξεχωριστά για τις δύο λιθολογίες του σχηματισμού. Τα αποτελέσματα της στατιστικής είναι τα ακόλουθα του πίνακα.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη	8			
GEUSPAZIC	2	Στατιστική	Ανάλυση	
βέμπτμήμα Γεωλογίας			γ_breccia	γ_tuff
А.П.Ө	N	Valid	21	63
	70	Missing	69	27
	Mean		2.5443	2.5321
	Std. Error of	Mean	.01285	.01229
	Median		2.5500	2.5400
	Mode		2.59	2.59
	Std. Deviatio	n	.05887	.09755
	Minimum		2.45	2.14
	Maximum		2.64	2.81
	Percentiles	25	2.4900	2.5000
		50	2.5500	2.5400
		75	2.5900	2.5900

Πίνακας 4.2.37 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών φαινόμενου βάρους (γ) των ηφαιστειακών τόφφων και λατυποπαγών ξεχωριστά

Παρακάτω διακρίνονται ξεκάθαρα οι τιμές φαινόμενου βάρους που αντιστοιχούν σε ηφαιστειακό λατυποπαγές (κόκκινο) και αυτές που αντιστοιχούν σε ηφαιστειακό τόφφο (μπλε).





Οι μέσοι όροι δεν εμφανίζουν σημαντική διαφορά για τις δύο λιθολογίες και συγκεκριμένα είναι γ=2.54 gr/cm³ για τα ηφαιστειακά λατυποπαγή και γ=2.53 gr/cm³ για τους τόφφους, οπότε θα μπορούσε κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί και η μέση τιμή που προέκυψε για τον ιγκνιμβρίτη, δηλαδή γ=2.54 gr/cm³.

4.2.3.3. Πορώδες – n (%)

Το πορώδες ορίζεται ως ο λόγος του όγκου των κενών (V_u) προς τον συνολικό όγκο (V_t) εκφρασμένο σε ποσοστό (%). Ισχύει γενικά ότι, πολύ μικρό πορώδες της τάξης του 2% έχουν τα κρυσταλλικά πετρώματα, ενώ μπορεί να ανέλθει σε 5% λόγω διαρρήξεων ή αποσάθρωσης. Επίσης 1-12% εμφανίζουν οι βασάλτες. Αν και η πρόσφατη ηφαιστειακή τέφρα έχει πορώδες περίπου 50%, οι ηφαιστειακοί τόφφοι χαρακτηρίζονται από 14-60% (Βουδούρης, 2003, p.204). Σύμφωνα με την Moon (1993, p.35,36), ο ενεργό πορώδες των ιγκνιμβριτών ποικίλει αρκετά και δύναται να είναι για παράδειγμα από 17% έως 43% και σχετίζεται με τα μεγάλα εύρη της φαινόμενης πυκνότητας (bulk density). Η διακύμανση στην πυκνότητα των κόκκων (grain density) σχετίζεται με τις αναλογίες γυαλιού και κρυστάλλων (Moon, 1993, p.35,36).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Για το πορώδες n (%) του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη, διεξάχθηκε επίσης στατιστική επεξεργασία, με σκοπό την εξαγωγή αντιπροσωπευτικής τιμής πορώδους, τόσο για τον συνολικό σχηματισμό του ιγκνιμβρίτη, όσο και για την κάθε λιθολογική διαφοροποίηση αυτού ξεχωριστά (ηφαιστειακοί τόφφοι και ηφαιστειακά λατυποπαγή). Οι διαθέσιμες τιμές ήταν N=26.

Στατιστική Ανάλυση			
porosity	-	-	
Ν	Valid	26	
	Missing	64	
Mean		5.104	
Std. Error of	Mean	.3262	
Median		4.950	
Mode		5.9	
Std. Deviation	n	1.6631	
Minimum		2.3	
Maximum		9.1	
Percentiles	25	3.950	
	50	4.950	
	75	6.000	

Πίνακας 4.2.38 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών του πορώδους (n%) του σχηματισμού



Διάγραμμα 4.2.3.4 Κατανομή των τιμών του πορώδους (n%)

Για την περίπτωση της εξαγωγής τιμής πορώδους για τον τόφφο και το λατυποπαγές ξεχωριστά, όποτε ήταν απαραίτητο οι τιμές συμπεριλήφθηκαν εις διπλούν, αν αντιστοιχούσαν σε δείγμα τόσο τοφφικό όσο και λατυποπαγές, με βάση το βάθος του δοκιμίου, οπού αναφέρεται στο μητρώο ότι εκτελέστηκε η δοκιμή. Αυτό, γιατί δεν ήταν σαφές σε ποια από τις δύο λιθολογίες αυτή διεξάχθηκε. Με άλλα λόγια, εάν το δείγμα στο οποίο πραγματοποιήθηκε δοκιμή, είχε εύρος βάθους από τα 7m έως τα 8m, και η λιθολογία από τόφφο σε λατυποπαγές άλλαζε στα 7.9m τότε η συγκεκριμένη τιμή πορώδους καταγράφεται μόνο στην ακόλουθη στατιστική επεξεργασία, δύο φορές, μία για το ηφαιστειακό λατυποπαγές και μία για τον ηφαιστειακό τόφφο. Συνεπώς το σύνολο των τιμών σε αυτή την περίπτωση είναι N=29, με τις N=19 τιμές να αντιστοιχούν στον τόφφο και τις N=10 τιμές στο λατυποπαγές.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Στατιστική Ανάλυση				
		n_tuff	n_breccia	
Ν	Valid	19	10	
	Missing	71	80	
Mean		5.332	4.590	
Std. Error of	Mean	.3760	.4608	
Median		5.500	4.300	
Mode		5.9	4.3	
Std. Deviation	on	1.6388	1.4571	
Minimum		2.9	2.3	
Maximum		9.1	7.2	
Percentiles	25	4.100	3.850	
	50	5.500	4.300	
	75	6 000	5 900	

Πίνακας 4.2.39 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών πορώδους των ηφαιστειακών τόφφων και λατυποπαγών ξεχωριστά

Το πορώδες που αντιστοιχεί στον ηφαιστειακό τόφφο είναι $n_{\eta\phi} = 5.3\%$, στο ηφαιστειακό λατυποπαγές $n_{\lambda\alpha\tau} = 4,59\%$ και η διαφορά τους είναι μηδαμινή. Ακόμη συμπεραίνεται ότι η συγκεκριμένη τιμή πορώδους είναι σχετικά μικρή, και ομοιάζει εκείνη κρυσταλλικών πετρωμάτων με διαρρήξεις και αποσάθρωση. Αυτό επισημαίνει την «σφικτή» δομή μεταξύ των κόκκων και την παρουσία ελάχιστων διακένων για αποθήκευση και κίνηση του νερού στο υπέδαφος. Είναι δηλαδή αρκετά συμπαγές και σκληρό πέτρωμα, με την παρουσία του δευτερογενούς πορώδους να αυξάνει σε κάποιο βαθμό την περατότητα.

Το ακόλουθο ιστόγραμμα, προβάλλει την συχνότητα εμφάνισης των τιμών πορώδους που καταγράφηκαν στα μητρώα, διαχωρισμένες ανά λιθολογία στην οποία εκτελέστηκε η δοκιμή.



Διάγραμμα 4.2.3.5 Συχνότητα εμφάνισης των τιμών πορώδους (n) των δύο λιθολογιών

4.2.3.4. Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του άρρηκτου βράχου - σ_{ci} (MPa)

Παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα από την εκτέλεση της δοκιμής αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη, για την εξαγωγή της παραμέτρου σ_{ci} (MPa). Οι εικόνες αποτελούν φωτογραφικό αρχείο από την συνολική έκθεση εργαστηριακών δοκιμών που πραγματοποιήθηκε και έπειτα συγγράφηκε από την ΓΕΩΤ.ΕΡ. Διδασκάλου Ε.Ε. (2019). Συγκεκριμένα απεικονίζονται δύο δοκίμια ιγκνιμβρίτη, ένα ηφαιστειακού λατυποπαγούς και ένα ηφαιστειακού τόφφου, πριν και μετά την θραύση τους, από την εκτέλεση της δοκιμής αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη.



Εικόνα 4.2.3.4.1 Φωτογραφία δοκιμίου ηφαιστειακού λατυποπαγούς πριν τη θραύση (α) μετά τη θραύση (β) από ΓΕΩΤ.ΕΡ. Διδασκάλου Ε.Ε. (2019)



Εικόνα 4.2.3.4.2 Φωτογραφία δοκιμίου ηφαιστειακού τόφφου πριν τη θραύση (α) μετά τη θραύση (β) από ΓΕΩΤ.ΕΡ. Διδασκάλου Ε.Ε. (2019)

Για τα παραπάνω δοκίμια ισχύουν τα ακόλουθα στοιχεία, ενώ τελικά προέκειψε αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη σ_{ci} = 98.08 MPa για το ηφαιστειακό λατυποπαγές και σ_{ci} = 83.53 MPa για τον ηφαιστειακό τόφφο στα συγκεκριμένα δείγματα.

Παράμοπορ	Τιμή		
Παραμετρος	Ηφ. Λατυποπαγές	Ηφ. Τόφφος	
Ύψος (cm)	H = 16.70	H = 22.9	
Επιφάνεια (cm ²)	A = 40.16	A = 54.05	
Διάμετρος (cm)	D = 7.15	D = 8,3	
Φαιν. Βάρος (t/m ³)	$\gamma_d = 2.60$	$\gamma_d = 2.67$	
Βάρος (gr)	W = 1743.00	W = 3309	
Φυσική Υγρασία %	αμελητέα	αμελητέα	

Πίνακας 4.2.40 Στοιχεία δοκιμίων προοριζόμενα για εκτέλεση δοκιμής αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη

Όλες οι τιμές αντοχής σε μονοαξονική θλίψη που καταγράφηκαν στα μητρώα, υποβλήθηκαν σε στατιστική επεξεργασία. Πέραν λοιπόν από μία αντιπροσωπευτική τιμή αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για τον άρρηκτο ιγκνιμβρίτη, θα επιχειρηθεί να εξαχθεί τιμή αντοχής ξεχωριστά για τον ηφαιστειακό τόφφο και το ηφαιστειακό λατυποπαγές, έτσι ώστε να συγκριθούν μεταξύ τους και να προκύψουν ανάλογα συμπεράσματα.

Αρχικά, παρατηρείται στο ακόλουθο θηκόγραμμα, ότι στο σύνολο των τιμών δεν υπάρχουν «outliers» (σύμφωνα με το πρόγραμμα του SPSS), δηλαδή ακραίες τιμές που παρεκκλίνουν από το σύνολο.





Το πλήθος των τιμών που αξιολογήθηκαν για τον ιγκνιμβρίτη ήταν N=112 και η μέση τιμή μονοαξονικής αντοχής του άρρηκτου βράχου σ_{ci}=61MPa, με τυπική απόκλιση ±29MPa. Σύμφωνα την ταξινόμηση βραχώδους υλικού με βάση την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (ISRM, 1981), ο ιγκνιμβρίτης της περιοχής κατατάσσεται στα πετρώματα «υψηλής» αντοχής.

Στατιστική Ανάλυση			
σc_MPa			
Ν	Valid	112	
	Missing	4	
Mean		60.9479	
Std. Error of	Mean	2.76252	
Median		57.2950	
Mode		55.20 ^a	
Std. Deviation		29.23580	
Minimum		4.63	
Maximum		131.60	
Percentiles	25	38.3025	
	50	57.2950	
	75	80.6200	
a. Multiple modes exist. The smallest			
value is shown			

Πίνακας 4.2.41 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη του άρρηκτου βράχου, για το συνολικό σχηματισμό του ιγκνιμβρίτη

Η μέγιστη και ελάχιστη τιμή που απαντήθηκε είναι αντίστοιχα $\sigma_{cmax} = 131.6$ MPa και $\sigma_{cmin} = 4.63$ MPa.Το γεγονός της τυπικής απόκλισης 29MPa, υποδεικνύει ότι οι περισσότερες τιμές αντοχής σε μονοαξονική θλίψη συνήθως ξεκινούν από 32MPa και φτάνουν μέχρι τα 90MPa. Επομένως κατά την ταξινόμηση βραχώδους υλικού με βάση την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (ISRM, 1981), ο ιγκνιμβρίτης συνήθως δύναται να κατατάσσεται είτε στα πετρώματα «μέσης» αντοχής (25-50 MPa) είτε στα «υψηλής» αντοχής (50-100 MPa).



Διάγραμμα 4.2.3.7 Κατανομή των τιμών σ_{ci} (MPa)

Ακολουθεί η στατιστική επεξεργασία των τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη ξεχωριστά για τους τόφφους και τα λατυποπαγή του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη, προκειμένου να εντοπιστεί πιθανή διαφοροποίηση στην αντοχή τους.

Στατιστική Ανάλυση			
		σc_tuff	σc_breccia
Ν	Valid	79	35
	Missing	38	82
Mean		62.1311	58.5477
Std. Error of	Mean	3.13130	5.36354
Median		61.0000	51.5000
Mode		65.70	4.63 ^a
Std. Deviation		27.83156	31.73111
Minimum		6.64	4.63
Maximum		131.60	129.70
Percentiles	25	43.6000	34.5000
	50	61.0000	51.5000
	75	78.2000	88.2600
a. Multiple modes exist. The smallest value is shown			

Πίνακας 4.2.42 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη ξεχωριστά για τους τόφφους και τα λατυποπαγή του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει μέση τιμή αντοχής σε μονοαξονική θλίψη των τόφφων (tuff) σ_{c tuff} =62 MPa και των λατυποπαγών (breccia) σ_{c brec} =59 MPa, με τυπική απόκλιση ±28 και ±32 αντίστοιχα. Οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές τους βρίσκονται αρκετά κοντά, όπως και οι μέσες τιμές αντοχής τους σε μονοαξονική θλίψη. Παράλληλα, βρίσκονται κοντά σε τιμή και με τη μέση τιμή αντοχής του συνολικού σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη. Επομένως, η χρήση της μέσης τιμής αντοχής του άρρηκτου βράχου του ιγκνιμβρίτη ως αντιπροσωπευτική του σχηματισμού και ο μη απαραίτητος και αναγκαίος διαχωρισμός του στις επιμέρους λιθολογίες των τόφφων και λατυποπαγών, είναι κατά την κρίση της γράφουσας ορθό. Στη συνέχεια θα προβληθούν οι τιμές αντοχής σε μονοαξονική θλίψη του άρρηκτου βράχου (σ_{ci}) σε συνάρτηση με το βάθος.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Διάγραμμα 4.2.3.8 Τιμές αντοχής σε μονοαξονική θλίψη του άρρηκτου βράχου (σ_{ci}) σε συνάρτηση με το βάθος.

Το βάθος στο οποίο έχουν διανοιχτεί οι περισσότερες γεωτρήσεις είναι ~30m, ενώ μία μόνο γεώτρηση αγγίζει τα ~80m και για το λόγο αυτό το παραπάνω διάγραμμα έχει την συγκεκριμένη μορφή. Ειδικότερα, πέντε (5) εκ του συνόλου των τιμών βρίσκονται βαθύτερα από τις υπόλοιπες, αλλά χωρίς να αποτελούν «ακραίες» τιμές.

Καλό θα ήταν να τονιστεί ότι οι μεγάλου βάθους (70-80m) τιμές αντοχής της συγκεκριμένης γεώτρησης, κυμαίνονται μεταξύ 64 και 110MPa, δηλαδή αρκετά μεγάλες («υψηλής» έως «πολύ υψηλής» αντοχής κατά ISRM, 1981). Αυτό είναι λογικό, καθώς σε μεγάλα βάθη ο σχηματισμός αναμένεται να έχει αντοχή σε μονοαξονική θλίψη πολύ κοντά στην πραγματική τιμή αντοχής του άρρηκτου βράχου, καθώς δεν έχει επηρεαστεί από τις επιφανειακές συνθήκες (ψύξη, θέρμανση, επίδραση του νερού, κλπ) και συνεπώς δεν είναι αποσαθρωμένος, αλλά εμφανίζεται στην αρχική (εκ γενετής) δομή του.

Η γραμμή τάσης που εφαρμόστηκε δείχνει μία ελαφριά αύξηση των τιμών σ_{ci} (MPa) με την αύξηση του βάθους, χωρίς όμως να διακρίνεται με μεγάλη λεπτομέρεια η σχέση των τιμών αντοχής με το βάθος έως τα 30m. Αυτή η τάση αύξησης των τιμών σ_{ci} με το βάθος, επηρεάζεται επιπλέον από τις απομακρυσμένες (σε μεγάλο βάθος) τιμές που προαναφέρθηκαν και που πρακτικά «τραβάνε» την γραμμή προς τα κάτω. Για τον λόγο αυτό, κατασκευάστηκε ξανά το ίδιο ακριβώς διάγραμμα διασποράς,

όπως προβάλλεται στη συνέχεια, μόνο που σε αυτή την περίπτωση ο y-άξονας του βάθους, περιλάμβανε τιμές μέχρι τα 30m.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Διάγραμμα 4.2.3.9 Τιμές αντοχής σε μονοαξονική θλίψη του άρρηκτου βράχου (σ_{ci}) σε συνάρτηση με το βάθος, μετά την αφαίρεση των «ακραίων» τιμών και σε βάθος έως 35m

Σε αυτή την περίπτωση δεν διακρίνεται αύξηση των τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη με την αύξηση του βάθους, αλλά οι τιμές παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά και σε διάφορα βάθη απαντώνται τόσο μικρότερες όσο και μεγαλύτερες τιμές αντοχής. Βέβαια, λόγω της φύσης των μολασσικών σχηματισμών, θα αναμένονταν η ύπαρξη κάποιας διαφοροποίησης στην αντοχή του άρρηκτου βράχου με το βάθος, εξαιτίας της αποσάθρωσης η οποία θεωρητικά αποσβήνει με την αύξηση της απόστασης από την επιφάνεια. Συγκεκριμένα, σε μεγαλύτερα βάθη το πέτρωμα λόγω της πιο κλειστής δομής του και της απουσίας επιφανειακών συνθηκών, θα αναμένονταν να απαντάται στην ακέραιη μορφή του (την υγιή) και με μεγαλύτερη αντοχή.

Αντίστοιχα, οι μικρές τιμές αντοχής σε μικρά βάθη, υποδεικνύουν την απομείωση της αντοχής του άρρηκτου βράχου, λόγω επίδρασης των ατμοσφαιρικών συνθηκών στην μάζα του πετρώματος και της αποσάθρωσής της, κυρίως μέσω των ασυνεχειών που εκφράζονται επιφανειακά, εξαιτίας της «αποσυμπίεσης» της βραχόμαζας (αποχωρισμός ασυνεχειών στρώσεων). Φαίνεται όμως ότι οι αλλαγές αυτές (επιφανειακά και σε βάθος) είτε μπορεί να μην είναι τόσο έντονες ώστε να επηρεάσουν σημαντικά το πέτρωμα ως προς την αντοχή του, είτε να οφείλονται σε άλλους ιδιαίτερους παράγοντες. Για παράδειγμα, ότι οι τιμές μικρής αντοχής σε μεγάλα βάθη (π.χ. 12MPa στα 17m περίπου) ενδεχομένως να οφείλονται σε διακλάσεις που συνεχίζουν σε μεγάλο βάθος και οι οποίες έχουν επηρεάσει ακόμη και την μάζα του πετρώματος (π.χ. από την κυκλοφορία νερού μέσα σε αυτές και την «εξαλλοίωση» της βραχόμαζας εκατέρωθεν της ασυνέχειας). Παρ' όλα αυτά, αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι σε βάθος μεγαλύτερο των ~23m, απουσιάζουν τιμές αντοχής μικρότερες των 40MPa.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

4.2.3.5. Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του άρρηκτου βράχου σ_{ci} (MPa) της στενής περιοχής (6 γεωτρήσεις εκατέρωθεν της σήραγγας)

Στη συνέχεια, απομονώθηκαν οι τιμές σ_{ci} που προέκυψαν από δοκιμές στις γεωτρήσεις της στενής περιοχής της σήραγγας «Πέτρα» και εκτελέστηκε στατιστική επεξεργασία αυτών προκειμένου να συσχετιστούν τα αποτελέσματα, με αυτά της ευρύτερης περιοχής. Βέβαια, ως τιμή αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη για χρήση της εν τέλει ως αντιπροσωπευτική παράμετρος του σχηματισμού, προτείνεται αυτή που προκύπτει από το σύνολο τον γεωτρήσεων της ευρύτερης περιοχής για λόγους που αναφέρθηκαν και σε προηγούμενα κεφάλαια.

Στατιστική Ανάλυση		
σci_MPa_S3		
Ν	Valid	12
	Missing	0
Mean		54.4542
Std. Error of	Mean	10.04464
Median		49.3500
Mode		6.64 ^a
Std. Deviation		34.79564
Minimum		6.64
Maximum		131.60
Percentiles	25	29.5000
	50	49.3500
75		68.7250
a. Multiple modes exist. The		
smallest value is shown		

Πίνακας 4.2.43 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη του άρρηκτου βράχου, για το σχηματισμό του ιγκνιμβρίτη της στενής περιοχής μελέτης

Η μέση τιμή αντιστοιχεί σε σ_{ci}=55MPa, η οποία είναι κοντά στην τιμή που εξάχθηκε για όλον τον σχηματισμό του ιγκνιμβρίτη της ευρύτερης περιοχής μελέτης (σ_{ci}=61MPa). Από την άλλη, με απάλειψη της μικρότερης τιμής των 6.64MPa, η οποία αντιστοιχεί σε μικρό βάθος και πιθανόν σε αποσαθρωμένο δείγμα, η μέση τιμή αντοχής σε μονοαξονική θλίψη του άρρηκτου ιγκνιμβρίτη της στενής περιοχής αγγίζει ακόμη και τα 59MPa, τιμή που είναι σχεδόν ίδια με αυτήν της ευρύτερης περιοχής. Βέβαια ο αριθμός των δειγμάτων που αξιολογήθηκαν είναι μόνο N=12 και δεν αποτελεί ένα αρκετά αξιόπιστο στοιχείο αξιολόγησης. Παρ' όλα αυτά, όπως προαναφέρθηκε, τα συμπεράσματα που εξάγονται για την στενή περιοχή είναι απλώς ενδεικτικά της αντοχής στην θέση της σήραγγας και δεν αποτελούν αντιπροσωπευτική παράμετρο σχεδιασμού όλου του σχηματισμού.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Διάγραμμα 4.2.3.10 Κατανομή των τιμών σ_{ci} (MPa) της στενής περιοχής

Από το διάγραμμα διασποράς που ακολουθεί, συμπεραίνεται και σε αυτήν την περίπτωση η απουσία συσχέτισης της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη με το βάθος, όπως θα ήταν εύλογο, λόγω αποσάθρωσης. Με εξαίρεση την τιμή 34MPa σε βάθος ~22m, καμία από τις τιμές αντοχής δεν είναι <60MPa, σε βάθος >15m.



Διάγραμμα 4.2.3.11 Τιμές σ_{ci} (MPa) στενής περιοχής, σε συνάρτηση με το βάθος

Η τεχνικογεωλογική μηκοτομή με την παράμετρο σ_{ci} (MPa) που προέκυψε κατά μήκος και βάθος της σήραγγας «Πέτρα», παραθέτεται στη συνέχεια.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη





Εικόνα 4.2.3.5.1 Τεχνικογεωλογική μηκοτομή με τις τιμές σ_{ci} (MPa) κατά μήκος και βάθος της σήραγγας «Πέτρα»

Κατά μήκος της εκσκαφής η βραχόμαζα χαρακτηρίστηκε κυρίως από τιμές αντοχής 25-50MPa (γαλάζιο) και δευτερευόντως από 50-100MPa (μωβ) ή και 100-250MPa (μπλε).

4.2.3.6. Λόγος Poisson (v)

Είναι ουσιαστικά ο λόγος της πλευρικής προς την αξονική παραμόρφωση του υλικού και είναι καθαρός αριθμός. Για γραμμικά ελαστικά υλικά το ν παίρνει τιμές από 0 έως 0.5 και συνήθως θεωρείται ίσο με 0.25. Το αρνητικό πρόσημο δηλώνει ότι

το υλικό διαστέλλεται πλευρικά και ταυτόχρονα συστέλλεται αξονικά, με την επίδραση μίας αξονικής τάσης.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

 $\mathbf{v} = - \varepsilon_{\pi\lambda} / \varepsilon_{\alpha\xi}$

Ανάλογα τα χαρακτηριστικά της βραχόμαζας, εκτιμάται ο λόγος Poisson σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα (από Καββαδάς, 2002).

Τύπος Βραχόμαζας	Λόγος Poisson
Τεμαχώδης με καλή αλληλεμπλοκή των κόκκων χωρίς διαταραχή	0.20-0.25
Τεμαχώδης ελαφρώς διαταραγμένη	0.30-0.35
Διαταραγμένη, πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχη	0.35-0.40
Πολύ διαταραγμένη με γωνιώδη και στρογγυλεμένα τεμάχη	0.30-0.35
Τελείως εξαλλοιωμένη βραχόμαζα	0.25-0.30

Πίνακας 4.2.44 Τιμές του λόγου Poisson ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της βραχόμαζας.

Στη συνέχεια, δίνεται ένα παράδειγμα από την εκτέλεση της δοκιμής αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη, με ταυτόχρονη μέτρηση του μέτρου ελαστικότητας και του λόγου Poisson (μέτρηση αξονικών και διαμετρικών παραμορφώσεων), με τη χρήση ειδικών μηκυνσιομέτρων.

Οι εικόνες αποτελούν φωτογραφικό αρχείο από την συνολική έκθεση εργαστηριακών δοκιμών που πραγματοποιήθηκε και έπειτα συγγράφηκε από την ΓΕΩΤ.ΕΡ. Διδασκάλου Ε.Ε. (2019). Συγκεκριμένα απεικονίζονται ένα δοκίμιο ιγκνιμβρίτη (ηφαιστειακό λατυποπαγές) πριν και μετά την θραύση του, κατά την δοκιμή αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη.



Εικόνα 4.2.3.6.1 Φωτογραφία δοκιμίου ηφαιστειακού λατυποπαγούς πριν τη θραύση (α) μετά τη θραύση (β) από ΓΕΩΤ.ΕΡ. Διδασκάλου Ε.Ε. (2019)

Για το παραπάνω δοκίμιο ισχύουν τα ακόλουθα στοιχεία του πίνακα. Τελικά προέκειψε αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη $\sigma_{ci} = 99.15$ MPa , παραμόρφωση ε=0.69%,

μέτρο ελαστικότητας E = 22.3GPa και λόγος Poisson v= 0.13 για το ηφαιστειακό λατυποπαγές, στο συγκεκριμένο δείγμα.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Παράμασορα	Τιμή	
παραμετρος	Ηφ. Λατυποπαγές	
Ύψος (cm)	H = 23.3	
Επιφάνεια (cm ²)	A = 54.26	
Διάμετρος (cm)	D = 8.31	
Φαιν. Βάρος (t/m ³)	$\gamma_d = 2.64$	
Βάρος (gr)	W = 3343.00	
Φυσική Υγρασία %	αμελητέα	

Πίνακας 4.2.45 Μετρηθέντα στοιχεία του δοκιμίου, πριν την εκτέλεση της δοκιμής αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη

Όλες οι τιμές του λόγου Poisson που λήφθηκαν από τα μητρώα των γεωτρήσεων, υποβλήθηκαν σε στατιστική επεξεργασία με στόχο την εξαγωγή μίας αντιπροσωπευτικής τιμής λόγου Poisson (v) για τον σχηματισμό του ιγκνιμβρίτη. Οι διαθέσιμες τιμές ήταν N=7 και τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Στατιστική Ανάλυση				
Poisson_ratio	Poisson_ratio			
Ν	Valid	7		
	Missing	110		
Mean		.16029		
Std. Error of	Mean	.012340		
Median		.17200		
Mode		.180		
Std. Deviation	n	.032648		
Minimum		.106		
Maximum		.200		
Percentiles	25	.13000		
	50	.17200		
	75	.18000		

Πίνακας 4.2.46 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών του λόγου Poisson

Μέση τιμή του λόγου Poisson προέκυψε η ν=0.160 με τυπική απόκλιση ±0.033. Από το θηκόγραμμα γίνεται αντιληπτό το εύρος στο οποίο κυμαίνονται οι τιμές (v) και επιπλέον ότι δεν υπάρχουν ακραίες τιμές («outliers»).



Διάγραμμα 4.2.3.12 Θηκόγραμμα τιμών του λόγου Poisson

Επίσης όλες οι τιμές εμφανίζονται από μία φορά στο σύνολο, εκτός από την τιμή ν=0.18, η οποία παρουσιάζεται δύο (2) φορές, όπως διακρίνεται στο ακόλουθο ιστόγραμμα.



Διάγραμμα 4.2.3.13 Κατανομή των τιμών του λόγου Poisson (ν)

Από τις τιμές που μετρήθηκαν για το πέτρωμα του ιγκνιμβρίτη μία μόνο εμπίπτει στο πρώτο εύρος (0.2-0.25), αυτό της τεμαχώδους δομής με καλή αλληλεμπλοκή των κόκκων χωρίς διαταραχή. Όλες οι υπόλοιπες είναι μικρότερες αυτών.

Αναφορικά με την σχέση των τιμών του λόγου Poisson με το βάθος, γίνεται αντιληπτή από το παρακάτω διάγραμμα διασποράς η ξεκάθαρη συσχέτιση των δύο παραμέτρων. Εξαίρεση αποτελεί μόνο η τιμή ν=0.18 στα 3.85m περίπου η οποία παρεκκλίνει από την κατανομή αυτή.



Διάγραμμα 4.2.3.14 Σχέση τιμών του λόγου Poisson με το βάθος(m)

Αν λοιπόν η συγκεκριμένη τιμή απαλειφτεί, δημιουργείται μία γραμμική γραμμή τάσης που εκφράζει ικανοποιητικά όλες τις υπόλοιπες τιμές, ενώ παράλληλα ο συντελεστής συσχέτισης R=0.889 βρίσκεται κοντά στη μονάδα και δείχνει έναν πολύ υψηλό βαθμό συσχέτισης μεταξύ των δύο (2) παραμέτρων.



Διάγραμμα 4.2.3.15 Σχέση τιμών του λόγου Poisson με το βάθος, μετά την απάλειψη της «ακραίας» τιμής

4.2.3.7. Μέτρο Ελαστικότητας - Ε (MPa)

Στο προηγούμενο υπό-κεφάλαιο δόθηκε παράδειγμα εκτέλεσης της δοκιμής σε ανεμπόδιστη θλίψη με ταυτόχρονη μέτρηση των αξονικών και διαμετρικών παραμορφώσεων, επομένως, μεταξύ άλλων και του μέτρου ελαστικότητας του άρρηκτου βράχου (E_i). Για την παράμετρο του μέτρου ελαστικότητας (MPa), παραθέτεται στη συνέχεια η αντίστοιχη στατιστική επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε με χρήση των τιμών των μητρώων (N=13). Δεν εντοπίζονται ακραίες τιμές σύμφωνα με το πρόγραμμα του SPSS, από την δημιουργία θηκογράμματος, όπως φαίνεται παρακάτω.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Διάγραμμα 4.2.3.16 Θηκόγραμμα των τιμών του μέτρου ελαστικότητας (Ε)

Έτσι, υποβλήθηκαν οι τιμές σε στατιστική επεξεργασία και προέκυψε ο ακόλουθος πίνακας.

Στατιστική Ανάλυση			
Modulus_of_Elasticity_MPa			
Ν	Valid	13	
	Missing	104	
Mean		22616,92	
Std. Error of	Mean	3475,136	
Median		22300,00	
Mode		3593 ^a	
Std. Deviation		12529,781	
Minimum		3593	
Maximum		41150	
Percentiles	25	11340,00	
	50	22300,00	
	75	32855,00	
a. Multiple modes exist. The smallest value is shown			

Πίνακας 4.2.47 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών του μέτρου ελαστικότητας (Ε) του συνολικού σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη

Οι τιμές που αξιολογήθηκαν εμφανίζουν ως μέγιστη την τιμή E_{i max}=41150 MPa και ως ελάχιστη την E_{i min}=3593 MPa. Μέση τιμή για τον σχηματισμό του ιγκνιμβρίτη, ορίζεται η τιμή του μέτρου ελαστικότητας E_i =22617 MPa, με τυπική απόκλιση ±12530 MPa. Η κατανομή των τιμών φαίνεται και στο παρακάτω υστόγραμμα. Είναι γενικά υψηλές, με τις περισσότερες να βρίσκονται εντός του εύρους των 20-30GPa.



Διάγραμμα 4.2.3.17 Κατανομή των τιμών του μέτρου ελαστικότητας του ιγκνιμβρίτη (E-MPa)

Με σκοπό τον πιθανό εντοπισμό διαφοράς στις τιμές του μέτρου ελαστικότητας του άρρηκτου βράχου για τον ηφαιστειακό τόφφο και το ηφαιστειακό λατυποπαγές, εκτελέστηκε στατιστική επεξεργασία ξανά στις ίδιες τιμές αλλά ξεχωριστά για τις δύο λιθολογίες.

Στατιστική Ανάλυση			
		E _i _tuff	E _i _breccia
Ν	Valid	9	4
	Missing	108	113
Mean		22408,11	23086,75
Std. Error of	Mean	4285,815	6832,267
Median		26010,00	21615,00
Mode		3593 ^a	7967 ^a
Std. Deviation		12857,446	13664,533
Minimum		3593	7967
Maximum		41090	41150
Percentiles	25	11340,00	11207,75
	50	26010,00	21615,00
	75	32855,00	36437,50
a. Multiple modes exist. The smallest value is shown			

Πίνακας 4.2.48 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών του μέτρου ελαστικότητας (Ε) για τους ηφαιστειακούς τόφφους και λατυποπαγή ξεχωριστά

Δεν παρατηρείται κάποια σημειωτέα διαφορά στις τιμές του μέτρου ελαστικότητας μεταξύ των υπό εξέταση λιθολογιών, καθώς είναι E_i tuff =22408 MPa και E_i brecc=23087 MPa. Εντοπίζεται μόνο μία μικρή υπεροχή του μέτρου ελαστικότητας των ηφαιστειακών λατυποπαγών. Η ενιαία τιμή για τον ιγκνιμβρίτη που υπολογίστηκε προηγουμένως (E_i =22617 MPa), βρίσκεται ανάμεσα στις δύο παραπάνω τιμές. Συνεπώς θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η τελευταία ως

αντιπροσωπευτική του σχηματισμού και όχι δύο ξεχωριστές για τις επιμέρους λιθολογίες. Ακολουθεί διάγραμμα διασποράς των παραμέτρων: του μέτρου ελαστικότητας του άρρηκτου βράχου (MPa) και του βάθους (m), με την αποτύπωση της γραμμικής γραμμής τάσης.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Πίνακας 4.2.49 Σχέση τιμών του μέτρου ελαστικότητας του άρρηκτου βράχου (MPa) του ιγκνιμβρίτη και του βάθους (m)

Διακρίνεται μερική συσχέτιση των δύο παραμέτρων και συγκεκριμένα μία μείωση των τιμών του μέτρου ελαστικότητας με την αύξηση του βάθους, κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο και λογικό.

Στις γεωτρήσεις εκατέρωθεν της σήραγγας «Πέτρα», εντοπίστηκε μία μόνο τιμή E_i=7967 MPa, στη γεώτρηση ΔΝΤ-12, η οποία αποτελεί τη δεύτερη μικρότερη τιμή του συνόλου που εξετάστηκαν προηγουμένως για την ευρύτερη περιοχή. Επομένως κρίνεται ότι δεν υπάρχει νόημα κατασκευής αντίστοιχης μηκοτομής και ξεχωριστής στατιστικής επεξεργασίας της παραμέτρου.

4.2.3.8. Αντοχή σε εφελκυσμό- σ_t (MPa)

Οι τιμές αντοχής σε εφελκυσμό (MPa) που λήφθηκαν από τα μητρώα των γεωτρήσεων, υποβλήθηκαν σε στατιστική επεξεργασία (N=13). Ακολουθεί θηκόγραμμα στο οποίο προβάλλονται οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές σt (MPa), η μέση τιμή και τα τεταρτημόρια («quartiles») των 25, 50 και 75.



Διάγραμμα 4.2.3.18 Θηκόγραμμα των τιμών αντοχής σε εφελκυσμό (MPa) του ιγκνιμβρίτη

Επίσης εντοπίζεται μία ακραία τιμή («outlier») στο κελί 13, που αντιστοιχεί στην τιμή σ_t=11.3 MPa. Σύμφωνα όμως την φυσική σημασία της τιμής αυτής και την γεωλογική λογική, δεν θα ληφθεί ως ακραία τιμή και δεν θα αποβληθεί από το σύνολο των δεδομένων. Το τελευταίο βασίζεται στο γεγονός ότι, το δείγμα στο οποίο εκτελέστηκε η δοκιμή λήφθηκε από το πιο μεγάλο βάθος (συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα που αξιολογούνται), και συγκεκριμένα από τα 19.2m. Σε μεγαλύτερα βάθη αναμένεται μεγαλύτερη αντοχή σε εφελκυσμό, καθώς το πέτρωμα βρίσκεται πιο κοντά στην άρρηκτη δομή του και δεν έχει υποστεί μεταβολές από τις επιφανειακές συνθήκες (π.χ. αποσάθρωση).

Στατιστική Ανάλυση		
σt_MPa		
Ν	Valid	13
	Missing	0
Mean		5.2577
Std. Error of	Mean	.74773
Median		5.1000
Mode		.98 ^a
Std. Deviation		2.69599
Minimum		.98
Maximum		11.30
Percentiles	25	3.2650
	50	5.1000
	75	6.7900
a. Multiple modes exist. The smallest		
value is shown		

Πίνακας 4.2.50 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών αντοχής σε εφελκυσμό (MPa) του ιγκνιμβρίτη

Ος μέσος όρος της τιμής αντοχής σε εφελκυσμό (σ_t) ορίζεται η τιμή 5.26MPa, με τυπική απόκλιση ±2.7MPa. Η κατανομή των τιμών προβάλλεται στο ακόλουθο διάγραμμα συχνοτήτων.



Διάγραμμα 4.2.3.19 Κατανομή των τιμών αντοχής σε εφελκυσμό (σt) του ιγκνιμβρίτη

Επίσης, στατιστική επεξεργασία πραγματοποιήθηκε και για κάθε λιθολογία του ιγκνιμβρίτη ξεχωριστά, με αποτέλεσμα τον παρακάτω πίνακα.

Στατιστική Ανάλυση			
		σt_tuff	σt_breccia
Ν	Valid	7	6
	Missing	6	7
Mean		4.8057	5.7850
Std. Error of	Mean	.86067	1.32928
Median		5.1000	5.5500
Mode		.98 ^a	2.48^{a}
Std. Deviation		2.27713	3.25606
Minimum		.98	2.48
Maximum		8.17	11.30
Percentiles	25	3.7800	2.6825
	50	5.1000	5.5500
	75	6.5000	8.1350
a. Multiple modes exist. The smallest value is shown			

Πίνακας 4.2.51 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών αντοχής σε εφελκυσμό (MPa) των ηφαιστειακών τόφφων και λατυποπαγών ξεχωριστά

Η μέση αντοχή σε εφελκυσμό των τόφφων και λατυποπαγών είναι αντίστοιχα σ_{t tuff}=4.81 MPa και σ_{t brec}=5.79 MPa, οι οποίες δεν παρουσιάζουν σημαντική διαφορά, παρά μόνο μία υπεροχή της αντοχής σε εφελκυσμό των λατυποπαγών κατά 0.98 MPa.
Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε διάγραμμα διασποράς της αντοχής σε εφελκυσμό (MPa) με το βάθος (m), με την αντίστοιχη γραμμική γραμμή τάσης.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Διάγραμμα 4.2.3.20 Σχέση αντοχής σε εφελκυσμό (MPa) με το βάθος (m) για τον σχηματισμό του ιγκνιμβρίτη

Η τελευταία δείχνει μία ελαφριά αύξηση της σ_t με την αύξηση του βάθους. Τούτο είναι λογικό, καθώς σε μεγαλύτερα βάθη το πέτρωμα είναι περισσότερο υγιές. Παρόλαυτα, με μία πρώτη ματιά στα δεδομένα του διαγράμματος, δεν εντοπίζεται συσχέτιση μεταξύ των υπό εξέταση παραμέτρων, παρά μόνο στην περίπτωση απάλειψης δύο «ακραίων» τιμών (outliers), που είναι και η μικρότερες εκ του συνόλου. Αυτές είναι τιμές μικρής εφελκυστικής αντοχής σε μεγάλα βάθη (συγκριτικά με τις υπόλοιπες), δηλαδή οι τιμές σ_t=0.98MPa στα 12m περίπου και σ_t=2.48 MPa στα 14.3m. Τότε, πράγματι θα ήταν εμφανής η συσχέτιση των δύο παραμέτρων, όπως φαίνεται ακολούθως, μετά την διαγραφή των «ακραίων» αυτών τιμών, και με την γραμμική γραμμή τάσης να αντιπροσωπεύει πλέον καλύτερα τα δεδομένα.



Διάγραμμα 4.2.3.21 Σχέση αντοχής σε εφελκυσμό (MPa) με το βάθος (m) για τον σχηματισμό του ιγκνιμβρίτη, μετά την απάλειψη των ακραίων τιμών («outliers»)

4.2.3.9. Διατμητική αντοχή φυσικής ασυνέχειας, c(kPa) & $φ(^{\circ})$

Σε φυσικές ασυνέχειες του ιγκνιμβρίτη, σε ένδεκα (11) δοκίμια που ελήφθησαν από τις γεωτρήσεις ΔΣ-01, ΔΣ-02, ΔΣ-03, ΔΣ-04, Γ-27, Γ-19 και Γ-21, πραγματοποιήθηκε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Σκοπός είναι η εξαγωγή της διατμητικής αντοχής αυτών, δηλαδή των παραμέτρων συνοχής (c) και γωνίας τριβής (φ) των ασυνεχειών.

Δίνεται ένα παράδειγμα από την εκτέλεση της δοκιμής άμεσης διάτμησης ασυνεχειών βράχου (ISRM Suggested Method for Laboratory Determination of the Shear Strength of Rock Joints, Revised Version, 2014), για τον υπολογισμό των παραμέτρων διατμητικής αντοχής c (MPa) και φ (°). Οι εικόνες αποτελούν φωτογραφικό αρχείο από την συνολική έκθεση εργαστηριακών δοκιμών που πραγματοποιήθηκε και έπειτα συγγράφηκε από την ΓΕΩΤ.ΕΡ. Διδασκάλου Ε.Ε. (2019). Συγκεκριμένα απεικονίζεται δοκίμιο ιλυόλιθου, πριν και μετά την δοκιμή άμεσης διάτμησης, ο οποίος αποτελεί στοιχείο της μολάσσας στη σήραγγα Σ1Ν («Δημαρίου»). Ιλυόλιθος δεν απαντάται κατά μήκος της υπό μελέτης σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα») και το παρακάτω παράδειγμα είναι απλά ενδεικτικό, καθώς δεν ήταν διαθέσιμες ανάλογες εικόνες για τον ιγκνιμβρίτη.







Για το παραπάνω δοκίμιο ισχύουν τα ακόλουθα στοιχεία.

Παράμετρος	Πάνω μισό	Κάτω μισό
Μήκος (mm)	83,55	83,55
Πλάτος (mm)	77,18	77,18
Μορφή	Ελλειπτική	
Βάρος (g)	-	2626

Πίνακας 4.2.52 Στοιχεία δοκιμίου πριν την εκτέλεση της δοκιμής άμεσης διάτμησης

Όπως και στις προηγούμενες παραμέτρους, όλες οι τιμές συνοχής και γωνίας τριβής του ιγκνιμβρίτη που λήφθηκαν από τα μητρώα, υποβλήθηκαν σε στατιστική επεξεργασία, από την οποία προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα. Οι τιμές που καταγράφηκαν, και απεικονίζονται στο ακόλουθο διάγραμμα, χαρακτηρίζονται ως υψηλές και στην μελέτη από Μαρίνο Β. (2020) χαρακτηρίζονται ως μη αντιπροσωπευτικές και κατάλληλες να χρησιμοποιηθούν περεταίρω (π.χ. στα στερεοδιαγράμματα).





Για την συνοχή και γωνία τριβής ξεχωριστά, καταγράφονται τα παρακάτω δύο (2) υποκεφάλαια.

4.2.3.9.1. Συνοχή c (MPa)

Για τη συνοχή c (KPa) δημιουργήθηκε το ακόλουθο θηκόγραμμα, με σκοπό την ανεύρεση ενδεχόμενων ακραίων τιμών («outliers») κατά το SPSS. Οι τιμές που εμφανίστηκαν ως ακραίες, είναι οι δύο (2) μεγαλύτερες τιμές συνοχής εκ του συνόλου των τιμών (N=11) και αντιστοιχούν σε μεγάλο βάθος συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Επομένως, με την προϋπόθεση ότι οι τιμές αυτές είναι εύλογες με βάση τη γεωλογική λογική, δεν θα απορριφτούν ως ακραίες.



Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη	·"		
I GEOPPAZIOZ	Στα	τιστική Ανάλ	ωση
μήμα Γεωλογίας	c_KPa		
А.П.Ө	N	Valid	11
OX reaction of the second seco		Missing	0
	Mean		315.6518
	Std. Error of	Mean	53.40307
	Median		310.0000
	Mode		183.59
	Std. Deviatio	n	177.11795
	Minimum		89.00
	Maximum		643.33
	Percentiles	25	183.5900
		50	310.0000
		75	354.6400
Пінаная 1 2 52			- omo to on on of or o

Πίνακας 4.2.53 Αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των τιμών συνοχής (c) του

ιγκνιμβρίτη

Ως μέση τιμή προκύπτει c_{mean}=316 KPa ή 0.316 MPa, με τυπική απόκλιση ±177KPa. Στο ιστόγραμμα προβάλλονται οι συχνότητες εμφάνισης των τιμών συνοχής ανά εύρη των 50 KPa.



Διάγραμμα 4.2.3.24 Κατανομή των τιμών συνοχής (c) του ιγκνιμβρίτη

Επίσης ανάλυση πραγματοποιήθηκε και για τις δύο λιθολογίες του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη ξεχωριστά, δηλαδή τους ηφαιστειακούς τόφφους και τα ηφαιστειακά λατυποπαγή, με σκοπό την διαπίστωση ενδεχόμενης διαφοράς στη συνοχή των φυσικών τους ασυνεχειών.

Συγκεκριμένα προέκυψε ctuff = 215 KPa ή 0.215 MPa με τυπική απόκλιση ±85 KPa και cbrecc = 492KPa ή 0.492 MPa με τυπική απόκλιση ±159 KPa. Επομένως η συνοχή των φυσικών ασυνεχειών των ηφαιστειακών λατυποπαγών υπερέχει κατά λίγο αυτή των ηφαιστειακών τόφφων. Τούτο ενδεχομένως να σχετίζεται με την

αυξημένη συνοχή που μπορεί να παρουσιάζουν οι λατύπες (λιθάρια και βολίδες) των ηφαιστειακών κροκαλοπαγών.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Statistics				
		c_tuff	c_breccia	
Ν	Valid	7	4	
	Missing	4	7	
Mean		215.0586	491.6900	
Std. Error of	Mean	31.97224	79.57360	
Median		183.5900	484.8050	
Mode		183.59	353.82 ^a	
Std. Deviation		84.59059	159.14719	
Minimum		89.00	353.82	
Maximum		332.44	643.33	
Percentiles	25	171.7900	354.0250	
	50	183.5900	484.8050	
	75	310.0000	636.2400	
a. Multiple modes exist. The smallest value is				
shown				

Πίνακας 4.2.54 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών συνοχής (c) των ηφαιστειακών τόφφων και λατυποπαγών ξεχωριστά

Παρακάτω προβάλλονται μία προς μία οι τιμές συνοχής c (KPa) με διαφορετικό χρώμα για την κάθε λιθολογία, σε συνάρτηση με την σχετική τους συχνότητα (%). Είναι εμφανές ότι οι μεγαλύτερες τιμές ανήκουν στο ηφαιστειακό λατυποπαγές και οι μικρότερες στους ηφαιστειακούς τόφφους.



Διάγραμμα 4.2.3.25 Τιμές συνοχής c (KPa) με διαφορετικό χρώμα για την κάθε λιθολογία, σε συνάρτηση με την σχετική τους συχνότητα (%)

Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε διάγραμμα διασποράς με σκοπό την ανεύρεση πιθανής συσχέτισης των παραμέτρων συνοχής (c) με το βάθος, για όλον τον σχηματισμό του ιγκνιμβρίτη αλλά και για τους τόφφους και τα λατυποπαγή ξεχωριστά. Πράγματι, με την απεικόνιση της γραμμικής γραμμής τάσης εντοπίζεται αύξηση της συνοχής των φυσικών ασυνεχειών με την αύξηση του βάθους. Το τελευταίο ενδεχομένως οφείλεται στην περισσότερο κλειστή δομή των ασυνεχειών σε





Διάγραμμα 4.2.3.26 Σχέση συνοχής (c-MPa) με το βάθος (m) για το σύνολο του ιγκνιμβρίτη

Τόσο τα ηφαιστειακά λατυποπαγή όσο και οι ηφαιστειακοί τόφφοι ξεχωριστά, διακρίνεται ότι συσχετίζονται γραμμικά με το βάθος.



Διάγραμμα 4.2.3.27 Σχέση συνοχής (c-MPa) με το βάθος (m), με διάκριση των τιμών που αντιστοιχούν σε ηφαιστειακό λατυποπαγές ή ηφαιστειακό τόφφο

4.2.3.9.2. Γωνία τριβής φ (°)

Με τον ίδιο τρόπο πραγματοποιήθηκε ανάλυση για την γωνία τριβής φ (°). Δεν εντοπίστηκαν ακραίες τιμές με βάση το θηκόγραμμα.



Διάγραμμα 4.2.3.28 Θηκόγραμμα τιμών γωνίας τριβής φ (°) του συνόλου του σχηματισμού

Είναι φ_{max} = 41° και φ_{min} = 23.9°, ενώ ως μέση τιμή ορίζεται η φ_{mean} = 32.9° με τυπική απόκλιση ±5.8° σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα των στατιστικών αποτελεσμάτων.

Statistics			
φ_degrees			
Ν	Valid	11	
	Missing	0	
Mean		32.936	
Std. Error of	Mean	1.7377	
Median		35.900	
Mode	Mode		
Std. Deviation		5.7634	
Minimum		23.9	
Maximum		41.0	
Percentiles	25	28.800	
	50	35.900	
	75	37.600	
a. Multiple modes exist. The smallest			
value is shown			

Πίνακας 4.2.55 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών γωνίας τριβής (φ) του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη

Επίσης, παραθέτεται το ιστόγραμμα συχνοτήτων των τιμών φ (°) ανά 1°, και διακρίνεται η κατανομή τους στο σύνολο.



Διάγραμμα 4.2.3.29 Κατανομή των τιμών γωνίας τριβής (φ) του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη

Δεν φαίνεται να υπάρχει συσχέτιση της γωνίας τριβής με το βάθος, καθώς οι τιμές είναι διασπαρμένες σε διάφορα βάθη χωρίς να ακολουθούν κάποια συγκεκριμένη κατανομή.



Διάγραμμα 4.2.3.30 Σχέση της γωνίας τριβής (φ) με το βάθος (m)

Οι τιμές φ (°) επεξεργάστηκαν στατιστικά και για τις δύο επιμέρους λιθολογίες και φαίνεται ότι η μέση τιμή της γωνίας τριβής τους είναι πολύ κοντά (1.5° διαφορά) και πρακτικά δεν θα διαφοροποιηθούν ούτε ως προς την εν λόγω παράμετρο. Αντιπροσωπευτική θα έπρεπε να θεωρηθεί η τιμή φ=33° που προέκυψε για τον συνολικό σχηματισμό του ιγκνιμβρίτη. Βέβαια, στην Οριστική Γεωλογική Μελέτη (70225526RGR3A001) στο τμήμα παραλλαγής XΘ.11+420 έως 13+904 (Μαρίνος Β., 2020) αναφέρεται ότι «οι τιμές που προέκυψαν είναι ιδιαιτέρως υψηλές και μη αντιπροσωπευτικές για χρήση τους στα τεκτονικά διαγράμματα και στους ελέγχους δυνητικών ολισθήσεων». Για τον λόγω αυτό, αξιολογώντας ως ορθή την συγκεκριμένη παρατήρηση και στην παρούσα εργασία, θα λαμβάνεται ως γωνία τριβής στα στερεοδιαγράμματα η τιμή των ~25° της γεώτρησης Γ-27. Αυτή η τιμή είναι πιο συντηρητική αλλά και αντιπροσωπευτική για την στενή περιοχή, καθώς στη σήραγγα Σ2Ν («Πέτρα») μόνο μία δοκιμή άμεσης διάτμησης εκτελέστηκε στην γεώτρηση Γ-27 και έδωσε φ=24.5° και c=89KPa.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Statistics			
		φ_tuff	φ_breccia
Ν	Valid	7	4
	Missing	4	7
Mean		33.114	32.625
Std. Error of	Mean	1.9881	3.7142
Median		35.900	32.800
Mode	Mode		23.9 ^a
Std. Deviation		5.2600	7.4285
Minimum		24.5	23.9
Maximum		37.6	41.0
Percentiles	25	28.800	25.350
	50	35.900	32.800
	75	37.600	39.725
a. Multiple modes exist. The smallest value is shown			

Πίνακας 4.2.56 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών γωνίας τριβής (φ) των ηφαιστειακών τόφφων και λατυποπαγών ξεχωριστά

Η γωνία τριβής των ηφαιστειακών τόφφων και ηφαιστειακών λατυποπαγών ξεχωριστά, σε συνάρτηση με το βάθος, φαίνεται ότι χαρακτηρίζεται από γραμμική συσχέτιση. Ειδικότερα, ακόμη μεγαλύτερη συσχέτιση των εν λόγω τιμών εμφανίζεται σε περίπτωση απάλειψης ορισμένων που αποκλίνουν από το σύνολο (π.χ. 35.9° σε βάθος 17.4m για τα ηφαιστειακά λατυποπαγή και 35.9° σε βάθος 6m για τους ηφαιστειακούς τόφφους). Αντίθετα, δεν προκύπτει συσχέτιση σε περίπτωση που οι δύο (2) λιθολογίες ληφθούν ενιαία ως σχηματισμός του ιγκνιμβρίτη, όπως αποδείχθηκε παραπάνω.



Διάγραμμα 4.2.3.31 Σχέση της γωνίας τριβής (φ) με το βάθος, με διάκριση των τιμών που αντιστοιχούν σε ηφαιστειακό τόφφο ή ηφαιστειακό λατυποπαγές

4.2.3.10. Αντοχή σε σημειακή φόρτιση – $I_{s(50)}$ (MPa) της ευρύτερης περιοχής (όλης της παραλλαγής της χάραξης)

Οι τιμές του δείκτη $I_{s(50)}$ που προέκυψαν από δοκιμές σημειακής φόρτισης σε διάφορα βάθη κατά μήκος των γεωτρήσεων, συγκεντρώθηκαν και επεξεργάστηκαν στατιστικά. Αρχικά κατασκευάστηκε το παρακάτω θηκόγραμμα με βασικό σκοπό την εξακρίβωση των ακραίων τιμών $I_{s(50)}$ («outliers»).



Διάγραμμα 4.2.3.32 Θηκόγραμμα τιμών αντοχής σε σημειακή φόρτιση $I_{s(50)}$

Ειδικότερα, παρατηρείται ότι με βάση το πρόγραμμα του SPSS ως ακραίες τιμές θεωρούνται οι μεγαλύτερες εκ του συνόλου, δηλαδή οι $I_{s(50)}=6.01$ MPa, $I_{s(50)}=6.05$ MPa και $I_{s(50)}=6.76$ MPa. Οι τελευταίες όμως, λόγω του ότι απαντώνται σε βάθος >11m (βάθος μεγάλο, συγκριτικά με τις υπόλοιπες) θα θεωρηθούν από τη

γράφουσα, με βάση τη γεωλογική λογική, εύλογες και, δεν θα απορριφτούν από την ανάλυση.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Επίσης, δεν θα απορριφτούν τιμές οι οποίες είναι εξαιρετικά μικρές (<1MPa) και σύμφωνα με την κατάταξη κατά Bieniawski (1975) δεν συνίσταται δοκιμή σημειακής φόρτισης σε αυτά τα δείγματα. Αυτό επιλέχθηκε, καθώς βρίσκονται σε μικρό βάθος και, με βάση πάλι την γεωλογική λογική, είναι αναμενόμενες και λογικές. Αντιθέτως, κρίνεται σκόπιμο από την στατιστική ανάλυση να απορριφτούν τιμές πολύ μικρής αντοχής σε σημειακή φόρτιση που όμως βρίσκονται σε μεγάλο βάθος και απέχουν από την γενική κατανομή των τιμών του συνόλου. Μία εικόνα για την κατανομή των τιμών μπορεί να προκύψει από το ακόλουθο διάγραμμα διασποράς, στο οποίο οι τιμές Ι_{s(50)} (MPa) κατανέμονται με το βάθος.



Διάγραμμα 4.2.3.33 Κατανομή τιμών αντοχής σε σημειακή φόρτιση $I_{s(50)}$ με το βάθος για το σύνολο του ιγκνιμβρίτη

Φαίνεται ότι οι περισσότερες τιμές βρίσκονται μεταξύ 0 MPa και 3 MPa, ενώ άλλες απέχουν αρκετά από γραμμική γραμμή τάσης και δεν συμπεριλαμβάνονται στην περιοχή μέγιστης πυκνότητας που δημιουργείται από τα σημεία. Τέτοιες τιμές, μεγάλου βάθους και πολύ μικρού $I_{s(50)}$, είναι τα παρακάτω ζευγάρια (MPa, m): (0.49, 28.75), (0.71, 31.6), (0.05, 19.35), (0.3, 19.3), (0.16, 16.6), (0.3, 16.7), (0.07, 14.45).

Ενδεχομένως οφείλονται σε διακλάσεις ή και ρηγματογενείς ζώνες που εκτείνονται σε μεγάλο βάθος και λόγω της κυκλοφορίας νερού και αέρα στο εσωτερικό τους έχουν αλλοιώσει περιμετρικά τις δύο εκατέρωθεν πλευρές των τεμαχών από τις οποίες απαρτίζονται. Έτσι η δοκιμή πιθανόν να εκτελέστηκε στην αποσαθρωμένη μάζα του βράχου. Επίσης, ο τρόπος εκτέλεσης της δοκιμής είναι ύψιστης σημασίας, καθώς πρέπει να εκτελείται σε καθαρά δείγματα, κάθετα στην σχιστότητά τους και τις εμφανείς μικροασυνέχειες (Μαρίνος Β., 2007). Σε περίπτωση που δεν ισχύει μία από τις παραπάνω προϋποθέσεις, η τιμή του δείκτη σημειακής φόρτισης δύναται να αλλάζει σημαντικά. Με την απάλειψη όλων των παραπάνω τιμών, προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα διασποράς, με την γραμμική γραμμή τάσης να εκφράζει καλύτερα τα δεδομένα.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Διάγραμμα 4.2.3.34 Κατανομή τιμών αντοχής σε σημειακή φόρτιση $I_{s(50)}$ με το βάθος για το σύνολο του ιγκνιμβρίτη, μετά από απάλειψη των «outliers»

Φαίνεται λοιπόν να υπάρχει κάποια συσχέτιση μεταξύ των δύο υπό εξέταση παραμέτρων και συγκεκριμένα αύξηση της αντοχής σε σημειακή φόρτιση με την αύξηση του βάθους, γεγονός που είναι λογικό, καθώς σε μεγαλύτερη απόσταση από την επιφάνεια το πέτρωμα αναμένεται περισσότερο υγιές και ανεπηρέαστο από τις επιφανειακές συνθήκες, την τεκτονική καταπόνηση και πιο κοντά στην «άρρηκτη» μορφή του. Παρ' όλα αυτά, η μεγάλη διασπορά των τιμών είναι εμφανής, όπως αντίστοιχα παρατηρήθηκε και στο σ_{ci}. Επομένως δεν εξάγονται ασφαλή συμπεράσματα με την κατά βάθος διασπορά των αποτελεσμάτων των δοκιμών σημειακής φόρτισης, αφού χαμηλές τιμές εντοπίζονται και σε μεγάλα βάθη.

Στη συνέχεια, για τις υπόλοιπες τιμές $I_{s(50)}$, πλην αυτών που αφαιρέθηκαν από την ανάλυση, πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία, όπως φαίνεται ακολούθως.

Στατιστική Ανάλυση			
IS(50)			
Ν	Valid	85	
	Missing	7	
Mean		2.0273	
Std. Error of Mean		.15388	
Median		1.8900	
Mode		.65	



Πίνακας 4.2.57 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών $I_{s(50)}$ του ιγκνιμβρίτη της ευρύτερης περιοχής μελέτης

Ως μέση τιμή ορίζεται η I_{s(50)}=2.03 MPa που αντιστοιχεί σε βραχόμαζα «μέσης» αντοχής (2-4 MPa) κατά Bieniawski (1975). Η κατανομή των τιμών προβάλλεται στο ακόλουθο ιστόγραμμα συχνοτήτων.





Γίνεται και εδώ εμφανές ότι, κυρίως επικρατούν τιμές έως 3 MPa περίπου. Εξάλλου από τα τεταρτημόρια του πίνακα, παρατηρείται ότι το 75% των τιμών βρίσκονται κάτω από την τιμή 2.71 MPa.

Συγκριτικά, ως προς την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη, ο σχηματισμός του ιγκνιμβρίτη χαρακτηρίστηκε κατά την ISRM (1981) ως «υψηλής» αντοχής (50-100 MPa), ενώ ως προς την σημειακή φόρτιση χαρακτηρίστηκε ως «μέσης» αντοχής (2-4MPa). Η διαφορά αυτή πιθανόν να πρέπει να αποδοθεί στην αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων της δοκιμής σε σημειακή φόρτιση, η οποία απλώς δίνει μία πρώτη εκτίμηση για την αντοχή του πετρώματος και δεν αποτελεί βασικό γνώμονα χαρακτηρισμού του ως προς την αντοχή. Σύμφωνα με τους Κούκη & Σαμπατακάκη (2002) το εύρος των τιμών αντοχής για το ίδιο πέτρωμα, οφείλεται:

στην φυσική κατάσταση των δειγμάτων (π.χ. βαθμός αποσάθρωσης, ύπαρξη μικροασυνεχειών, κ.λπ.)

στον βαθμό διαγένεσής τους

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

στην μεταβαλλόμενη ορυκτολογική τους σύσταση (π.χ. ανάλογα το συγκολλητικό υλικό του ψαμμίτη: ασβεστιτικό, μαργαϊκό, αργιλικό, κ.λπ.)

στην πιθανή ύπαρξη ανισοτροπίας αντοχής

Σε κάθε περίπτωση, είτε το πέτρωμα ορίζεται ως «υψηλής» αντοχής με βάση την UCS ή ως «μέσης» αντοχής με βάση τον I_{s(50)}, ο άρρηκτος βράχος του ιγκνιμβρίτη έχει μία αρκετά ικανοποιητική αντοχή.

Με σκοπό την ανεύρεση της πιθανής διαφοράς των τιμών του δείκτη αντοχής σε σημειακή φόρτιση μεταξύ των τόφφων και των λατυποπαγών, πραγματοποιήθηκε επιμέρους στατιστική επεξεργασία για τις δύο λιθολογίες και προέκυψαν τα παρακάτω.

Στατιστική Ανάλυση			
	Is(50) tuff	Is(50) beccia	
	(MPa)	(MPa)	
Valid	48	37	
Missing	44	55	
	2.3225	1.6443	
Mean	.23500	.16182	
Median		1.4900	
Mode		.65 ^a	
Std. Deviation		.98432	
Minimum		.25	
Maximum		3.45	
25	.9450	.7450	
50	2.0900	1.4900	
75	3.1750	2.4850	
	Στατισ Valid Missing Mean n 25 50 75	Στατιστική ΑνάλυσηIs(50) tuff (MPa)ValidValid440.3225Mean2.3225Mean2.0900.75°n1.62814.076.7625.9450502.0900753.1750	

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

Πίνακας 4.2.58 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών $I_{s(50)}$ των ηφαιστειακών τόφφων και ηφαιστειακών λατυποπαγών ξεχωριστά

Είναι ξεκάθαρη η διαφορά στην αντοχή σε σημειακή φόρτιση των δύο λιθολογιών, με την $I_{s(50)tuff}$ =2.32 MPa (τυπική απόκλιση ±1.62MPa) για τους ηφαιστειακούς τόφφους και $I_{s(50)brec}$ =1.64 MPa (τυπική απόκλιση ±0.98MPa) για το ηφαιστειακό λατυποπαγές. Ακολουθεί το διάγραμμα συχνότητας εμφάνισης των τιμών $I_{s(50)}$ που αποδόθηκαν στους δύο σχηματισμούς, με τις μεγαλύτερες τιμές αντοχής σε σημειακή φόρτιση να αντιστοιχούν στους ηφαιστειακούς τόφφους. Τούτο πιθανόν συμβαίνει σε περίπτωση που πραγματοποιήθηκε δοκιμή σε δείγματα ηφαιστειακού λατυποπαγούς με μεγαλύτερη αποσάθρωση.



Διάγραμμα 4.2.3.36 Συχνότητα εμφάνισης των τιμών $I_{s(50)}$ με διάκριση των δύο (2) σχηματισμών

Με την απάληψη ορισμένων «ακραίων» τιμών από το παρακάτω διάγραμμα διασποράς, διακρίνεται συσχέτιση μεταξύ των εξεταζόμενων παραμέτρων. Επομένως οι χαμηλότερες τιμές αντοχής σε σημειακή φόρτιση πράγματι οφείλονται σε αξιολόγηση αποσαθρωμένων δειγμάτων.



Διάγραμμα 4.2.3.37 Διάγραμμα διασποράς των παραμέτρων: βαθμού αποσάθρωσης και δείκτη αντοχής σε σημειακή φόρτιση, με την γραμμική γραμμή τάσης να υποδεικνύει μείωση της αντοχής σε σημειακή φόρτιση με την αύξηση της αποσάθρωσης.

4.2.3.11 $I_{s(50)}$ της στενής περιοχής της σήραγγας (6 γεωτρήσεις εκατέρωθεν)

Απομονώθηκαν οι τιμές αντοχής σε σημειακή φόρτιση των γεωτρήσεων στη στενή περιοχή της σήραγγας και επεξεργάστηκαν στατιστικά, προκειμένου να διερευνηθούν τυχόν διαφορές ή ομοιότητες της αντοχής σε σημειακή φόρτιση του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη στη θέση αυτή, σε σχέση με την ευρύτερη περιοχή. Σαφώς, οι τιμές που θεωρούνται αντιπροσωπευτικές για τον σχηματισμό είναι αυτές που προέκυψαν προηγουμένως για το σύνολο του ιγκνιμβρίτη. Επίσης θα κατασκευαστεί μηκοτομή στην οποία προβάλλονται οι τιμές I_{s(50)} κατά μήκος της σήραγγας. Το θηκόγραμμα των τιμών υποδεικνύει ως «outlier» την μεγαλύτερη τιμή του συνόλου των εξεταζόμενων τιμών, δηλαδή την I_{s(50)}=6.76 MPa.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Διάγραμμα 4.2.3.38 Θηκόγραμμα τιμών $I_{s(50)}$ (MPa) του ιγκνιμβρίτη της στενής περιοχής της σήραγγας

Παρ' όλα αυτά, εν λόγω τιμή δεν θα απαλειφθεί από το σύνολο, καθώς θεωρείται εύλογη για το βάθος στο οποίο βρίσκεται, όπως φαίνεται στο διάγραμμα διασποράς. Επίσης στο ίδιο διάγραμμα διακρίνεται από την γραμμική γραμμή τάσης, μία τάση αύξησης των τιμών αντοχής σε σημειακή φόρτιση με το βάθος, γεγονός αναμενόμενο και λογικό για του λόγους που προαναφέρθηκαν. Βέβαια, η μεγάλη διασπορά των τιμών είναι εμφανής.



Διάγραμμα 4.2.3.39 Κατανομή τιμών αντοχής σε σημειακή φόρτιση με το βάθος

Αντιθέτως, τιμές όπως η $I_{s(50)}$ =0.16MPa στα 16.6m και $I_{s(50)}$ =0.07 στα 14.45m πιθανόν να αποτελούν λανθασμένα αποτελέσματα δοκιμών (π.χ. λόγω λανθασμένης τοποθέτησης του δείγματος) ή ζώνες αποσαθρωμένου πετρώματος σε μεγάλα σχετικά βάθη. Εξάλλου, σύμφωνα με τον Bieniawski (1975), σε πετρώματα με $I_{s(50)}$ <1MPa δεν συνίσταται δοκιμή αντοχής σε σημειακή φόρτιση.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Περιγραφή	Δ είκτης αντοχής σε σημειακή φόρτιση $I_{S(50)}$
Πολύ υψηλής αντοχής	>8
Υψηλής αντοχής	4-8
Μέσης αντοχής	2-4
Χαμηλής αντοχής	1-2
Πολύ χαμηλής αντοχής	(<1) Δεν συνιστάται η δοκιμή

Πίνακας 4.2.59 Ταξινόμηση των τιμών του δείκτη σημειακής φόρτισης κατά Bieniawski (1975)

Επομένως δεν εξάγονται ασφαλή συμπεράσματα με την κατά βάθος διασπορά των αποτελεσμάτων των δοκιμών σημειακής φόρτισης, αφού χαμηλές τιμές εντοπίζονται και σε μεγάλα βάθη. Τα ζευγάρια αυτά αφαιρέθηκαν και από την προηγηθείσα στατιστική επεξεργασία για το σύνολο του ιγκνιμβρίτη, επομένως κρίνεται ορθό να απαλειφθούν και από την παρούσα για την στενή περιοχή. Το τελικό διάγραμμα διασποράς έχει την παρακάτω μορφή.



Διάγραμμα 4.2.3.40 Κατανομή των τιμών Ι_{S(50) με} το βάθος, για την στενή περιοχή της σήραγγες

Από το πρόγραμμα SPSS προκύπτουν τα παρακάτω, μετά την απάλειψη των εν λόγω ακραίων τιμών.

Στατιστική Ανάλυση		
plt_MPa_S3		
Ν	Valid	20
	Missing	3
Mean		2.1600
Std. Error of	Std. Error of Mean	

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη	%			
CLOFF AL TOL	Median		2.0050	
Τμήμα Γεωλογίας	Mode		.30 ^a	
А.П.О	Std. Deviation		1.53286	
	Minimum		.30	
	Maximum		6.76	
	Percentiles	25	.9125	
		50	2.0050	
		75	2.6875	
	a. Multiple n	a. Multiple modes exist. The		
	smallest valu	ie is shown	n	

Πίνακας 4.2.60 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών $I_{s(50)}$ του ιγκνιμβρίτη της στενής περιοχής

Η μέση τιμή I_{s(50)}=2.16 MPa, αντιστοιχεί σε πέτρωμα μέσης αντοχής κατά Bieniawski (1975) και είναι αρκετά κοντά στην μέση τιμή του συνόλου του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη. Οι περισσότερες τιμές, όπως φαίνεται και στην κατανομή, αντιστοιχούν στο εύρος 2-3MPa.





Από την τεχνικογεωλογική μηκοτομή του δείκτη αντοχής σε σημειακή φόρτιση, φαίνεται ότι κατά την εκσκαφή κυρίως θα απαντηθούν τιμές του εύρους 2-4MPa και δευτερευόντως τιμές <1MPa ή 1-2MPa. Επίσης σε ορισμένες θέσεις εντοπίζονται και τιμές που ανήκουν στο εύρος 4-8MPa.



Εικόνα 4.2.3.11.1 Τεχνικογεωλογική μηκοτομή του δείκτη σημειακή φόρτισης (I_{s(50)}) κατά μήκος και κατά βάθος της σήραγγας «Πέτρα»

4.2.3.12 Σχέση $I_{s(50)}$ - $σ_{ci}$

Θα πρέπει να τονιστεί αρχικά ότι τα αποτελέσματα δοκιμών PLT πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή, αναφορικά με την μετατροπή τους σε σ_{ci}, ενώ επίσης στη βιβλιογραφία προτείνεται μία ποικιλία τιμών του συντελεστή μετατροπής Κ. Στη συνέχεια θα εξαχθεί η εξίσωση Α' βαθμού μεταξύ αντοχής σε σημειακή φόρτιση I_{s(50)} (MPa) και αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη σ_{ci} (MPa) που ορίζεται από την γραμμική γραμμή τάσης του διαγράμματος και έπειτα θα συγκριθεί η τιμή του συντελεστή Κ που θα προκύψει, με αυτές που προτείνονται βιβλιογραφικά.

Οι εν λόγω αντοχές που συγκρίνονται, δημιουργούν ζευγάρια τιμών οι οποίες έχουν προκύψει από δοκιμή στο ίδιο εύρος βάθους σύμφωνα με τα μητρώα και, επομένως αντιπροσωπεύουν την αντοχή του πετρώματος σε συγκεκριμένο βάθος κάθε φορά. Συνεπώς προκύπτει η παρακάτω εικόνα διαγράμματος διασποράς, η οποία δείχνει μία καλή συσχέτιση των δύο παραμέτρων, με την γραμμική γραμμή τάσης να εκφράζει τα σημεία ικανοποιητικά.



Διάγραμμα 4.2.3.42 Γραμμική συσχέτιση των παραμέτρων αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη και αντοχής σε σημειακή φόρτιση

Εξαίρεση αποτελούν δύο ζευγάρια τιμών, τα οποία απέχουν τη μεγαλύτερη απόσταση από την γραμμική γραμμή τάσης. Αυτά είναι τα (1.16, 117.2) και (4.58, 51.41). Με την διαγραφή των προαναφερθέντων σημείων (outliers), η γραμμική γραμμή τάσης θα έχει καλύτερη εφαρμογή στα σημεία και η εξίσωση που θα προκύψει θα είναι περισσότερο αντιπροσωπευτική, όπως φαίνεται στη συνέχεια.





Η εξίσωση που χαρακτηρίζει τα δεδομένα είναι η y = 23.7x + 13, της μορφής y=Kx+b. Όπου $y=\sigma_c$ και όπου $x=I_{s(50)}$. Ο συντελεστής Κ, είναι ο συντελεστής μετατροπής του σ_{ci} σε $I_{s(50)}$ και το αντίστροφο. Από αυτήν την εξίσωση μπορεί έμμεσα να υπολογιστεί τόσο η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη, όσο και η αντοχή σε σημειακή φόρτιση.

Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη την τιμή αντοχής σ_c = 61 MPa που προέκυψε προηγουμένως για τον σχηματισμό του ιγκνιμβρίτη, ισχύει:

 $\sigma_c=23.7*I_{s(50)}+13 =>$

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

 $61{=}23.7{*}I_{s(50)} + 13 =>$

 $I_{s(50)} = 2.03 \text{ MPa}$

Η τιμή αυτή είναι ίδια με αυτήν που προέκυψε απευθείας από τις δοκιμές αντοχής σε σημειακή φόρτιση για τον ιγκνιμβρίτη. Αντίστοιχα μπορεί να υπολογιστεί, με βάση την τιμή του δείκτη αντοχής σε σημειακή φόρτιση ($I_{s(50)}$ =1.97 MPa) που προέκυψε απευθείας από τις δοκιμές, η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη, με βάση την ίδια εξίσωση.

$$\begin{split} &\sigma_c{=}23.7{}^*I_{s(50)}+13=>\\ &\sigma_c=23.7{}^*1.97+13=>\\ &\sigma_c=59.7\ \text{MPa}, \end{split}$$

Η τιμή αυτή επίσης βρίσκεται πάρα πολύ κοντά σε αυτήν που προέκυψε απευθείας από τις δοκιμές αντοχής σε μονοαξονική θλίψη (σ_c = 61 MPa).

Η εξίσωση που προέκειψε (σ_{ci}=23.7*I_{s(50)} + 13), βρίσκεται αρκετά κοντά στις εξισώσεις που προτείνονται από την βιβλιογραφία για σκληρά περώματα όπως ο συγκεκριμένος συγκολλημένος ιγκνιμβρίτης, μεγάλης αντοχής. Οι τιμές που αναμένονται γενικά, όπως καταγράφηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, είναι συντελεστής μετατροπής K>15 έως και 25 που προτείνει ως μέγιστο η ISRM (1987) για όλα τα πετρώματα. Η τιμή K=23.7 βρίσκεται εντός των επιθυμητών ορίων. Να διευκρινιστεί εδώ ότι ο συντελεστής μετατροπής K=15 αντιστοιχεί σε ξηρό συγκολλημένο και μη συγκολλημένο ιγκνιμβρίτη του Μείο-Πλειοκαίνου, με UCS<50MPa, σύμφωνα με έρευνα που διεξάχθηκε από τον Kahraman (2014) για αντίστοιχους σχηματισμούς της Καππαδοκίας, που όμως έχουν μικρότερη αντοχή και ηλικία. Για τον λόγο αυτό ο εν λόγω συντελεστής αναμένεται μεγαλύτερος στον εξεταζόμενο ιγκνιμβρίτη.

Επίσης, παρόμοια συμπεράσματα για τον συντελεστή Κ προκύπτουν και από την δημοσίευση των Tsiambaos & Sabatakakis (2004): «Considerations on strength of

intact sedimentary rocks» Engineering Geology 72 (3-4): 261-273. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, προτείνονται από τους συγκεκριμένους ερευνητές τιμές συντελεστή K=13 για $I_{s(50)}$ <2MPa, K=20 για 2< $I_{s(50)}$ <5MPa και K=28 για $I_{s(50)}$ >5MPa. Η τιμή $I_{s(50)}$ =2.03MPa αντιστοιχεί σε K=20, που είναι σχετικά κοντά στην τιμή που προέκειψε από την εξίσωση.

4.2.4. Επιτόπου δοκιμές

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

4.2.4.1. Διαπερατότητα - k (cm/s)

Αναφορικά με τη διαπερατότητα του ιγκνιμβρίτη, στο σύνολο εκτελέστηκαν τρείς (3) δοκιμές περατότητας Lugeon για βραχώδεις σχηματισμούς, σε δύο (2) γεωτρήσεις, ΓΣ-1 και ΓΣ-2. Προέκυψαν τρείς διαφορετικές τιμές, οι δύο εκ των οποίων πραγματοποιήθηκαν σε τόφφο και λατυποπαγές αντίστοιχα, ενώ η τρίτη τιμή περατότητας έγινε σε εύρος βάθους (σύμφωνα με το μητρώο) στο οποίο απαντώνται και οι δύο λιθολογίες (σύμφωνα με το αντίστοιχο κασάκι).

Πρέπει να επισημανθεί ότι οι δοκιμές Lugeon δεν εκτελέστηκαν εξ ολοκλήρου στις συγκεκριμένες λιθολογίες, αλλά το εύρος βάθους της δοκιμής στις περισσότερες περιπτώσεις, περιλάμβανε και ιλυόλιθο. Εκτελέστηκε δηλαδή συνολικά στον μολασσικό σχηματισμό, δηλαδή εναλλαγές πάγκων ψαμμιτικού τύπου (ιγκνιμβρίτης) με ιλυόλιθο. Επομένως, δεν θεωρείται αντιπροσωπευτική η εξαγωγή συμπερασμάτων για την διαπερατότητα αποκλειστικά του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη, μέσα από τις τιμές αυτές.

Να αναφερθεί στο σημείο αυτό ότι, σε δύο επιπλέον γεωτρήσεις (ΔΣ-01 και ΔΣ-03) πραγματοποιήθηκαν δοκιμές περατότητας και αποδόθηκαν απλώς οι χαρακτηρισμοί «ολικές» ή «μηδενικές» απώλειες. Ειδικότερα, στην ΔΣ-01 που είναι βέβαια πολύ απομακρυσμένη της σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα»), παρατηρήθηκαν αρχικά «μηδενικές» και έπειτα «ολικές» απώλειες. Από την άλλη πλευρά, στην ΔΣ-03, που τοποθετείται κοντά στο στόμιο εξόδου της Σ1Ν («Δημαρίου»), οι απώλειες ήταν μηδενικές. Η σήραγγα «Πέτρα» βρίσκεται κοντύτερα στην τελευταία περίπτωση.

Ο πίνακας που ακολουθεί, περιλαμβάνει τα βάθη στα οποία εκτελέστηκε η δοκιμή Lugeon στις ΓΣ-1 και ΓΣ-2, αναλυτικά, με την πλήρη λιθολογία που

περιλαμβάνεται σε κάθε βάθος. Αν και το πλήθος των δοκιμών Lugeon είναι πολύ μικρό για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων, κρίνεται σκόπιμο να εξαχθεί τιμή περατότητας (k) για το σύνολο των σχηματισμών που ονομάζονται πρακτικά «μολάσσα».

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Γεώτρηση	Λιθολογία	Περατότητα k (cm/sec)	Βάθος εκτέλεσης δοκιμής (m)
	Ιλυόλιθος	1.3*10 ⁻⁴	8-9
ΓΣ1	Ηφαιστειακό Λατυποπαγές	1.3*10-4	9-11.3
	Ιλυόλιθος	1.3*10 ⁻⁴	11.3-13.2
ΓΣ2	Ιλυόλιθος	1.8*10 ⁻⁷	59-60
	Ψαμμίτης (Τόφφος)	1.8*10 ⁻⁷	60-63.3
	Ιλυόλιθος	1.8*10 ⁻⁷	63.3-67.4
	Ιλυόλιθος	1.3*10 ⁻⁵	67.4-72.5
	Ηφαιστειακό Λατυποπαγές	1.3*10 ⁻⁵	72.5-73.4

Πίνακας 4.2.61 Βάθη και λιθολογία εκτέλεσης της δοκιμής Lugeon στις ΓΣ-1 και ΓΣ-2, με την αντίστοιχη τιμή του συντελεστή περατότητας k(m/s)

Έγινε πρώτα μετατροπή των παραπάνω τιμών περατότητας (k) από cm/s που καταγράφηκαν στα μητρώα των γεωτρήσεων, σε m/s. Οι τιμές που προέκυψαν φαίνονται ακολούθως.

Περατότητα k (m/s)	
1.3*10 ⁻⁶ m/s	
1.8*10 ⁻⁹ m/s	
$1.3*10^{-7}$ m/s	
	_

Πίνακας 4.2.62 Τψές περατότητας (k) μετά από μετατροπή σε m/s Σύμφωνα με την ταξινόμηση του συντελεστή υδροπερατότητας (k), κατά Terzaghi and Peck (1967), οι παραπάνω τιμές της μολάσσας ανήκουν στην κατηγορία της και «χαμηλής» έως «πολύ χαμηλής» υδροπερατότητας.

Συντελεστής k (m/s)	Χαρακτηρισμός
$10^{-3} \le k$	Υψηλή
$10^{-5} \le k < 10^{-3}$	Μέτρια
$10^{-7} \le k < 10^{-5}$	Χαμηλή
$10^{-9} \le k < 10^{-7}$	Πολύ Χαμηλή
$k < 10^{-9}$	Πρακτικά αδιαπέρατος σχηματισμός

Πίνακας 4.2.63 Κατηγορίες συντελεστών περατότητας κατά Terzaghi and Peck (1967)

Γενικά πάντως, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, η διακύμανση της περατότητας εξαρτάται από το καθεστώς διάρρηξης. Ακόμη, στην Οριστική Γεωλογική Μελέτη του Κάθετου Άξονα 70 της Εγνατίας Οδού «Ξάνθη-Εχίνος-Ελληνοβουλγαρικά Σύνορα» (Αλεξιάδου, 2014) αναφέρεται ότι «από τις τρεις λιθολογικές φάσεις της μολάσσας Ροδόπης, αυτή που αναμένεται να παρουσιάζει την σχετικά υψηλότερη διαπερατότητα είναι τα ηφαιστειακά λατυποπαγή». Αυτό πράγματι επιβεβαιώνεται και στην παρούσα περίπτωση, καθώς στο βάθος που εντοπίστηκε ηφαιστειακό λατυποπαγές, προέκυψε k=1.3*10⁻⁴ και 1.3*10⁻⁵ cm/s, ενώ στο βάθος που εντοπίστηκε ψαμμίτης (τόφφος) είναι k=1.8*10⁻⁷ cm/s, τιμή μικρότερης περατότητας.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Οι παραπάνω τρείς τιμές, τοποθετήθηκαν σε διάγραμμα διασποράς, σε συνάρτηση με το μέσο βάθος στο οποίο εκτελέστηκε η δοκιμή Lugeon και προέκυψε η παρακάτω εικόνα, με την γραμμική γραμμή τάσης. Αν και το πλήθος των διαθέσιμων δεδομένων, όπως προαναφέρθηκε, είναι μικρό N=3, παρατηρείται ότι αυτές έχουν μία τάση μείωσης με την αύξηση του βάθους. Το τελευταίο είναι αναμενόμενο και εύλογο, καθώς σε βαθύτερα σημεία το δευτερογενές πορώδες σπανίζει και η μεταφορά του υπόγειου νερού μπορεί να γίνεται με πολύ μικρό ρυθμό έως και καθόλου.



Διάγραμμα 4.2.4.1 Κατανομή τιμών του συντελεστή περατότητας k(m/s), με το μέσο βάθος στο οποίο εκτελέστηκε η δοκιμή Lugeon

4.3 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΝΟΤΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΣΤΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Ο προσδιορισμός των τύπων βραχόμαζας, βασίζεται στην οριοθέτηση των παραμέτρων (αντοχής και παραμορφωσιμότητας) εκείνων όπου καθορίζουν τη συμπεριφορά της βραχόμαζας και επηρεάζουν τη μέθοδο διάνοιξης, το χρόνο και το κόστος. Ένας τύπος βραχόμαζας είναι πρακτικά ένα σύνολο γεωυλικών με όμοιες μηχανικές, φυσικές ή και υδραυλικές ιδιότητες (από παρουσίαση Τεχνικής Γεωλογίας).

Στο κεφάλαιο αυτό στόχος είναι η διάκριση τεχνικογεωλογικών ενοτήτων (ΤΕ) στη στενή περιοχή της σήραγγας (6 γεωτρήσεις εκατέρωθεν αυτής), έτσι ώστε να ομαδοποιηθούν οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντώνται, ανάλογα την ποιότητά τους και συνεπώς ανάλογα την διαφορετική συμπεριφορά τους που αναμένεται να παρουσιάσουν κατά την εκσκαφή.

Για την διάκριση τεχνικογεωλογικών ενοτήτων χρησιμοποιούνται ορισμένα βασικά γεωλογικά και τεχνικογεωλογικά κριτήρια. Αυτά περιλαμβάνουν:

- την κάθε διαφορετική λιθολογία, η οποία χαρακτηρίζεται από μία τιμή αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη του άρρηκτου βράχου (σ_{ci}) και μία τιμή μέτρου ελαστικότητας (E_i)
- τον Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (GSI), δηλαδή την δομή και την ποιότητα ασυνεχειών της βραχόμαζας,
- τον Δείκτη Κερματισμού του Πετρώματος (RQD) ο οποίος είναι σύμφωνος με την έννοια της «δομής» της παραμέτρου του GSI
- την περατότητα k (m/s)

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

> τον βαθμό αποσάθρωσης (weathering), μία έννοια η οποία εμπεριέχεται και στην «ποιότητα ασυνεχειών» του δείκτη GSI.

> Οι Τεχνικογεωλογικές Ενότητες διακρίνονται αρχικά για το σύνολο του ιγκνιμβρίτη της στενής περιοχής της σήραγγας και έπειτα διευκρινίζεται ποιες από αυτές αναμένεται να συναντηθούν κατά την εκσκαφή της. Επίσης για την κάθε ΤΕ που θα παρευρεθεί κατά μήκος της σήραγγας, χρησιμοποιείται η τιμή της σταθεράς m_i, σ_{ci} και E_i στο πρόγραμμα RocData της Rocscience με εφαρμογή του γενικευμένου κριτηρίου αντοχής Hoek-Brown και προκύπτουν οι τιμές αντοχής και μέτρου παραμορφωσιμότητας για τη βραχόμαζα (σ_{cm}, E_m) καθώς και οι τιμές συνοχής και γωνίας τριβής της (c, φ). Ακόμη δίνεται μία περιγραφή για την κάθε ΤΕ και παραθέτεται αντιπροσωπευτική φωτογραφία από τα κασάκια των γεωτρήσεων.

Τα κριτήρια (τεχνικογεωλογικές παράμετροι) που προαναφέρθηκαν, με βάση τα οποία θα διακριθούν οι τεχνικογεωλογικές ενότητες, επεξεργάστηκαν στατιστικά στο προηγούμενο κεφάλαιο και δημιουργήθηκαν ομάδες/κατηγορίες όμοιων τιμών, όπως παραθέτονται στη συνέχεια. Τα κριτήρια χωρισμού τεχνικογεωλογικών ενοτήτων αναλύονται στα παρακάτω υποκεφάλαια.

4.3.1 Λιθολογία (σ_{ci}, E_i)

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Όσον αφορά τις λιθολογίες που απαντώνται κατά μήκος της σήραγγας, δεσπόζει ο εκρηξιγενής ηφαιστειακός σχηματισμός του ιγκνιμβρίτη, ο οποίος περιλαμβάνει δύο επιμέρους λιθολογίες, τους ηφαιστειακούς τόφφους και τα ηφαιστειακά λατυποπαγή και επομένως, θα μπορούσαμε να πούμε ότι διακρίνονται δύο ενότητες.

Παρ' όλα αυτά, λόγω του γεγονότος ότι οι ηφαιστειακοί τόφφοι και τα ηφαιστειακά λατυποπαγή εμφανίζονται σε συνέχεια το ένα με το άλλο, δηλαδή σαν να μεταβαίνουν πλευρικά, δεν διακρίνεται κάποιο σαφές και ακριβές όριο αλλαγής της λιθολογίας. Αυτό συμβαίνει γιατί η απόθεση των πιο αδρόκοκκων διαδέχεται την απόθεση των λεπτόκοκκων κατά την συνεχή εξέλιξη της ηφαιστειακής έκρηξης. Επίσης, τα λατυποπαγή δεν καταλαμβάνουν σημαντικό πάχος σε όλη τους την έκταση, αλλά μόνο τοπικά, δημιουργώντας λοιπόν μία εικόνα συχνών εναλλαγών τόφφων-λατυποπαγών, στην οποία το εύρος των λατυποπαγών δεν είναι ανάλογο με την κλίμακα της αξιολόγησης του πετρώματος στη σήραγγα. Ακόμη, οι ιδιότητες αντοχής και παραμορφωσιμότητας των δύο πετρωμάτων εμφανίζουν πολύ μικρές διαφορές, όπως αποδείχθηκε στα αντίστοιχα κεφάλαια, με αποτέλεσμα την τελική θεώρηση ότι αποτελούν έναν ενιαίο σχηματισμό με ίδιες ιδιότητες σε όλο το μήκος του. Προκύπτει λοιπόν ότι οι τόφφοι με τους ορίζοντες ή αποσφηνώσεις ηφαιστειακών λατυποπαγών, αποτελούν ένα ενιαίο σύστημα λιθολογίας και καλό θα ήταν να μην διαχωριστούν κατά την διάκριση τεχνικογεωλογικών ενοτήτων, αλλά ο συνολικός σχηματισμός του «ιγκνιμβρίτη» να διαχωριστεί επιμέρους σε ενότητες με βάση τις υπόλοιπες ιδιότητες της βραχόμαζας (π.χ. GSI).

Βέβαια, στις θέσεις των στομίων (χαμηλά υπερκείμενα) όπου η βραχόμαζα είναι επηρεασμένη από την αποσάθρωση λόγω της επίδρασης των ατμοσφαιρικών συνθηκών και της διευκόλυνσης της δράσης της λόγω της αποσυμπίεσης των στρωμάτων, η αντοχή της αναμένεται απομειωμένη σε σχέση με αυτή του υγιούς σχεδόν «άρρηκτου» βράχου στο σώμα της σήραγγας. Με άλλα λόγια, στις θέσεις αυτές θα μπορούσε να αποδοθεί για τον σχηματισμό του ιγκνιμβρίτη μικρότερη τιμή αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη, καθώς η αποσάθρωση στη μάζα του πετρώματος οδηγεί σε εξασθένησή της. Το προαναφερθέν υποστηρίζεται από το παρακάτω διάγραμμα αντοχής-βαθμού αποσάθρωσης, στο οποίο η γραμμική γραμμή τάσης υποδεικνύει μείωση της αποσάθρωσης με την αύξηση της τιμής της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη. Συμπεραίνεται δηλαδή ότι, πράγματι η αποσάθρωση είναι η αιτία που ορισμένα από τα δείγματα εμφανίζουν χαμηλότερη αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη. Να σημειωθεί εδώ ότι το παρακάτω διάγραμμα διασποράς θα εμφανίζει καλύτερη συσχέτιση των παραμέτρων του, με την απάλειψη ορισμένων διακριτών τιμών που αποκλίνουν από την κατανομή («ακραίες»), για παράδειγμα σ_{ci}=103.3 MPa με βαθμό αποσάθρωσης ΙΙΙ, σ_{ci}=111.5MPa και σ_{ci}=118.1MPa με βαθμό αποσάθρωσης ΙΙ-ΙΙΙ.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Διάγραμμα 4.3.1.1 Διάγραμμα διασποράς του βαθμού αποσάθρωσης με την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη

Για τον λόγο αυτό θα πραγματοποιηθεί ξεχωριστή στατιστική επεξεργασία των τιμών εκείνων της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη που αντιστοιχεί ταυτόχρονα σε βαθμούς αποσάθρωσης ΙΙΙ έως V (ISRM, 1981), το οποίο εύρος, όπως θα αναφερθεί και στη συνέχεια, θεωρείται ότι αντιστοιχεί σε βαθμούς αποσαθρώσεων της βραχόμαζας στις θέσεις των στομίων.

Το σύνολο των τιμών που αξιολογούνται αρχικά είναι N=8. Το θηκόγραμμα που φαίνεται στη συνέχεια υποδεικνύει μία τιμή (σ_{ci}=103.3KPa) ως «ακραία». Αυτή, πράγματι κρίνεται και με βάση τη γεωλογική λογική ως «outlier», αφού αντιστοιχεί σε πέτρωμα με έντονη αποσάθρωση στις επιφάνειες των ασυνεχειών και ελαφρά αποσάθρωση στη μάζα του υλικού, ενώ ταυτόχρονα αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες τιμές αντοχής του συνόλου του ιγκνιμβρίτη (αποσαθρωμένου και μη).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη





Τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας παραθέτονται στη συνέχεια, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η ακραία τιμή σ_{ci}=103.3KPa.

Statistics						
σci_stomia						
N	Valid	7				
	Missing	0				
Mean	·	33.3114				
Std. Error of	Mean	5.49489				
Median		34.8000				
Mode	Mode					
Std. Deviation	14.53811					
Minimum		10.88				
Maximum		51.41				
Percentiles	25	24.0000				
	50	34.8000				
	75	49.1000				
a. Multiple modes exist. The						
smallest value is shown						

Πίνακας 4.3.1 Αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των τιμών σ_{ci} της αποσαθρωμένης βραχόμαζας του ιγκνιμβρίτη

Επομένως, ως μέση τιμή ορίζεται η σ_{ci}=33.3KPa για τον αποσαθρωμένο ιγκνιμβρίτη των στομίων.



Διάγραμμα 4.3.1.3 Ιστόγραμμα κατανομής της συχνότητας εμφάνισης των τιμών σ_{ci} της αποσαθρωμένης βραχόμαζας του ιγκνιμβρίτη

Οπως και στην περίπτωση της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη, ισχύει και για το μέτρο ελαστικότητας ότι στις θέσεις των στομίων (χαμηλά υπερκείμενα) όπου η βραχόμαζα είναι επηρεασμένη από την αποσάθρωση, το μέτρο ελαστικότητας αναμένεται απομειωμένο σε σχέση με αυτό του υγιούς σχεδόν «άρρηκτου» βράχου στο σώμα της σήραγγας. Παρ' όλα αυτά δεν εντοπίζονται τιμές του μέτρου ελαστικότητας που να έχουν ληφθεί από αποσαθρωμένο ιγκνιμβρίτη (βαθμού ΙΙΙ έως V), έτσι ώστε να διεξαχθεί ξεχωριστή στατιστική επεξεργασία. Επομένως η αντιπροσωπευτική τιμή του μέτρου ελαστικότητας για τον άρρηκτο βράχο (E_i=22617MPa) που υπολογίστηκε προηγουμένως, θα απομειωθεί ενδεικτικά κατά μία τυπική απόκλιση (Standard Deviation of E_i=12530MPa), όπως προέκυψε στα αποσαθρωμένο ιγκνιμβρίτη (στις θέσεις των στομίων) ορίζεται ως E_i=10087MPa ή 10.1GPa.

Η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη του άρρηκτου βράχου (σ_{ci}) και το μέτρο ελαστικότητας (E_i) για την κάθε μία λιθολογία του ιγκνιμβρίτη ξεχωριστά, όπως και για τον σχηματισμό του ιγκνιμβρίτη συνολικά, τόσο στην άρρηκτη όσο και στην αποσαθρωμένη μορφή του παραθέτεται στη συνέχεια.

α/α	Λιθολογία	σ _{ci} (MPa)	E _i (MPa)
1	Ηφαιστειακό Λατυποπαγές	59	23087
2	Ηφαιστειακός Τόφφος	62	22408
3	Ιγκνιμβρίτης	61	22617
4	Αποσαθρωμένος Ιγκνιμβρίτης	33	10087

Πίνακας 4.3.2 Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη του άρρηκτου βράχου (σ_{ci}) και μέτρο ελαστικότητας (E_i) των δύο (2) μεμονωμένων λιθολογιών και του συνολικού σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη

4.3.2 Δείκτης Γεωλογικής Αντοχής (GSI)

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

А.П.Ө

Αναφορικά με το GSI (δομή και ποιότητα ασυνεχειών), οι τιμές του ομαδοποιήθηκαν σε δέκα (10) κατηγορίες, σύμφωνα με τα δεδομένα όλων των διαθέσιμων γεωτρήσεων της ευρύτερης περιοχής της σήραγγας, όπως καταγράφηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Ακολούθως, με την στατιστική ανάλυση μόνο των δεδομένων των γεωτρήσεων της στενής περιοχής, εντοπίστηκαν εκείνες οι (6) κατηγορίες εκ του συνόλου (10), οι οποίες παρατηρούνται και στην στενή περιοχή της σήραγγας και φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

α/ α	ТЕ	ΔΟΜΗ	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	GSI
1	А	Άρρηκτη	Πολύ Καλή έως Μέτρια	74-84
3	В	Τεμαχώδης/ Αδιατάρακτη- Στρωματώδης	Πολύ Καλή έως Καλή-Μέτρια	60-70
7	С	Διαταραγμένη- Στρωματώδης/Πτυχωμένη έως Αποδιοργανωμένη	Πολύ Καλή έως Καλή-Μέτρια	37-45
8	D	Διαταραγμένη- Στρωματώδης/Πτυχωμένη έως Αποδιοργανωμένη	Μέτρια έως Πτωχή	20-30
9	E	Αποδιοργανωμένη	Πολύ Καλή έως Καλή-Μέτρια	32-42
10	F	Αποδιοργανωμένη	Μέτρια έως Πολύ Πτωχή	13-23

Πίνακας 4.3.3 Κατηγορίες τιμών GSI που παρατηρούνται τις γεωτρήσεις που προβάλλονται κάθετα στη σήραγγα και η ονομασία τους σαν τεχνικογεωλογικές ενότητες

Αξίζει να τονιστεί το γεγονός ότι οι τιμές GSI προέκυψαν από την αξιολόγηση των πυρήνων γεωτρήσεων του ιγκνιμβρίτη, σύμφωνα με την δομή και την ποιότητα των ασυνεχειών. Δηλαδή κάθε αλλαγή στην τιμή GSI, πραγματοποιούνταν μόνο όταν άλλαζε μία από τις δύο παραμέτρους του δείκτη και όχι επιπλέον με κάθε αλλαγή τις λιθολογίας. Με άλλα λόγια, ταξινόμηση με το GSI πραγματοποιήθηκε και για τις δύο λιθολογίες μαζί, καθώς ο σχηματισμός του ιγκνιμβρίτη αποτελείται από τόφφους και λατυποπαγή με συνέχεια μεταξύ τις, χωρίς να διαχωρίζονται ιδιαίτερα λιθολογικά. Αυτό εξάλλου φαίνεται και από τις πολύ μικρές διαφορές τις τιμές αντοχής σε μονοαξονική θλίψη και μέτρου ελαστικότητας, τις προαναφέρθηκε. Ακόμη, ως μολασσικός σχηματισμός, ορίζεται το σύνολο του εν λόγω σχηματισμού και για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε και το αντίστοιχο διάγραμμα GSI για μολάσσα περιορισμένη σε βάθος.

Έπειτα, κάθε μία από τις παραπάνω τεχνικογεωλογικές ενότητες θα χαρακτηριστεί τις ένα εύρος τιμής του δείκτη RQD και αν κριθεί σκόπιμο, θα διαχωριστεί σε επιμέρους ενότητες.

4.3.3 Δείκτης Κερματισμού του Πετρώματος (RQD)

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Αναφορικά με το RQD των γεωτρήσεων στη στενή περιοχή τις σήραγγας αυτό ομαδοποιήθηκε σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά Deree (1967) και προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα σχετικής συχνότητας, στο οποίο προβάλλονται τις οι επιμέρους κατηγορίες ποιότητας («πολύ πτωχή» έως «εξαιρετική»), σε συνάρτηση με το ποσοστό (%) εμφάνισής τις ως τις το σύνολο (100%).





Επιπλέον, προκειμένου να προκύψουν αντιπροσωπευτικές τιμές του δείκτη κερματισμού του πετρώματος RQD, για τις διάφορες κατηγορίες που προέκυψαν προηγουμένως για τη στενή περιοχή τις σήραγγας, κατασκευάστηκε θηκόγραμμα με τις τιμές RQD, για κάθε μία ομάδα κατά GSI.



Διάγραμμα 4.3.3.2 Θηκόγραμμα τιμών RQD που αντιστοιχούν σε κάθε μία ομάδα δομής και ποιότητας ασυνεχειών (GSI)

Η στατιστική επεξεργασία των παραπάνω τιμών φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Στατιστική Ανάλυση								
		ar_kl	tas_kl	dsp_kl	dsp_kk	ap_kl	ap_kk	
Ν	Valid	61	46	7	12	15	22	
	Missing	116	131	170	165	162	155	
Mean		94,95	60,54	38,57	46,08	12,20	12,18	
Std. Error of Mean		1,818	2,614	4,869	4,677	3,337	3,305	
Median		100,00	65,00	30,00	50,00	15,00	7,50	
Mode		100	45 ^a	30	57	0	0	
Std. Deviation	n	14,200	17,732	12,882	16,200	12,924	15,503	
Minimum		50	23	28	19	0	0	
Maximum		100	95	61	67	36	45	
Percentiles	25	100,00	45,75	29,00	32,00	,00	,00	
	50	100,00	65,00	30,00	50,00	15,00	7,50	
	75	100,00	71,00	50,00	58,50	20,00	18,50	
. Multiple modes exist The smallest value is shown								

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

Πίνακας 4.3.4 Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών RQD τις στενής περιοχής μελέτης. Όπου ar: άρρηκτη δομή, tas: τεμαχώδης-αδιατάρακτη/στρωματώδης, dsp: διαταραγμένηστρωματώδης/πτυχωμένη, ap: αποδιοργανωμένη, kl: καλή ποιότητα ασυνεχειών, kk: κακή ποιότητα ασυνεχειών

Ο πίνακας θα συμπληρωθεί και με μία ενδεικτική τιμή του δείκτη κερματισμού του πετρώματος (RQD), ανά κατηγορία βραχόμαζας, στο τέλος.

4.3.4 Περατότητα (k)

Οι δοκιμές Lugeon πραγματοποιήθηκαν σε εύρη βαθών που περιλάμβαναν τις εναλλαγές ψαμμιτών ή τόφφων ή λατυποπαγών με ιλυόλιθους και ο σχηματισμός τις μολάσσας χαρακτηρίστηκε από περατότητα «χαμηλή» έως «πολύ χαμηλή» (μέσο ασυνεχειών). Η δομή του πετρώματος στα συγκεκριμένα βάθη ήταν «άρρηκτη» με

πολύ καλή έως καλή ποιότητα ασυνεχειών. Συνεπώς η παράμετρος τις περατότητας θα θεωρηθεί ενιαία για όλο τον σχηματισμό καλής γενικά ποιότητας, δηλαδή για συμπαγείς και άρρηκτες μάζες (k=1*10⁻⁵ m/s έως k=1*10⁻⁹ m/s). Με βάση την γεωλογική κρίση μπορεί να διαφέρει μόνο σε ορισμένες εξαιρέσεις (π.χ. σε ζώνες ρηγμάτων και χαμηλών υπερκειμένων) οπού τα συστήματα ασυνεχειών είναι πυκνότερα, δηλαδή απαντώνται περισσότερο στρωσιγενείς και διακλασμένοι σχηματισμοί. Τέτοιες θέσεις είναι στη σήραγγα οι περιοχές των στομίων όπου η περατότητα αναμένεται αυξημένη.

4.3.5. Βαθμός αποσάθρωσης

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Τα ιστογράμματα των κατανομών των βαθμών αποσάθρωσης για κάθε κατηγορία ιγκνιμβρίτη του πίνακα, παραθέτονται στη συνέχεια.



Διάγραμμα 4.3.5.1 Κατανομή των βαθμών αποσάθρωσης του ιγκνιμβρίτη για την «άρρηκτη» δομή με πολύ καλή έως μέτρια ποιότητα ασυνεχειών



Διάγραμμα 4.3.5.2 Κατανομή των βαθμών αποσάθρωσης του ιγκνιμβρίτη για την «Τεμαχώδη/Αδιατάρακτη-Στρωματώδη» δομή με πολύ καλή έως καλή-μέτρια ποιότητα ασυνεχειών



Διάγραμμα 4.3.5.3 Κατανομή των βαθμών αποσάθρωσης του ιγκνιμβρίτη για την «Διαταραγμένη-Στρωματώδη/Πτυχωμένη έως Αποδιοργανωμένη» δομή με πολύ καλή έως καλή-μέτρια ποιότητα ασυνεχειών



Διάγραμμα 4.3.5.4 Κατανομή των βαθμών αποσάθρωσης του ιγκνιμβρίτη για την «Αποδιοργανωμένη» δομή με πολύ καλή έως καλή-μέτρια ποιότητα ασυνεχειών



Διάγραμμα 4.3.5.5 Κατανομή των βαθμών αποσάθρωσης του ιγκνιμβρίτη για την «Αποδιοργανωμένη» δομή με μέτρια έως πολύ πτωχή ποιότητα ασυνεχειών

Έτσι, ο πίνακας με τις ενότητες της στενής περιοχής μελέτης, συμπληρώνεται τις φαίνεται παρακάτω.

ТЕ	σ _{ci} MPa	Ei MPa	Λιθολογία	ΔΟΜΗ	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	GSI	RQD	Ποιότητα πετρώματος	Περατότητα	Βαθμός αποσάθρωσης
A	61	22617	Ηφ. Τόφφος με ορίζοντες ή φακούς ηφ. Λατυποπαγών	Άρρηκτη	Πολύ Καλή έως Μέτρια	74- 84	80- 100	Καλή- Εξαιρετική	«Χαμηλή» έως «Πολύ Χαμηλή»	Ι έως ΙΙΙ
В	61	22617	Ηφ. Τόφφος με ορίζοντες ή φακούς ηφ. Λατυποπαγών	Τεμαχώδης/ Αδιατάρακτη- Στρωματώδης	Πολύ Καλή έως Καλή-Μέτρια	60- 70	45- 77	Μέτρια- Πτωχή	«Χαμηλή» έως «Πολύ Χαμηλή»	Ι έως ΙΙΙ-ΙV
С	61	22617	Ηφ. Τόφφος με ορίζοντες ή φακούς ηφ. Λατυποπαγών	Διαταραγμένη- Στρωματώδης/Πτυχωμένη έως Αποδιοργανωμένη	Πολύ Καλή έως Καλή-Μέτρια	37- 45	26- 52	Πτωχή	«Χαμηλή» έως «Πολύ Χαμηλή»	Ι έως ΙΙΙ
D	61	22617	Ηφ. Τόφφος με ορίζοντες ή φακούς ηφ. Λατυποπαγών	Διαταραγμένη- Στρωματώδης/Πτυχωμένη έως Αποδιοργανωμένη	Μέτρια έως Πτωχή	20- 30	30- 60	Μέτρια- Πτωχή	Πιο αυξημένη	Ι έως ΙΙΙ
Е	61	22617	Ηφ. Τόφφος με ορίζοντες ή φακούς ηφ. Λατυποπαγών	Αποδιοργανωμένη	Πολύ Καλή έως Καλή-Μέτρια	32- 42	0- 25	Πολύ Πτωχή	Πιο αυξημένη	Ι-ΙΙ έως ΙΙΙ
F	33	10087	Ηφ. Τόφφος με ορίζοντες ή φακούς ηφ. Λατυποπαγών	Αποδιοργανωμένη	Μέτρια έως Πολύ Πτωχή	13- 23	0- 25	Πολύ Πτωχή	Πιο αυξημένη	Ι έως ΙV
*	*ίδια με την προηγούμενη, μιας και η ενότητα άλλαξε μόνο λόγω διαφορετικής ποιότητας ασυνεχειών με την επίδραση του νερού. Θα μπορούσε να απομειοθεί και ο συνολικός βαθμός αποσάθοωσης περεταίου									

Πίνακας 4.3.5 Τεχνικογεωλογικές Ενότητες τις στενής περιοχής τις σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα»), που περιλαμβάνει τις παραμέτρους σ_{ci}, E_i, GSI, RQD και πλέον την περατότητα και τον βαθμό αποσάθρωσης. Η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη αποδίδεται χαμηλότερη στις περιπτώσεις αποσαθρωμένης βραχόμαζας.

Στο επόμενο κεφάλαιο, θα διερευνηθεί ποιες από τις παραπάνω ενότητες της στενής περιοχής της σήραγγας (που εκπροσωπούν τις γεωτρήσεις εκατέρωθεν της σήραγγας) θα απαντηθούν και κατά την διάνοιξη του τεχνικού έργου (μόνο στο τμήμα της εκσκαφής). Με άλλα λόγια, στο υπόγειο, κατά μήκος της εξεταζόμενης
σήραγγας μικρού σχετικά μήκους (170m), δεν θα απαντηθούν όλες οι παραπάνω ενότητες που αντιπροσωπεύουν το σύνολο της στενής περιοχής, αλλά μόνο ορισμένες εξ αυτών, καθώς επίσης, στις παραπάνω, δεν συμπεριλαμβάνονται αυτές που αντιστοιχούν στα στόμια.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

4.4 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΚΣΚΑΦΗ ΚΑΙ ΕΞΑΓΩΓΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Οι έξι (6) παραπάνω τεχνικογεωλογικές ενότητες που προέκυψαν, αφορούν το σύνολο της στενής περιοχής της σήραγγας, δηλαδή έχουν προκύψει ανάλογα με τα δεδομένα που απαντήθηκαν σε όλα τα βάθη των γεωτρήσεων κοντά στη σήραγγα. Επομένως, θα πρέπει να διευκρινιστεί ποιες από τις παραπάνω ενότητες πρόκειται να διατρέξει η σήραγγα κατά την διάνοιξή της, δηλαδή σε ποια βάθη θα πραγματοποιηθεί η εκσκαφή και ποιες από τις παραπάνω ΤΕ απαντώνται εκεί. Το τελευταίο, σε συνάρτηση με το ύψος των υπερκείμενων, θα οδηγήσει στην εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τον τρόπο της αστοχίας της βραχόμαζας κατά μήκος της χάραξης, με βάση το διάγραμμα TBC (Tunnel Behavior Chart), κατά Μαρίνο Β. (2007).

Ως γνωστόν, τα στόμια της σήραγγας αποτελούν δύο ξεχωριστές ενότητες καθώς τα υπερκείμενα στις θέσεις αυτές είναι ελάχιστα και η βραχόμαζα είναι επηρεασμένη περισσότερο από τις επιφανειακές συνθήκες. Έτσι, η αξιολόγηση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους, θα πραγματοποιηθεί με βάση την παρατήρηση φωτογραφιών από το πεδίο στις θέσεις που πρόκειται να διανοιχθούν, αλλά και με βάση την γεωλογική λογική, σε συνάρτηση με τις κοντινότερες στα στόμια γεωτρήσεις.

Επίσης, όπως διακρίνεται από την παρακάτω τεχνικογεωλογική μηκοτομή, κατά τη διάνοιξη της σήραγγας απαντάται κυρίως η πρώτη κατηγορία βραχόμαζας με GSI=74-84, ενώ μόνο στην γεώτρηση ΔΟ-28 εντοπίζεται βραχόμαζα με χαμηλότερο εύρος GSI (60-70). Για το λόγο αυτό, το «σώμα» της σήραγγας θα διακριθεί σε δύο ενότητες, την TE-B και TE-A του πίνακα των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων. Για την ενότητα TE-B, λόγω της μικρής έκτασής της, αποδόθηκε ενδεικτικό μήκος ίσο με 10m, χωρίς να είναι απόλυτο. Πέραν αυτών, όπως προαναφέρθηκε, διακρίνονται και



TOIOTHTA ENIMANEIAZ

uyaic, I

Y KANH Tpoxelec, 1

ΠΟΛΥ Η Πολύ τρ

90

θρούσματα

N/A

N/A

птохн

ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ

A

ασυνέχειες όταν οι ασθενείς επίπεδες επιφάνειες (όπως διατμημένα επίπεδα στρώσης) έχουν δυσμενή προσονοτολισμό σε σχέση με

παρουσία του υπόγειου νερού και αυτό μπορεί να ληφθεί υπόψη με μικρή μετακίνηση προς τα δεξιά στις στήλες της μέτριας, πτωχής και πολύ πτωχής κατάστασης ασυνεχεών. Η πίεση του νερού

Άρρηκτα βροχώδη τεμάχη ή άστρωτος βράχος

με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση

δεν μεταβάλλει την τιμή του GSI και λαμβάνεται υπόψη με την

ανάλυση ενεργών τάσεων στους υπολογισμούς.

АРРНКТН

DOMH

την εκακοφή. Τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχόμαζας. Η αντοχή ορισμένων βραχομαζών μειώνεται από την



Εικόνα 4.4.1 Γεωλογικός δείκτης αντοχής και πεδία προβολής ταξινομήσεων, για κάθε διακριθείσα βραχώδη τεχνικογεωλογική ενότητα

Η τεχνικογεωλογική μηκοτομή της σήραγγας περιλαμβάνει, πέραν των τιμών GSI κατά μήκος των γεωτρήσεων, μπάρα οπού αναγράφεται η Τεχνικογεωλογική Ενότητα που αντιστοιχεί σε κάθε τμήμα της σήραγγας





Εικόνα 4.4.2 Τεχνικογεωλογική μηκοτομή με τις τεχνικογεωλογικές ενότητες που απαντώνται κατά μήκος της σήραγγας «Πέτρα»

Οι ενότητες κατά μήκος της σήραγγας με τα γεωλογικά - υδρογεωλογικά – τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά τους παραθέτονται ακολούθως.

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι λαμβάνεται $m_i=13$ για τις θέσεις των στομίων, καθώς αντιστοιχούν σε περιοχές αποσαθρωμένης βραχόμαζας. Απομείωση πραγματοποιήθηκε επίσης στην τιμή της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη του άρρηκτου βράχου και στο μέτρο ελαστικότητας αυτού, λόγω αποσάθρωσης, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Η τιμή m_i λοιπόν, προκύπτει από την τυπική απόκλιση (±5) που αποδίδεται στον εμπειρικό πίνακα της σταθεράς m_i για τα ηφαιστειακά λατυποπαγή και τόφφους, καθώς δεν υπάρχουν διαθέσιμα περεταίρω στοιχεία. Επομένως γίνεται η παραδοχή ότι ο αποσαθρωμένος ιγκνιμβρίτης αντιστοιχεί στη χαμηλότερη τιμή του εύρους m_i , δηλαδή $m_i=18$, που ορίστηκε για τον άρρηκτο και υγιή βράχο μείον πέντε (-5) της τυπικής απόκλισης του πίνακα, άρα $m_i=13$ για τον αποσαθρωμένο βράχο. Επίσης, τόσο οι τιμές του σ_{ci} όσο και του E_i προέκυψαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, σύμφωνα με την απομείωσή τους λόγω αποσάθρωσης για τα στόμια, ενώ διατηρούν τις τιμές που υπολογίστηκαν για τον άρρηκτο βράχο, στις ενότητες του υπογείου.



TE	mi	σ _{ci} MPa	E _i MPa	Ο Λιθολογία	Δομή	Ποιότητα Ασυνεχειών	GSI	RQD	Ποιότητα κατά RQD	k (m/s)	Βαθμός αποσάθρωσης
н	13	33	10087	Ηφ. Τόφφος με ορίζοντες ή φακούς ηφ. Λατυποπαγών	Διαταραγμένη- Στρωματώδης/ Πτυχωμένη	Μέτρια έως Πολύ Πτωχή	20- 30	30-60	Μέτρια- Πολύ Πτωχή	Αυξημένη λόγω αύξησης 2° γενούς πορώδους	* ΙΙΙ έως V
G	13	33	10087	Ηφ. Τόφφος με ορίζοντες ή φακούς ηφ. Λατυποπαγών	Πολύ Τεμαχώδης έως Διαταραγμένη- Στρωματώδης/ Πτυχωμένη	Μέτρια έως Πολύ Πτωχή	28- 38	45-70	Μέτρια- Πολύ Πτωχή	Αυξημένη λόγω αύξησης 2° γενούς πορώδους	* ΙΙΙ έως V
В	18	61	22617	Ηφ. Τόφφος με ορίζοντες ή φακούς ηφ. Λατυποπαγών	Τεμαχώδης/ Αδιατάρακτη- Στρωματώδης	Πολύ Καλή έως Καλή- Μέτρια	60- 70	45-77	Μέτρια- Πτωχή	«Χαμηλή» έως «Πολύ Χαμηλή»	Ι έως ΙΙΙ-ΙV
А	18	61	22617	Ηφ. Τόφφος με ορίζοντες ή φακούς ηφ. Λατυποπαγών	Άρρηκτη	Πολύ Καλή έως Μέτρια	74- 84	80- 100	Καλή- Εξαιρετικ ή	«Χαμηλή» έως «Πολύ Χαμηλή»	Ι έως ΙΙΙ

*Οι συγκεκριμένοι βαθμοί αποσάθρωσης (ISRM, 1981), εξάχθηκαν με βάση την γεωλογική λογική και την παρατήρηση των διαθέσιμων φωτογραφιών από τις θέσεις των στομίων από Μαρίνος Β. (2020) Πίνακας 4.4.1 Συγκεντρωτικός πίνακας με τα γεωλογικά - υδρογεωλογικά – τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των ενοτήτων κατά μήκος της σήραγγας

Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας που περιλαμβάνει τις χιλιομετρικές θέσεις των ΤΕ κατά μήκος της σήραγγας και το ποσοστό του συνολικού μήκους που η κάθε μία καταλαμβάνει.

X	ΧΘ		Máxa a (m)	% της συνολικής έκτασης		
Από	Έως	ιε νηκος (m)		που καταλαμβάνει		
12+950	12+970	Н	20	11.7 %		
12+800	12+810	G	10	5.9 %		
12+845	12+855	В	10	5.9 %		
12+810	12+845	•	35			
12+855	12+950	A	95	/6.5 %		

Πίνακας 4.4.2 Χιλιομετρικές θέσεις των ΤΕ κατά μήκος της σήραγγας και το ποσοστό του συνολικού μήκους της κάθε μίας

Έπειτα αναλύεται η κάθε μία ενότητα ξεχωριστά και παραθέτεται από μία αντιπροσωπευτική φωτογραφία και μία (1) ή δύο (2) διατομές. Γεωλογική οριζοντιογραφία με τις θέσεις των διατομών σε διάφορες θέσεις κατά μήκος της σήραγγας (μπλε χρώμα) φαίνεται ακολούθως.



Εικόνα 4.4.3 Γεωλογικός χάρτης στενής περιοχής μελέτης με τις διατομές που κατασκευάστηκαν σε διάφορες θέσεις κατά μήκος της σήραγγας

4.4.1 TE - Η (στόμιο εξόδου)

Η γεώτρηση που απέχει την μικρότερη απόσταση από το στόμιο εξόδου είναι η ΔΤ-40 η οποία βρίσκεται 18m κατάντη της χάραξης και έχει βάθος 10m. Το πέτρωμα στη συγκεκριμένη γεώτρηση ανήκει κατά βάση στην ΤΕ-Α, δηλαδή στην καλύτερη από τις Τεχνικογεωλογικές Ενότητες του ιγκνιμβρίτη, με εξαίρεση μόνο έναν ορίζοντα ιλυοχαλικώδους αργίλου πάχους 1.5m. Αποτελείται κυρίως από ηφαιστειακούς τόφφους. Επιφανειακά απαντάται ο αποσαθρωμένος μανδύας της μολάσσας πάχους ~2.5-3.5m.

Επίσης, εγγύτερα στην περιοχή έχει ανορυχθεί και η γεώτρηση ΔΝΤ-12, η οποία παρουσιάζει πτωχή έως πολύ πτωχή ποιότητα κατά RQD, με την αποσάθρωση

βέβαια να φαίνεται βελτιωμένη συνεχώς με την αύξηση του βάθους. Η δομή κατά GSI ποικίλει στα διάφορα βάθη, από τεμαχώδης έως αποδιοργανωμένη, χωρίς συγκεκριμένη κατανομή. Σημειωτέο είναι ότι το ρήγμα προέκυψε ότι διέρχεται από αυτήν.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 4.4.1.1 Γεώτρηση ΔΝΤ-12 σε βάθος 8-12m (πιθανή εικόνα της μορφής του ρήγματος σε βάθος)

Επίσης, αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι τα υπερκείμενα στη θέση αυτή είναι μεγαλύτερα σε σχέση με το στόμιο εισόδου. Επίσης πρόκειται να εκσκαφτεί μεγαλύτερος όγκος υλικού προκειμένου να διαμορφωθεί το στόμιο εξόδου, παρά το στόμιο εισόδου, καθώς το πρώτο σχεδιάζεται «βαθύτερα» στο υπέδαφος. Έτσι λοιπόν, με βάση τη γεωλογική λογική υπό αυτές τις (καλύτερες) συνθήκες, η βραχόμαζα θα είναι περισσότερο «προστατευμένη» και άρα περισσότερο υγιής, συγκριτικά με αυτήν στο στόμιο εισόδου. Τα προαναφερθέντα στοιχεία παραπέμπουν συνεπώς στην θεώρηση ότι η ποιότητα του πετρώματος στη εν λόγω θέση είναι σχετικά λιγότερο επηρεασμένη από τις επιφανειακές συνθήκες, με αποτέλεσμα να μην απομειώνονται εν τέλη σε μεγάλο βαθμό τα χαρακτηριστικά του.

Παρ' όλα αυτά, φαίνεται από τον γεωλογικό χάρτη ότι η δεξιά παρειά του στομίου «κόβεται» από το ρήγμα, το οποίο κλίνει προς τα BA-ABA. Έτσι λοιπόν, η περιοχή του στομίου εξόδου, αν και ποιοτικά είναι πιθανόν λιγότερο απομειωμένη για τους λόγους που προαναφέρθηκαν, εξαιτίας του ρήγματος αυτό πλέον παύει να ισχύει. Αντιθέτως, η δομή του πετρώματος αναμένεται περισσότερο κερματισμένη λόγω της τεκτονικής καταπόνησης και με ποιότητα της ασυνέχειας αυτής πιο απομειωμένη (π.χ. ζώνη εκλεκτικής κυκλοφορίας νερού, οξειδωμένες επιφάνειες, πιθανή παρουσία αργιλικού υλικού πλήρωσης, κλπ). Στην Οριστική Γεωλογική Μελέτη στο τμήμα παραλλαγής XΘ.11+420 έως 13+904, αναφέρεται ότι «σε επιτόπου παρατηρήσεις διαπιστώθηκε η ύπαρξη κινηματικών δεικτών (γράμμωση ολίσθησης) επί της επιφάνειας».

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 4.4.1.2 Γεωλογική διατομή TU3E με απεικόνιση της ΤΕ στο στόμιο εξόδου και του RQD της γεώτρησης

Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί ότι η ζώνη του ρήγματος, όπως προέκυψε και από τους υπολογισμούς σε προηγούμενο κεφάλαιο, «κόβει» σε ένα της τμήμα την ανατολική παρειά του στομίου εξόδου και η τομή αυτή (σήραγγα-ρήγμα) συνεχίζεται για 3m προς τα νότια. Αν και στην μηκοτομή το ρήγμα δεν φαίνεται να «ακουμπά» τη σήραγγα, αλλά να περνάει αρκετά κοντά της, στην πραγματικότητα την διασχίζει στην δεξιά της παρειά (στο τρισδιάστατο επίπεδο), όπως φαίνεται από την διασχίζει στην δεξιά της παρειά (στο τρισδιάστατο επίπεδο), όπως φαίνεται από την διασχίζει στην δεξιά της παρειά (στο τρισδιάστατο επίπεδο), όπως φαίνεται από την διασχίζει στην δεξιά της παρειά (στο τρισδιάστατο επίπεδο), όπως φαίνεται από την διατομή του στομίου εξόδου. Επομένως κρίνεται ορθό η τεχνικογεωλογική ενότητα του στομίου εξόδου (ΤΕ-Η) να συμπεριλάβει και την «ενότητα ρήγματος», μιας και ταυτίζονται όσον αφορά τη θέση τους. Συνεπώς δημιουργείται η ανάγκη για ορισμό μεγαλύτερου μήκους τεχνικογεωλογικής ενότητας για το στόμιο εξόδου, αφού όχι μόνο το ρήγμα τέμνει το πέταλο για 3m νοτιότερα, αλλά επίσης θεωρείται πιθανή η ύπαρξη ζώνης επιρροής του. Για το λόγο αυτό, η ενότητα του στομίου εξόδου, αντί για 10m μήκους ορίζεται ως 20m.

Με βάση τα ανωτέρω, η βραχόμαζα αναμένεται να έχει μέτρια έως πτωχά χαρακτηριστικά και αποδίδεται για την ΤΕ-Η δομή «Διαταραγμένη-Στρωματώδης/Πτυχωμένη», με μέτρια έως πολύ πτωχή ποιότητα ασυνεχειών (GSI=20-30) και περατότητα αυξημένη λόγω αύξησης του δευτερογενούς πορώδους κοντά στην επιφάνεια αλλά και κατά μήκος της ασυνέχειας του ρήγματος.

Τα μέτρα υποστήριξης σαφώς θα είναι περισσότερο βαριά, μιας και απαιτείται άμεση υποστήριξη όχι μόνο του στομίου, το οποίο αποτελεί μία αυτοτελή ενότητα με ανάγκες ισχυρής υποστήριξης, αλλά ταυτόχρονα πρέπει να ληφθεί υπόψη η τοποθέτηση κατάλληλων μέτρων και για την περεταίρω απομειωμένη ποιότητα βραχόμαζας και τυχόν μικρο-μετακινήσεων, λόγω του ρήγματος που τη διασχίζει.

4.4.2 **ΤΕ – G (στόμιο εισόδου)**

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Το στόμιο εισόδου διαμορφώνεται στους ηφαιστειακούς τόφφους και τα ηφαιστειακά λατυποπαγή. Επιφανειακά αναμένεται συνάντηση μικρού πάχους μανδύα αποσάθρωσης της μολάσσας, αν και αυτό δεν αναφέρεται στην γεωλογική οριζοντιογραφία.



Εικόνα 4.4.2.1 Γεωλογική διατομή TU3C με απεικόνιση της ΤΕ στο στόμιο εισόδου και του RQD της γεώτρησης

Κοντά στο στόμιο εισόδου, περίπου σε ακτίνα 10m ανάντη από αυτό, βρίσκεται η γεώτρηση Γ-26. Εκεί η βραχόμαζα είναι κατά βάση «άρρηκτης» δομής με καλή ποιότητα ασυνεχειών (ΤΕ-Α), με εξαίρεση μόνο λίγους ορίζοντες στους οποίους απαντάται «Τεμαχώδης/Αδιατάρακτη-Στρωματώδης» δομή (ΤΕ-Β), ενώ όσον αφορά την θέση προβολής της στην μηκοτομή, δεν φαίνεται ο ορίζοντας της ΤΕ-Ε να απαντάται.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 4.4.2.2 Εικόνα την γεώτρησης Γ-26 σε βάθος 10-15m

Παρ' όλα αυτά, λίγο ανατολικότερα της γεώτρησης, στη θέση οπού απαντάται το στόμιο εισόδου και τα υπερκείμενα ελαττώνονται, αναμένεται με βάση τη γεωλογική λογική, η βραχόμαζα να είναι περισσότερο επηρεασμένη από τις επιφανειακές συνθήκες. Αυτό σημαίνει ότι λόγω της ύγρανσης-ξήρανσης, θέρμανσης-ψύξης, παρουσίας όμβριων υδάτων, της αποσυμπίεσης της βραχόμαζας από τις συνθήκες βάθους, κλπ, η δομή της αναμένεται περισσότερο κερματισμένη, με την ποιότητα των ασυνεχειών ελαττωμένη. Σίγουρα, σε βάθος οι προαναφερθείσες παράμετροι τείνουν να απουσιάζουν, μιας και η επίδραση των επιφανειακών συνθηκών παύει να υπάρχει και σε η βραχόμαζα είναι περισσότερο περιορισμένη. Η αποσάθρωση στην γεώτρηση Γ-26 φαίνεται να περιορίζεται έως το βάθος των 2m περίπου. Με βάση όλα τα παραπάνω, το εύρος τιμών του GSI θα είναι πιο κάτω και πιο δεξιά στο διάγραμμα.

Στη συνέχεια παραθέτονται εικόνες από την μολασσική βραχόμαζα στη θέση του στομίου εισόδου της σήραγγας, οι οποίες λήφθηκαν από την Οριστική Γεωλογική Μελέτη στο τμήμα παραλλαγής XΘ.11+420 έως 13+904. Από την αξιολόγηση αυτών, φαίνεται ότι η βραχόμαζα διαθέτει αρκετά συστήματα διακλάσεων (χωρίς να διακρίνεται ο ακριβής αριθμός τους) και συνεπώς η δομή στην εξεταζόμενη θέση είναι «Πολύ Τεμαχώδης» με ελάχιστα να αγγίζει την «Διαταραγμένη-





Εικόνα 4.4.2.3 Μολασσική βραχόμαζα στη θέση του στομίου εισόδου της σήραγγας. Πηγή: Οριστική Γεωλογική Μελέτη (70225526RGR3A001) στο τμήμα παραλλαγής XΘ.11+420 έως 13+904, Μαρίνος Β. (2020)

Στην Οριστική Γεωλογική Μελέτη στο τμήμα παραλλαγής XΘ.11+420 έως 13+904 αναφέρεται ότι «δυτικά του στομίου εισόδου, η βραχόμαζα παρουσιάζεται λίγο πιο κερματισμένη λόγω της παρουσίας ενός ρήγματος, χωρίς όμως να την αποδομεί σημαντικά», όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Βέβαια, τούτο το ρήγμα δεν χαρτογραφήθηκε στην γεωλογική οριζοντιογραφία και συνεπώς, κατά τη γράφουσα, αμφισβητείται η ύπαρξή του.



Εικόνα 4.4.2.4 Μολασσική βραχόμαζα στη θέση του στομίου εισόδου της σήραγγας. Πηγή: Οριστική Γεωλογική Μελέτη (70225526RGR3A001) στο τμήμα παραλλαγής ΧΘ.11+420 έως 13+904, Μαρίνος Β. (2020)

Συναξιολογώντας λοιπόν τα προαναφερθέντα συμπεράσματα που βασίζονται στην επιφανειακή παρατήρηση και ταυτόχρονα στη γεωλογική λογική, προκύπτουν τα παρακάτω. Εκτιμάται ότι απαντάται στη θέση αυτή δομή «Πολύ Τεμαχώδης» και λιγότερο «Διαταραγμένη-Στρωματώδη/Πτυχωμένη», με πτωχή ποιότητα ασυνεχειών (GSI=28-38).

Στο στόμιο εισόδου τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης αναμένονται μέτρια προς βαριά, μιας και αυτό το στόμιο αποτελεί επίσης αυτοτελή ενότητα με ανάγκες ισχυρής υποστήριξης.

4.4.3 TE – B

Η ΤΕ-Β αντιστοιχεί σε ενότητα κατά μήκος της υπόγειας εκσκαφής και πρακτικά «διακόπτει» σε ένα μόνο τμήμα την ενότητα ΤΕ-Α (πολύ καλών χαρακτηριστικών) η οποία θα αναλυθεί στη συνέχεια. Με άλλα λόγια, στο συγκεκριμένο μικρό τμήμα της σήραγγας η ποιότητα του πετρώματος κρίνεται ότι αλλάζει και γίνεται περισσότερο κερματισμένη και τεκτονισμένη, με αποτέλεσμα την διαφοροποίησή της σε ΤΕ–Β.

Διακρίθηκε βάση των συνθηκών που επικρατούν στη γεώτρηση ΔΟ-28, η οποία απέχει περίπου 20m από το κέντρο της πεταλοειδούς διατομής της σήραγγας

και χαρακτηρίζεται γενικά από μέτρια έως καλή ποιότητα κατά RQD και με την αποσάθρωση να ελαττώνεται κατά βάθος. Στο βάθος εκσκαφής της σήραγγας «Πέτρα» η αποσάθρωση ορίστηκε ως Ι-ΙΙ κατά ISRM (1981).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 4.4.3.1 Γεωλογική διατομή 649 με απεικόνιση της ΤΕ-Β και του RQD της γεώτρησης

Με βάση όλα τα παραπάνω αποδίδεται στην εν λόγω ενότητα GSI=60-70. Εκτιμάται ότι θα απαιτηθούν μέτρια μέτρα προσωρινής υποστήριξης, όπως κατάλληλος κάνναβος αγκυρίων, μεταλλικά πλαίσια, οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, ώστε να συγκρατήσουν τις επισφαλείς σφήνες που δημιουργούνται λόγω του πρόσθετου κερματισμού της βραχόμαζας της συγκεκριμένης θέσης.



Εικόνα 4.4.3.2 Εικόνα της Γεώτρησης ΔΟ-28 σε βάθος 10.00-15.00m



Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

TE

4.4.4



Εικόνα 4.4.4.1 Γεωλογική διατομή 652 με απεικόνιση της ΤΕ-Α και του RQD της γεώτρησης



Εικόνα 4.4.4.2 Γεωλογική διατομή 654 με απεικόνιση της ΤΕ-Α και του RQD της γεώτρησης

Γενικά εμφανίζει ιδιαίτερα καλά χαρακτηριστικά. Αναμένεται να παρουσιάζει την καλύτερη συμπεριφορά κατά μήκος της σήραγγας και να απαιτεί τα ελαφρύτερα μέτρα υποστήριξης σε σχέση με τις υπόλοιπες ενότητες.



Εικόνα 4.4.4.3 Εικόνα της γεώτρησης Γ-27 στο βάθος 15.00-20.00m

4.4.5. Εφαρμογή του κριτηρίου Hoek-Brown

Με βάση αντιπροσωπευτικές τιμές για τις τεχνικογεωλογικές ενότητες κατά μήκος της σήραγγας, εφαρμόζεται το γενικευμένο κριτήριο Hoek–Brown. Συγκεκριμένα οι τιμές GSI, σ_{ci} (MPa) αλλά και η σταθερά m_i ,ο λόγος Poisson (ν) και

το ειδικό βάρος του βράχου (γ), όπως υπολογίστηκαν στα αντίστοιχα κεφάλαια, φαίνονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Παράμετρος	TE-H	TE-G	TE-B	TE-A
*GSI	20	28	60	74
σ _{ci} (MPa)	33	33	61	61
m _i	13	13	18	18
$\gamma (MN/m^3)$	0.027	0.027	0.027	0.027
Μέσο Υπερκείμενο (m)	11.3	6.2	30	24
Λόγος Poisson (v)	0.16	0.16	0.16	0.16
E _i (MPa)	10087	10087	22617	22617

*χρησιμοποιήθηκε η μικρότερη τιμή του εύρους ως αντιπροσωπευτική, υπέρ της ασφάλειας *χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές υπερκειμένων για κάθε ΤΕ. Το μέγιστο και ελάχιστο υπερκείμενο κάθε ΤΕ φαίνεται σε επόμενο πίνακα

Πίνακας 4.4.3 Συγκεντρωτικός πίνακας των τιμών GSI, σ_{ci} (MPa), σταθεράς m_i , λόγου Poisson (ν) και ειδικού βάρους βράχου (γ)

Με την εφαρμογή του κριτηρίου Hoek - Brown για υπόγειες εκσκαφές υπολογίζονται οι τιμές σχεδιασμού διατμητικής αντοχής (c, φ) της βραχόμαζας για κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα, το μέτρο ελαστικότητας της βραχόμαζας (E_m) και η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη της βραχόμαζας (σ_{cm}). Η τιμή του παράγοντα διατάραξης ορίστηκε D=0. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων στο RocData παραθέτονται στο παράρτημα.

Παράμετρος Σχεδιασμού	ТЕ-Н	TE-G	TE-B	TE-A
c (MPa)	0.07	0.073	0.73	1.57
φ (°)	52.9	59.5	63.1	64.2
$\sigma_{\rm cm}$ (MPa)	0.263	0.493	6.53	14.347
$E_{m}(MPa)$	461	723	11761	18121

Πίνακας 4.4.4 Παράμετροι σχεδιασμού όπως προέκυψαν από την εφαρμογή του κριτηρίου Hoek – Brown

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

5.1. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΜΕ ΤΟ ΤΒΟ

Στη συνέχεια προβάλλεται ο πίνακας με τις XΘ των Τεχνικογεωλογικών Ενοτήτων, την δομή τους, την αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη και τα υπερκείμενα αυτών, έτσι ώστε να διακριθεί στο TBC ο τρόπος αστοχίας τους. Για την κατηγοριοποίηση των σχηματισμών, γίνεται η παραδοχή του κατά κανόνα μικρού πάχους υπερκειμένων και του εντελώς ενδεικτικού ορίου αντοχής άρρηκτου βράχου σ_{ci} μεγαλύτερου από 15 MPa. Τονίζεται ότι, σκοπός της εκτίμησης αυτής είναι να δοθεί η λογική του αναμενόμενου μηχανισμού αστοχίας, χωρίς να αποτελεί μονοσήμαντη αξιολόγηση στα στενά πλαίσια του εξεταζόμενου έργου (Μαρίνος Β., 2007).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

ТЕ	ХΘ		ΧΘ		ΔΟΜΗ	σ _{ci} (MPa)	YПЕРКЕІМЕNO MIN-MAX	ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ
Н	12+950	12+970	Διαταραγμένη- Στρωματώδης/Πτυχωμένη	33	5.7-16.8m	Ch-Wg		
G	12+800	12+810	Πολύ Τεμαχώδης έως Διαταραγμένη- Στρωματώδης/Πτυχωμένη	33	3.6-8.7m	Wg-Ch		
В	12+845	12+855	Τεμαχώδης/ Αδιατάρακτη- Στρωματώδης	61	27-32 m	Wg		
А	12+810 12+855	12+845 12+950	Άρρηκτη	61	8.7-39m	St (+Wg)*		

*Στο διάγραμμα του GSI αντιστοιχήθηκε ως δομή «άρρηκτη», δηλαδή με λίγες ασυνέχειες μεγάλης μεταξύ τους απόστασης. Αν και στο TBC προκύπτει δομή ευσταθής, δεν αποκλείεται με βάση την γεωλογική λογική και η πιθανότητα για δημιουργία σφηνών μεταξύ των εν λόγω επιπέδων ασυνεχειών, οι οποίες σημειώθηκαν στον πίνακα εντός παρενθέσεως.

Πίνακας 5.1.1 Χιλιομετρικές Θέσεις των Τεχνικογεωλογικών Ενοτήτων με τη δομή, την αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη, τα υπερκείμενά τους και τον τρόπο αστοχίας τους βάση του TBC

Στο TBC απεικονίζονται με διαφορετικό χρώμα οι ενότητες που απαντώνται κατά μήκος της σήραγγας και ο τύπος της αναμενόμενης αστοχίας. Ισχύει γενικά ότι η δομή της βραχόμαζας ελέγχει την τεχνικογεωλογική συμπεριφορά της, ενώ η ποιότητα των ασυνεχειών επηρεάζει την πιθανότητα και την σφοδρότητα εκδήλωσης ενός ορισμένου τύπου αστοχίας. Με την σειρά της, η τεχνικογεωλογική συμπεριφορά επηρεάζει τη φιλοσοφία του συστήματος προσωρινής υποστήριξης των σηράγγων υπόγειας διάνοιξης με συμβατικά μηχανικά μέσα.





Στο σημείο αυτό αξίζει να τονιστεί ότι, αν και προέκυψαν συνθήκες ευστάθειας για την ενότητα Α, στην πραγματικότητα δεν αποκλείεται να απαντηθούν και ορισμένες σφήνες με συνδυασμό λίγων ασυνεχειών (π.χ. της επικρατούσας στρώσης και 1-2 οικογενειών διακλάσεων). Με άλλα λόγια, ο αναμενόμενος μηχανισμός αστοχίας στη συγκεκριμένη ενότητα, είναι οι συνθήκες ευστάθειας με τοπικές μόνο σφηνοειδείς αστοχίες.

Στη δεύτερη μπάρα της παρακάτω τεχνικογεωλογικής μηκοτομής της σήραγγας, δίνεται για κάθε μία ενότητα ο τύπος αστοχίας που δυνητικά μπορεί να εκδηλωθεί κατά την εκσκαφή της με συμβατικά μέσα, όπως προκύπτει από το TBC.







Το τρισδιάστατο τεχνικογεωλογικό μοντέλο με τις ΤΕ να ορίζονται με διαφορετικό χρώμα κατά μήκος της σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα»), παραθέτεται στη συνέχεια. Τα χρώματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι αντίστοιχα με αυτά της μηκοτομής και των διατομών, για κάθε ενότητα.





Συμπερασματικά, δεν αναμένονται σημαντικά προβλήματα στη σήραγγα, παρά μόνο βαρυτικές αστοχίες. Η βραχόμαζα στο μεγαλύτερο τμήμα της χάραξης αναμένεται συμπαγής (TE-A) με λίγα συστήματα διακλάσεων και τοπικά μόνο μέτρια κερματισμένη (TE-B), με βασικό μηχανισμό αστοχίας τις σφηνοειδείς αποκολλήσεις και ολισθήσεις. Το γεγονός αυτό είναι εύλογο, καθώς ο σχηματισμός είναι Μετάαλπικός και συνεπώς ο έντονος τεκτονισμός απουσιάζει.

Στις θέσεις των στομίων όπου τα υπερκείμενα είναι χαμηλά, η βραχόμαζα αναμένεται περισσότερο αποσαθρωμένη, με χαλαρή δομή και οι αναμενόμενες αστοχίες είναι τύπου καμινάδας ή σφηνοειδείς. Οι πρώτες επικρατούν κατά βάση στο στόμιο εξόδου λόγω περεταίρω κερματισμού από το ρήγμα, ενώ οι δεύτερες είναι συχνότερες στο στόμιο εισόδου.

Έτσι, αποδίδεται μήκος 10m στην ενότητα του στομίου εισόδου, περίπου δηλαδή όσο το μήκος των δοκών προπορείας εντός της σήραγγας. Από την άλλη, λόγω της ύπαρξης ρηξιγενούς ζώνης στο στόμιο εξόδου, κρίνεται σκόπιμη η αύξηση του μήκους της ζώνης αυτής στα 20m. Τούτο συμβαίνει καθώς τα γεωμετρικά στοιχεία του ρήγματος υποδεικνύουν πιθανή παρουσία διαταραγμένου υλικού και σε ορισμένο μήκος υπό-παράλληλο της σήραγγας, λίγο νοτιότερα του στομίου εξόδου. Βέβαια, αναφέρεται στην Οριστική Γεωλογική Μελέτη στο τμήμα παραλλαγής XO.11+420 έως 13+904, ότι το ρήγμα διατηρεί τον βραχώδη χαρακτήρα του και επομένως εκτεταμένες ζώνες εδαφοποίησης δεν αναμένονται.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Τέλος, όπως προέκυψε και από το TBC, παραμορφώσεις δεν αναμένονται περιμετρικά της σήραγγας και του μετώπου, λόγω της συμπαγούς φύσης του σχηματισμού, των χαμηλών υπερκειμένων και της μέτριας-υψηλής αντοχής του άρρηκτου βράχου.

5.2 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ (UNWEDGE)

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι τεχνικογεωλογικές συνθήκες και τα αναμενόμενα προβλήματα κατά μήκος του εξεταζόμενου τεχνικού έργου, όπως αυτά αξιολογούνται, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της γεωτεχνικής έρευνας που εκτελέσθηκε.

Για τον έλεγχο των δυνητικών σφηνοειδών αστοχιών λόγω των αλληλοτεμνόμενων ασυνεχειών στο υπόγειο τμήμα της σήραγγας, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα τρισδιάστατης (3D) ανάλυσης ευστάθειας, UnWedge της Rocscience. Κατασκευάζεται τρισδιάστατο μοντέλο πιστής απεικόνισης των σφηνών που εντοπίζονται κατά μήκος της σήραγγας. Για τις δυνητικά ασταθείς σφήνες υπολογίστηκαν οι συντελεστές ασφαλείας, όπως και τα γεωμετρικά τους και φυσικά τους χαρακτηριστικά, ενώ δίνεται επίσης η δυνατότητα μοντελοποίησης των μέτρων προσωρινής υποστήριξης (αγκύρια και σκυρόδεμα) ανάλογα τις εκάστοτε συνθήκες.

Επιλέχθηκαν να ελεγχθούν με το UnWedge τα τμήματα εκείνα, ανά 5m μήκους, που διέθεταν στην κοντινή τους περιοχή τεκτονικά διαγράμματα και που δύναται να εμφανίσουν σφηνοειδείς αποκολλήσεις ή ολισθήσεις, σύμφωνα με την τεχνικογεωλογική αξιολόγηση που προηγήθηκε (TBC). Πρακτικά, όλες οι ενότητες TE-A, TE-B, TE-G και TE-H περιλαμβάνουν τις σφήνες ως μηχανισμό αστοχίας, είτε βασικό (μοναδικό) είτε εναλλακτικό (δευτερεύων) π.χ. Ch-Wg για την TE-H. Επίσης, αν και η TE-A χαρακτηρίζεται κυρίως ως «ευσταθής» στο TBC, δεν αποκλείεται να σχηματίζονται και ορισμένες σφήνες (π.χ. μεταξύ του επιπέδου στρώσης και μίας διάκλασης).

Το μήκος των 5m, ορίστηκε ως εκείνο το μέσο μήκος σήραγγας (4-6m) που η διατομή θα παραμείνει ανυποστήρικτη ή ακόμη και υποστηριζόμενη αλλά με τα μέτρα να μην έχουν παραλάβει ακόμη πλήρως τα φορτία, λόγω της πρόσφατης εφαρμογής τους. Έτσι, κατά το χρονικό αυτό διάστημα, το τμήμα αυτό της σήραγγας είναι πιθανό να παρουσιάσει κάποια αστοχία.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Το σώμα της σήραγγας εξυπηρετείται σίγουρα από το ΤΔ22 στην Χ.Θ. 12+845 (εντός της TE-B), μιας και τοποθετείται ακριβώς πάνω στη χάραξη. Ακόμη, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το ΤΔ-8 που προβάλλεται κάθετα εντός της σήραγγας (στην TE-A), αν και απέχει από αυτήν 25m. Τα ΤΔ-Γ4.2 και ΤΔ-Σ2N_B, θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των τμημάτων εκείνων της σήραγγας κοντά στα στόμια. Οι χιλιομετρικές θέσεις των υπό εξέταση τμημάτων (μήκους 5m) αναφέρονται σε κάθε πίνακα ξεχωριστά, μαζί με το αντίστοιχο τεκτονικό διάγραμμα που χρησιμοποιήθηκε.

Συνολικά αξιολογήθηκαν τέσσερα (4) τμήματα κατά μήκος της χάραξης: από ένα για κάθε περιοχή στομίου, ένα στην ΤΕ-Β και ένα στην ΤΕ-Α, όπως φαίνεται στην παρακάτω οριζοντιογραφία με σκίαση των τμημάτων ανά 5m με μωβ χρώμα.





Εικόνα 5.2.1 Γεωλογικός χάρτης στενής περιοχής μελέτης με αποτύπωση των τεσσάρων (4) τμημάτων που εξετάζονται με το Unwedge (μωβ χρώμα)

Αρχικά, κατασκευάστηκε στο πρόγραμμα Unwedge η τυπική πεταλοειδής διατομή του υπογείου έργου, με τα παρακάτω στοιχεία.

Στοιχείο τυπικής διατομής	Τιμή
Ύψος	10.09m
Μέγιστο πλάτος βάσης	12.22m
Ελάχιστο πλάτος βάσης	11.42m

Πίνακας 5.2.1 Στοιχεία τυπικής πεταλοειδούς διατομής της σήραγγας



Εικόνα 5.2.2 Τυπική πεταλοειδής διατομή της σήραγγας «Πέτρα»

Θέση Συντεταγμένων Διατομής	Συντεταγμένες Διατομής
Μέση αριστερά	(-6.11, 0)
Κάτω αριστερά	(-5.71, -3.98)
Κάτω κέντρο	(0, -3.98)
Κάτω δεξιά	(5.71, -3.98)
Μέση δεξιά	(6.11, 0)
Πάνω κέντρο	(0, 6.11)

Πίνακας 5.2.2 Συντεταγμένες που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της διατομής στο πρόγραμμα Unwedge της Rocscience

Στα επόμενα υποκεφάλαια, πραγματοποιείται η ανάλυση με το Unwedge για κάθε υπό-τμήμα 5m ξεχωριστά.

5.2.1 X.Θ. 12+843 έως 12+848 (Θέση στην ΤΕ-Β, διατομή 649)

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

μήμα Γεωλογίας

Ακολούθως, δίνονται τα δεδομένα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, αναφορικά με το τμήμα εξέτασης στη XΘ 12+843 έως 12+848. Το τεκτονικό διάγραμμα (ΤΔ22) στην συγκεκριμένη περίπτωση, είναι το μοναδικό που λήφθηκε ακριβώς στην θέση της χάραξης και για τον λόγο αυτό θεωρείται ως το πιο αντιπροσωπευτικό. Οι συνθήκες θεωρούνται κυρίως ξηρές στη συγκεκριμένη θέση της σήραγγας, αλλά λόγω του λίγο εντονότερου τεκτονισμού της, πιθανόν να παρατηρηθούν μικρές συγκεντρώσεις νερού (π.χ. υγρασία). Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε ενδεικτικά η τιμή των 0.05MPa ως συνεχής πίεση του νερού. Η συνοχή και γωνία τριβής, προέκυψαν από την προηγηθείσα στατιστική ανάλυση, αν και αυξημένες, θεωρούνται λογικές για το υπόγειο (απουσία αποσάθρωσης).

Στοιχείο	Τιμή	
Μήκος Εξεταζόμενου Τμήματος (Tunnel length = 51	ΧΘ 12+843 έως 12+848	
Κλίση Σήραγγας (Plunge)		3.7°
Προσανατολισμός Σήραγγας (Trend)		B010°
	Bedding	18°/317°
Κλίση/Διεύθυνση Κλίσης ασυνεχειών (ΤΔ22)	Joint 1	82°/134°
	Joint 2	82°/066°
Συντελεστής Ασφαλείας Σχεδιασμού (FOS)	1.5	
Ειδικό βάρος βράχου		0.027 MN/m ³
Κριτήριο Αστοχίας		Mohr Coulomb
Γωνία τριβής (φ)	33°	
Συνοχή (c)		0.32 MPa
Εφελκυστική Αντοχή (σ _t)		5.3 MPa
Πίεση του νερού των πόρων (Water Pressure)		Constant (0.05MPa)
Σεισμός (α)	0.16	
Δομή Ασυνέχειας στρώσης (Joint Structure)*	Απείρου μήκους	
Δομή Ασυνέχειας J1	2m	
Δομή Ασυνέχειας J2		2m

*ορίστηκε ως απείρου μήκους (infinite), υπέρ της ασφάλειας

Πίνακας 5.2.3 Δεδομένα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, για το εξεταζόμενο τμήμα στη XΘ 12+843 έως 12+848

Φαίνεται ότι σχηματίζονται επτά (7) σφήνες, εκ των οποίων οι δύο (2) είναι μετωπικές και οι υπόλοιπες πέντε (5) πλευρικές. Οι συντελεστές ασφαλείας όλων των σφηνών είναι πολύ μεγαλύτεροι του απαιτούμενου (F=1.5) και για τον λόγο αυτό δεν παρουσιάζεται ιδιαίτερο πρόβλημα αστοχίας.



Wedge Information

	Lower Left wedge [1]	Lower Right wedge [4]	Upper Left wedge [5]	Roof wedge [7]	Upper Right wedge [8]	Near End wedge [9]	Far End wedge [10]
Factor of Safety	110.987	110.596	106.898	106.714	103.435	115.437	116.447
Wedge Volume [m3]	0.008	0.192	0.233	0.021	0.304	0.007	0.007
Wedge Weight [MN]	0.000	0.005	0.006	0.001	0.008	0.000	0.000
Excavation Face Area [m2]	0.31	1.29	1.34	0.65	1.47	0.17	0.17
Support Pressure [MPa]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Resisting Force [MN]	1.696	7.171	7.576	3.519	8.365	0.958	0.958
Driving Force [MN]	0.015	0.065	0.071	0.033	0.081	0.008	0.008
Shear Force [MN]	0.000	0.000	0.000	0.033	0.000	0.008	0.008
Apex Height [m]	0.08	0.45	0.53	0.11	0.63	0.13	0.13
Failure Mode	lifting wedge	lifting wedge	falling wedge	wedge sliding along line of intersection of joints 2 and 3	falling wedge	wedge sliding on joint 1	wedge sliding on joint 1
Joint 1						18/317	18/317
Joint 2 Joint 3				82/134 82/066			
Joint Persistence [m]	1) 2.23 , 2) 2.09 , 3) 0.33	1) 1.46 , 2) 1.79 , 3) 2.09	1) 2.20 , 2) 1.45 , 3) 2.06	1) 2.17 , 2) 1.99 , 3) 1.98	1) 2.40 , 2) 2.09 , 3) 1.51	1) 0.17 , 2) 2.00 , 3) 2.00	1) 0.17 , 2) 2.00 , 3) 2.00
Joint Trace Lengths [m]	1) 2.23 , 2) 2.09 , 3) 0.32	1) 1.46 , 2) 1.79 , 3) 2.09	1) 2.20 , 2) 1.45 , 3) 2.07	1) 2.79 , 2) 1.98 , 3) 1.96	1) 2.40 , 2) 2.09 , 3) 1.51	1) 0.17 , 2) 1.99 , 3) 1.97	1) 0.17 , 2) 1.99 , 3) 1.97
Joint Shear Strengths [MN]	1) 0.027 , 2) 0.026 , 3) 0.004	1) 0.107 , 2) 0.123 , 3) 0.144	1) 0.178 , 2) 0.129 , 3) 0.179	1) 0.043 , 2) 0.026 , 3) 0.024	1) 0.235 , 2) 0.214 , 3) 0.159	1) 0.004 , 2) 0.041 , 3) 0.040	1) 0.004 , 2) 0.041 , 3) 0.040

Εικόνα 5.2.1.1 Διατομή του εξεταζόμενου τμήματος στη ΧΘ 12+843 έως 12+848, από διάφορες οπτικές γωνίες

Προτείνεται η εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος περιμετρικά της σήραγγας, σε όλο της το μήκος, προκειμένου να συγκρατηθούν τυχόν μικρότερες σφήνες που πρόκειται να αστοχήσουν ή ακόμη αυτές μπορούν να καθαιρεθούν κατά την εκσκαφή. Επίσης αγκύρια προτείνεται να τοποθετηθούν για τη συγκράτηση εκείνων των σφηνών που έχουν σημαντικό όγκο. Θα πρέπει να ελεγχθούν βέβαια οι σφήνες ως προς την ανάγκη για αγκύρια και τον αριθμό τους (κάνναβο).

Αντίστοιχη ανάλυση πραγματοποιείται και για τα υπόλοιπα τρία (3) εξεταζόμενα τμήματα μήκους πέντε (5) μέτρων (m), οι εικόνες των οποίων παραθέτονται στο παράρτημα, ενώ εδώ δίνονται μόνο πινακοποιημένα τα αποτελέσματα-συμπεράσματα. ΧΘ 12+805 έως 12+810 (Στόμιο Εισόδου, διατομή 647)

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

μήμα Γεωλογίας

5.2.2

Α.Π.Ο Ακολούθως δίνονται στοιχεία για τα δεδομένα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα για διαφορετικό τμήμα της σήραγγας, μήκους 5m, με χρήση του ΤΔ-Γ4.2, που απέχει κάθετη απόσταση ~20m από την χάραξη.

Στοιχείο	Τιμή		
Μήκος Εξεταζόμενου Τμήματος (Tunnel length =	ΧΘ 12+805 έως 12+810		
Κλίση Σήραγγας (Plunge)		3.7°	
Προσανατολισμός Σήραγγας (Trend)		B015°	
	Bedding	16°/330°	
$K_{\lambda}(\sigma)/\Lambda_{10}(\theta_{\lambda})(\sigma) = K_{\lambda}(\sigma) = \alpha_{0}(\theta_{\lambda})(\theta_{\lambda})$	Joint 1	82°/088°	
KATO $\beta \Delta teo 00001$ KATO $\beta \Delta 00000$ (12-14.2)	Joint 2	83°/182°	
	81°/134°		
Συντελεστής Ασφαλείας Σχεδιασμού (FOS)	1.5		
Ειδικό βάρος βράχου		0.027 MN/m ³	
Κριτήριο Αστοχίας		Mohr Coulomb	
Γωνία τριβής (φ)		33°	
Συνοχή (c)		0.32 MPa	
Εφελκυστική Αντοχή (σ _t)	5.3 MPa		
Πίεση του νερού των πόρων (Water Pressure)	Constant (0.05MPa)		
Σεισμός	0.16		
Δομή Ασυνέχειας Στρώσης (Joint Structure)*	Απείρου μήκους		
Δομή Διακλάσεων (Joint Structure)		~2m	

*ορίστηκε ως απείρου μήκους (infinite), υπέρ της ασφάλειας

Πίνακας 5.2.4 Δεδομένα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, για το εξεταζόμενο τμήμα στη XΘ $12{+}805$ έως $12{+}810$

Επιλέχθηκε να οριστεί στο πρόγραμμα ενδεικτικά ως συνεχής πίεση του νερού, τα 0.05MPa, καθώς το συγκεκριμένο εξεταζόμενο τμήμα τοποθετείται κοντά στα στόμια (χαμηλά υπερκείμενα) όπου το νερό πιθανόν να το επηρεάζει λόγω του δευτερογενούς πορώδους.

	Αριθμός Σφηνών			
Μετωπικές	2			
Στις παρειές	4			
Στο δάπεδο	1			
Συντελεστές ασφαλείας πολύ μεγαλύτεροι του 1.5				
(ελάχιστος απαιτούμενος), άρα ευστάθεια σφηνών				

5.2.3 ΧΘ 12+927 έως 12+932 (Θέση στην ΤΕ-Α, διατομή 635)

Ακολούθως δίνονται στοιχεία για τα δεδομένα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα για το επόμενο τμήμα της σήραγγας μήκους 5m, με χρήση του ΤΔ-8, το οποίο απέχει κάθετα ~30m από την χάραξη.

OTRASTOS"						
Στοιχείο	Στοιχείο					
Μήκος Εξεταζόμενου Τμήματος (Tunnel l	ength = 5m)	ΧΘ 12+927 έως 12+932				
Κλίση Σήραγγας (Plunge)		3.7°				
Προσανατολισμός Σήραγγας (Trend)		B353°				
	32°/298°					
	Joint 1	80°/135°				
$K_{\lambda}(\pi) / \Lambda_{\lambda} \phi(0) = K_{\lambda}(\pi) + K_{\lambda}(\pi$	Joint 2	65°/090°				
Κλιση/Διευσυνση Κλισης ασυνεχειών (1Δ	Joint 3	86°/272°				
	Joint 4	68°/114°				
	Joint 5	76°/032°				
Συντελεστής Ασφαλείας Σχεδιασμού (FOS	Συντελεστής Ασφαλείας Σχεδιασμού (FOS)					
Ειδικό βάρος βράχου		0.02659 MN/m ³				
Κριτήριο Αστοχίας		Mohr Coulomb				
Γωνία τριβής (φ)		33°				
Συνοχή (c)	Συνοχή (c)					
Εφελκυστική Αντοχή (σ _t)	5.3 MPa					
Πίεση του νερού των πόρων (Water Pressu	Ξηρές Συνθήκες					
Σεισμός	0.16					
Agun Agwereign (Joint Structure)	Στρώση	Απείρου μήκους				
	Διακλάσεις	2m				

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Πίνακας 5.2.5 Δεδομένα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, για το εξεταζόμενο τμήμα στη XΘ 12+927 έως 12+932

Η εμμονή των διακλάσεων ορίστηκε ίση με 2m και η στρώση θεωρήθηκε απείρου μήκους υπέρ της ασφάλειας. Οι συνθήκες ορίστηκαν ξηρές (συνεχής πίεση του νερού = 0MPa), καθώς το εξεταζόμενο τμήμα ανήκει στην TE-A, όπου η ποιότητα της βραχόμαζας αναμένεται εξαιρετική.

	Αριθμός Σφηνών			
Μετωπικές	-			
Στις παρειές	2			
Στο δάπεδο	-			
Συντελεστές ασφαλείας πολύ μεγαλύτεροι του 1.5				
(ελάχιστος απαιτούμενος), άρα ευστάθεια σφηνών				

5.2.4 ΧΘ 12+965 έως 12+970 (Στόμιο εξόδου, διατομή 655)

Στο συγκεκριμένο τμήμα της χάραξης περιλαμβάνεται το ρήγμα. Έγινε λοιπόν η παραδοχή ότι αυτό αποτελεί πρακτικά μία διευρυμένη ασυνέχεια, κατά μήκος της οποίας δύναται να παρατηρηθεί ανισότροπη αστοχία και συνεπώς λήφθηκε ως επίπεδο, με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του. Οι συνθήκες πίεσης του νερού θεωρήθηκαν συνεχείς με 0.05MPa, για τους ίδιους λόγους με το στόμιο εισόδου.

OBPASTOS"					
Στοιχείο			Τιμή		
Μήκος Εξεταζόμενου Τμήμ	α τος (Tunnel length = 20)	n)	ΧΘ 12+965 έως 12+970		
Κλίση Σήραγγας (Plunge)	/		3.7°		
Προσανατολισμός Σήραγγαα	; (Trend)		B347°		
Bedding			24°/313°		
K) $i\sigma n / \Lambda (\sigma i \Theta) \eta \sigma n K$) $i\sigma n \sigma \sigma \sigma$		Joint 1	76°/043°		
$(T \land \Sigma^2 N B)$	συνεχειών	Joint 2	79°/113°		
$(1\Delta - 22N_{D})$		Joint 3	45°/236°		
Fault			59°/063°		
Συντελεστής Ασφαλείας Σχεδιασμού (FOS)			1.5		
Ειδικό βάρος βράχου	Ειδικό βάρος βράχου				
Κριτήριο Αστοχίας			Mohr Coulomb		
Γωνία τριβής (φ)			33°		
$\sum worm (c)$	Στρώση και Διακλάσεις		0.32 MPa		
2000,11 (C)	Ρήγμα		0 MPa		
$E_{\alpha}(\sigma)$	Στρώση και Διακλάσεις		5.3 MPa		
	Ρήγμα		0 MPa		
Πίεση του νερού των πόρων (Water Pressure)			Constant (0.05MPa)		
Σεισμός			0.16		
Δομή Ασυνεχειών (Joint	Δομή Ασυνεχειών (Joint Στρώση & Ρήγμα		Απείρου μήκους		
Structure)*	acture)* Διακλάσεις		1m		

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

*σύμφωνα με το έντυπο του ΤΔ, στο οποίο δίνεται μήκος διακλάσεων <1m και μήκος στρώσης >20m

Πίνακας 5.2.6 Δεδομένα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, για το εξεταζόμενο τμήμα στη XΘ 12+965 έως 12+970

	Αριθμός Σφηνών			
Μετωπικές	2			
Στις παρειές	5			
Στο δάπεδο -				
Συντελεστές ασφαλείας πολύ μεγαλύτεροι του 1.5				
(ελάγιστος απαιτούμενος), άρα ευστάθεια σφηνών				

Συμπερασματικά, και στα τρία (3) τελευταία τμήματα, οι όγκοι των σφηνών είναι εξαιρετικά μικροί και οι συντελεστές ασφαλείας πολύ υψηλοί. Πιθανόν να μπορούν να συγκρατηθούν και μόνο με την εφαρμογή οπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος, ενώ λύση αποτελεί και η καθαίρεσή τους κατά την εκσκαφή. Δεν κρίνεται δηλαδή αναγκαία η χρήση σημειακών αγκυρίων για τη συγκράτηση κάποιας αξιόλογης μεμονωμένης σφήνας. Βέβαια, περιμετρικά της εκσκαφής, για την υποστήριξη του κελύφους, θα πρέπει να τοποθετηθούν αγκύρια πυκνότερα ή αραιότερα και να υπολογιστεί αριθμητικά ο απαιτούμενος κάνναβος, το μήκος τους, η φέρουσα ικανότητά τους και ο τύπος τους.

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΤΑ ΣΤΟΜΙΑ

5.3.1 Κινηματικές αναλύσεις στα πρανή των στομίων

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

μήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

5.3

Ο μηχανισμός αστοχίας στα πρανή στη συγκεκριμένη περίπτωση βραχώδους λιθολογίας, είναι η ολίσθηση τεμάχους πάνω σε μία ή περισσότερες ασυνέχειες που ο προσανατολισμός του καθοδηγεί τη θραύση. Δηλαδή, η βραχόμαζα δεν συμπεριφέρεται ως ισότροπο υλικό αλλά ως ανισότροπο. Η τελική ευστάθεια ή μη του πρανούς καθορίζεται από την αντοχή των ασυνεχειών.

Ειδικότερα, στα στόμια εισόδου και εξόδου της σήραγγας «Πέτρα» πρόκειται να κατασκευαστούν δύο πλευρικά πρανή (δεξί ή ανατολικό και αριστερό ή δυτικό). Συνολικά δηλαδή θα εξεταστούν τέσσερα (4) πρανή, εκ των οποίων βέβαια ορισμένα διαθέτουν και αναβαθμούς, με αποτέλεσμα να «διαιρούνται» σε περισσότερα από ένα πρανή. Έλεγχος κινηματικών ολισθήσεων θα διενεργηθεί σε όλα τα σχηματιζόμενα λόγω αναβαθμών πρανή των στομίων.

Στις παρακάτω δύο εικόνες αποτυπώνονται οι οριζοντιογραφίες των θέσεων των πρανών/ορυγμάτων των στομίων εισόδου και εξόδου (πορτοκαλί γραμμές), με τους αναβαθμούς τους.



Εικόνα 5.3.1.1 Οριζοντιογραφίες πρανών στομίου εισόδου (αριστερά) και εξόδου (δεξιά)

Τα διαθέσιμα Τεκτονικά Διαγράμματα της στενής περιοχής της σήραγγας είναι τα: ΤΔ-Γ4.1, ΤΔ-Γ4.2, ΤΔ-Γ5.1, ΤΔ_Σ2Ν_Β και ΤΔ_Σ2Ν_Ν. Τα δύο τελευταία τεκτονικά διαγράμματα αποτελούν δεδομένα πιο πρόσφατων μελετών (Μαρίνος Β., 2020), και οι τιμές τους συλλέχθηκαν με στόχο τις αναλύσεις στα πρανή των στομίων της εξεταζόμενης (νέας) χάραξης του οδικού δικτύου. Οι θέσεις των τεκτονικών αυτών διαγραμμάτων προβάλλονται στην ακόλουθη γεωλογική οριζοντιογραφία της στενής περιοχής μελέτης.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 5.3.1.2 Γεωλογικός χάρτης στενής περιοχής μελέτης με τις θέσεις των διαθέσιμων τεκτονικών διαγραμμάτων

Έτσι λοιπόν, στο νότιο στόμιο ή στόμιο εισόδου αντιστοιχεί το TΔ_Σ2N_N, ενώ στο βόρειο στόμιο ή στόμιο εξόδου, το TΔ_Σ2N_B. Οι ασυνέχειες που καταγράφονταν στα παραπάνω τεκτονικά διαγράμματα εισήχθησαν στο πρόγραμμα Dips 6.0 της Rocscience, μαζί με τα γεωμετρικά στοιχεία του πρανούς εκσκαφής που υπολογίστηκαν απευθείας από τις διαθέσιμες διατομές στις θέσεις των πρανών των στομίων.

Ακολουθούν τα δίκτυα Schmidt (στερεοδιαγράμματα) που προέκυψαν από την εισαγωγή των δεδομένων των νέων τεκτονικών διαγραμμάτων ΤΔ_Σ2N_Ν και ΤΔ_Σ2N_Β στο πρόγραμμα Dips της Rocscience με σκοπό την ανεύρεση οικογενειών ασυνεχειών.



Εικόνα 5.3.1.3 Πυκνότητες/συγκεντρώσεις πόλων στο ΤΔ_Σ2Ν_Β



Εικόνα 5.3.1.4 Επίπεδα οικογενειών ασυνεχειών στο ΤΔ_ $\Sigma 2N_B$

Οι οικογένειες ασυνεχειών του παραπάνω στερεοδιαγράμματος καταγράφονται στον ακόλουθο πίνακα.

ΤΔ_Σ2Ν_Β					
ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΕΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ					
Είδος Ασυνέχειας Κλίση (°) Διεύθυνση Κλίσης (°)					
Διάκλαση (J1)	76	043			
Διάκλαση (J2)	79	113			
Διάκλαση (J3)	45	236			
Ρήγμα (F)	59	063			
Στρώση (Β)	24	313			

Πίνακας 5.3.1 Οικογένειες ασυνεχειών στο TΔ_ $\Sigma 2N_B$

Οι παραπάνω οικογένειες ασυνεχειών θα χρησιμοποιηθούν στις ακόλουθες κινηματικές αναλύσεις ως αντιπροσωπευτικές των ασυνεχειών της στενής περιοχής.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 5.3.1.5 Πυκνότητες/συγκεντρώσεις πόλων στο ΤΔ_Σ2N_N



Εικόνα 5.3.1.6 Επίπεδα οικογενειών ασυνεχειών στο ΤΔ_Σ2Ν_Ν

Το ρήγμα του ΤΔ_Σ2Ν_Ν σημειώθηκε με ερωτηματικό στο Τεκτονικό Διάγραμμα από τον συντάκτη και συνεπώς η ύπαρξή του είναι αμφισβητούμενη, ενώ επίσης δεν αποτυπώνεται στον τελικό γεωλογικό χάρτη. Σύμφωνα με την κρίση της γράφουσας, ισχύει πιθανόν ότι, επειδή η κλίση και η διεύθυνση κλίσης του ρήγματος (F) είναι παρόμοια με αυτήν της ασυνέχειας της στρώσης (B), ενδεχομένως να αποτελεί κάποια διευρυμένη και περισσότερο καταπονημένη ασυνέχεια στρώσης. Επομένως, δεν κρίνεται σκόπιμο να ληφθεί ξεχωριστά ως ρηξιγενής ζώνη. Παρ' όλα αυτά συμπεριλαμβάνεται στις αναλύσεις. Οι οικογένειες φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Π.Θ

ΤΔ_Σ2Ν_Ν				
Είδος Ασυνέχειας	Κλίση (°)	Διεύθυνση Κλίσης (°)		
Διάκλαση (J1)	80	065		
Διάκλαση (J2)	72	135		
Διάκλαση (J3)	77	195		
Στρώση (Β)	16	321		
Ρήγμα (F)*	35	355		

*Δεν λαμβάνεται υπόψη ως ρήγμα για τους λόγους που αναφέρονται

Πίνακας 5.3.2 Οικογένειες ασυνεχειών στο ΤΔ_Σ2Ν_Ν

Η γωνία τριβής που θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για τις κινηματικές αναλύσεις προκύπτει από τις δοκιμές άμεσης διάτμησης που έχουν εκτελεστεί και καταγράφονται στα μητρώα. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται η τιμή φ=25° ως αντιπροσωπευτική για τα πρανή των στομίων, καθώς είναι η μοναδική που έχει προκύψει τόσο από δείγμα σε μικρό βάθος (επίδραση επιφανειακών συνθηκών) όσο και από δείγμα που έχει ληφθεί από γεώτρηση της στενής περιοχής της σήραγγας. Επομένως, λαμβάνεται υπόψη στην περίπτωση αυτή, η επίδραση της αποσάθρωσης στην διατμητική αντοχή του βράχου και για τον λόγο αυτό προκύπτει πιο απομειωμένη σε σχέση με αυτή που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως στο Unwedge, για το υπόγειο (υγιής βράχος).

5.3.1.1 Πρανή στομίου εισόδου (Νότιο στόμιο)

Τα πρανή που θα εκσκαφτούν στο στόμιο εισόδου είναι δύο (2) πλευρικά, εκατέρωθεν του οδικού δικτύου. Κινούμενοι προς Βουλγαρία (προς βορρά), ορίζονται αντίστοιχα ως αριστερό ή δυτικό και δεξί ή ανατολικό πρανές. Στην ακόλουθη οριζοντιογραφία του στομίου εισόδου, αποτυπώνονται με πορτοκαλί γραμμές τα πρανή εκατέρωθεν και με μαύρα βέλη υποδεικνύεται και καταγράφεται η κλίση και διεύθυνση κλίσης τους.



Εικόνα 5.3.1.1.1 Υποδείξεις με βέλος των διευθύνσεων κλίσεων των πρανών του στομίου εισόδου και των γεωμετρικών τους στοιχείων

Η διατομή των πρανών του στομίου εισόδου παραθέτεται στη συνέχεια, σε εκείνη τη Χ.Θ. λίγο πριν την είσοδο στο υπόγειο, δηλαδή στην περίπτωση που εμφανίζεται το μέγιστο ύψος του αριστερού πρανούς (και οι τρεις (3) αναβαθμοί του).



Εικόνα 5.3.1.1.2 Διατομή πρανών στομίου εισόδου

Επίσης παραθέτεται η διατομή TU3A στην Χ.Θ. 12+799.9, η οποία απεικονίζει τόσο τα τρία πρανή λόγω αναβαθμών του αριστερού πρανούς όσο και το

δεξί πρανές. Παρατηρείται επιπλέον ότι η κλίση των στρωμάτων (στρώση) είναι αντίρροπη ως προς την διαμόρφωση του αριστερού (δυτικού) πρανούς του στομίου εισόδου (16°), γεγονός που δημιουργεί συνθήκες ευνοϊκές ως προς την ευστάθειά του. Το αντίθετο ισχύει για το δεξί πρανές.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 5.3.1.1.3 Γεωλογική διατομή ΤU3Α στην Χ.Θ. 12+799.9

5.3.1.1.1 Αριστερό (δυτικό) πρανές του στομίου εισόδου

Το αριστερό (δυτικό) πρανές, στην έναρξή του (Χ.Θ. 12+723) αποτελείται αρχικά από ένα (1°) πρανές κλίσης 72°, ενώ κατά μήκος του οδικού δικτύου, όσο κινείται κανείς προς βόρεια, αρχίζουν να απαντώνται επιπρόσθετα πρανή πάνω από αυτό, ίδιας κλίσης με το πρώτο, λόγω κατασκευής δύο (2) ενδιάμεσων οριζόντιων βαθμίδων. Αρχικά απαντάται ένα επιπρόσθετο πρανές (2°) λόγω αναβαθμού, με έναρξη την Χ.Θ. 12+765 και τέλος ακόμη ένα (3°) με έναρξη την Χ.Θ. 12+786. Η συνέχεια και των τριών πρανών διακόπτεται προφανώς στην θέση όπου ξεκινά το υπόγειο έργο (Χ.Θ.12+800). Το αριστερό (δυτικό) πρανές έχει το μεγαλύτερο ύψος από τα δύο πρανή εκατέρωθεν του οδικού δικτύου. Η εκσκαφή του στη θέση αυτή θα φτάσει τα 31.7m στην κατακόρυφη διάσταση (μέγιστο ύψος συνολικού αριστερού πρανούς) και τα 19.3m σε «βάθος» (3^η διάσταση).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Το πλάτος κάθε ενδιάμεσης βαθμίδας είναι 4m. Το μέγιστο ύψος του συνολικού πρανούς απαντάται στη θέση ακριβώς πριν την είσοδο στο τεχνικό (2 οριζόντιες βαθμίδες και 3 σχηματιζόμενα πρανή). Οι χιλιομετρικές θέσεις των πρανών πινακοποιούνται παρακάτω.

Πρανές λόγω	X	Θ	Μήκος	Κλίση	Πλάτος Ενδιάμεσης
Αναβαθμού	Από	Έως	(m)	(°)	βαθμίδας (m)
1°	12+723	12+800	77	72°	4m
2°	12+765	12+800	35	72°	4m
3°	12+786	12+800	14	72°	4m

Πίνακας 5.3.3 Χιλιομετρικές θέσεις των πρανών λόγω βαθμίδων του αριστερού πρανούς του στομίου εισόδου

Ειδικότερα, η συγκεκριμένη θέση θα αποτελείται από δύο ενδιάμεσες βαθμίδες με πλάτος 4m έκαστη και η κλίση του κάθε πρανούς θα είναι 72°, δηλαδή πρανές κλίσης 3:1, με διεύθυνση κλίσης 105°. Το φυσικό πρανές στη θέση αυτή αντιστοιχεί σε κλίση 32° και διεύθυνση κλίσης 136°. Οι οικογένειες ασυνεχειών και τα στοιχεία του πρανούς που θα ελεγθούν ως προς τις δυνητικές αστοχίες (επίπεδη, σφηνοειδής, από ανατροπή), με το πρόγραμμα Dips της Rocscience, καταγράφονται στους παρακάτω πίνακες.

Επιφάνεια	Κλίση	Διεύθυνση Κλίσης
Φυσικό πρανές	32°	136°
Πρανές Εκσκαφής	72°	105°

Πίνακας 5.3.4 Στοιχεία του φυσικού πρανούς και του πρανούς που θα ελεγθεί ως προς τις δυνητικές αστογίες

ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΈΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ				
	Επιφάνεια	Κλίση	Διεύθυνση Κλίσης	
$\mathbf{T} \boldsymbol{\Delta} \cdot \boldsymbol{\Sigma} 2 \mathbf{N} \mathbf{N} \qquad \qquad$	Διάκλαση (J1)	80°	065°	
	Διάκλαση (J2)	72°	135°	
	Διάκλαση (J3)	77°	195°	
	Στρώση (Β)	16°	321°	
	Ρήγμα (F)*	35°	355°	

*Δεν λαμβάνεται υπόψη ως ρήγμα για τους λόγους που προαναφέρθηκαν

Πίνακας 5.3.5 Οικογένειες ασυνεχειών του ΤΔ_ $\Sigma 2N_N$

Ακολουθούν τα στερεοδιαγράμματα των κινηματικών αναλύσεων για επίπεδη, σφηνοειδή αστοχία και αστοχία από ανατροπή.



Εικόνα 5.3..1.1.1.1 Έλεγχος για επίπεδη ολίσθηση στο αριστερό πρανές του στομίου εισόδου



Εικόνα 5.3.1.1.1.2 Έλεγχος για σφηνοειδή αποκόλληση στο αριστερό πρανές του στομίου εισόδου



Εικόνα 5.3.1.1.1.3 Έλεγχος για αστοχία από ανατροπή στο αριστερό πρανές του στομίου εισόδου
Ο συγκεντρωτικός πίνακας των αστοχιών που προέκυψαν για το εξεταζόμενο πρανές, παραθέτεται ακολούθως.

Τύπος Αστοχίας	Αριστερό (δυτικό) πρανές (72°/105°)
Επίπεδη	J1 , J2
Σφηνοειδής	J1-J3
Από ανατροπή	-

Πίνακας 5.3.6 Συνολικός πίνακας δυνητικών αστοχιών του αριστερού πρανούς του στομίου εισόδου Λόγω της καλής ποιότητας βραχόμαζας δεν κρίνεται πιθανή κάποια αστοχία κυκλικού τύπου (περιστροφική ολίσθηση) του συνόλου του πρανούς, δηλαδή όλων των αναβαθμών μαζί. Εξάλλου αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο κατασκευάζονται οι τελευταίοι, δηλαδή να συμβάλλουν στην συνολική ευστάθεια του πρανούς. Γενικά, μικρές επιφανειακές θραύσεις των πρανών μεταξύ των οριζόντιων αναβαθμών μπορεί να επιτραπούν, μιας και υπάρχει δυνατότητα για συγκράτησή τους από τα επίπεδα των βαθμών, αρκεί να μην φτάσουν στο δρόμο καταπτώσεις βραχωδών συντριμμάτων από το πρανές

5.3.1.1.2 Δεξί (ανατολικό) πρανές του στομίου εισόδου

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Το δεξί (ανατολικό) πρανές έχει το μικρότερο ύψος από τα δύο πρανή εκατέρωθεν της χάραξης με την εκσκαφή να φτάνει τα 9.6m στην κατακόρυφη διάσταση και τα 5.7m στην 3^η διάσταση (βάθος). Δεν διαθέτει αναβαθμούς και η κλίση του είναι 63° (2:1) με διεύθυνση κλίσης 285°. Το φυσικό πρανές στη θέση αυτή αντιστοιχεί σε κλίση 17° και διεύθυνση κλίσης 173°. Οι οικογένειες ασυνεχειών που θα ελεγθούν ως προς τις δυνητικές αστοχίες (επίπεδη, σφηνοειδής, από ανατροπή), με το πρόγραμμα Dips της Rocscience, είναι οι ίδιες με το προηγούμενο πρανές, δηλαδή αυτές του ΤΔ-Σ2Ν_Ν. Τα στοιχεία του δεξιού πρανούς καταγράφονται στον πίνακα.

Επιφάνεια	Κλίση	Διεύθυνση Κλίσης
Φυσικό πρανές	17°	173°
Πρανές Εκσκαφής	63°	285°

Πίνακας 5.3.7 Στοιχεία του φυσικού πρανούς και του πρανούς που θα ελεγθεί ως προς τις δυνητικές αστοχίες Ακολουθούν τα στερεοδιαγράμματα των κινηματικών αναλύσεων για επίπεδη, σφηνοειδή αστοχία και αστοχία από ανατροπή.



Εικόνα 5.3.1.1.2.1 Έλεγχος για επίπεδη ολίσθηση στο δεξί πρανές του στομίου εισόδου



Εικόνα 5.3.1.1.2.2 Έλεγχος για σφηνοειδή αποκόλληση στο δεξί πρανές του στομίου εισόδου



Εικόνα 5.3.1.1.2.3 Έλεγχος για αστοχία από ανατροπή στο αριστερό πρανές του στομίου εισόδου

Ο συγκεντρωτικός πίνακας των αστοχιών που προέκυψαν για το εξεταζόμενο πρανές, παραθέτεται ακολούθως.

Τύπος Αστοχίας	Δεξί (ανατολικό) πρανές (63°/285°)
Επίπεδη	В
Σφηνοειδής	(J1- F)*
Από ανατροπή	J1 , J2

*Καταγράφεται τυπικά και δεν θα αναλυθεί περεταίρω στο Swedge, για τους λόγους που προαναφέρθηκαν

Πίνακας 5.3.8 Συνολικός πίνακας δυνητικών αστοχιών του δεξιού πρανούς του στομίου εισόδου

5.3.1.2 Πρανή στομίου εξόδου

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Τα πρανή που θα εκσκαφτούν στο στόμιο εξόδου είναι δύο πλευρικά εκατέρωθεν του οδικού δικτύου. Κινούμενοι προς τον βορρά, ορίζονται επίσης ως αριστερό (δυτικό) και δεξί (ανατολικό) πρανές. Στην ακόλουθη οριζοντιογραφία του στομίου εξόδου, αποτυπώνονται με πορτοκαλί γραμμές τα πρανή εκατέρωθεν και με μαύρα βέλη υποδεικνύεται και καταγράφεται η κλίση και διεύθυνση κλίσης τους.



Εικόνα 5.3.1.2.1 Υποδείξεις με βέλος των διευθύνσεων κλίσεων των πρανών του στομίου εισόδου και των γεωμετρικών τους στοιχείων

Η διατομή των πρανών του στομίου εξόδου παραθέτεται στη συνέχεια, σε εκείνη τη Χ.Θ. λίγο μετά την έξοδο από το υπόγειο, δηλαδή στην περίπτωση που εμφανίζεται το μέγιστο ύψος του αριστερού πρανούς (και οι τρεις (3) αναβαθμοί του).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 5.3.1.2.2 Διατομή πρανών στομίου εξόδου

Επίσης παραθέτεται η διατομή TU3G στην Χ.Θ. 12+970.01, η οποία απεικονίζει τόσο τα τρία πρανή λόγω αναβαθμών του αριστερού πρανούς όσο και το δεξί πρανές. Παρατηρείται επιπλέον ότι η κλίση των στρωμάτων (στρώση) είναι αντίρροπη ως προς την διαμόρφωση του αριστερού (δυτικού) πρανούς του στομίου εισόδου (24°), γεγονός που δημιουργεί συνθήκες ευνοϊκές ως προς την ευστάθειά του. Αν και είναι αρκετά μικρή η κλίση της στρώσης (11°) στο δεξί πρανές, είναι δυσμενής, ως ομόρροπή του.



Εικόνα 5.3.1.2.3 Γεωλογική διατομή TU3G στην Χ.Θ. 12+970.01

5.3.1.2.1 Αριστερό (δυτικό) πρανές του στομίου εξόδου

Το αριστερό (δυτικό) πρανές, στη θέση αμέσως έξω από τη σήραγγα, αποτελείται από πρανή σε μορφή αναβαθμών κλίσης 72° και διεύθυνσης κλίσης (φορά βύθισης) 077°. Ειδικότερα, περιλαμβάνει τρία μικρότερα πρανή κλίσης 72° (3:1) έκαστο και δύο ενδιάμεσες βαθμίδες (μεταξύ των πρανών) πλάτους 4m η κάθε μία. Κινούμενοι προς τα βόρεια κατά μήκος του οδικού δικτύου, τα «πατάρια» μειώνονται σε αριθμό, καθώς το συνολικό ύψος του πρανούς ελαττώνεται συνεχώς. Αρχικά, στην Χ.Θ. 12+970.01 απαντώνται στο μέγιστο ύψος τους και τα τρία πρανή, στην Χ.Θ. 12+985 απαντάται μόνο το 2° και 1° πρανές, στην Χ.Θ. 12+994 συνεχίζει την «διαδρομή» του μόνο το 1° πρανές, το οποίο και διακόπτεται στην Χ.Θ. 13+006.

Πρανές λόγω	ΧΘ		Μήκος	Κλίση	Πλάτος Ενδιάμεσης
Αναβαθμού	Από	Έως	(m)	(°)	βαθμίδας (m)
1°	12+970	13+006	36	72°	4m
2°	12+970	12+994	24	72°	4m
3°	12+970	12+985	15	72°	4m

Πίνακας 5.3.9 Χιλιομετρικές θέσεις των πρανών λόγω βαθμίδων του αριστερού πρανούς του στομίου εξόδου

Το αριστερό (δυτικό) πρανές έχει το μεγαλύτερο ύψος από τα δύο πρανή εκατέρωθεν του οδικού δικτύου. Η εκσκαφή στη θέση λίγο μετά την έξοδο από το στόμιο (Χ.Θ. 12+970.01), θα φτάσει τα 28.5m στην κατακόρυφη διάσταση και τα 18.3m σε «βάθος» (3ⁿ διάσταση).

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Για την εν λόγω θέση θα χρησιμοποιηθεί το πρόσφατο τεκτονικό διάγραμμα ΤΔ_Σ2Ν_Β που αντιστοιχεί στην περιοχή του πρανούς μελέτης. Οι οικογένειες ασυνεχειών και τα στοιχεία του πρανούς που θα ελεγθούν ως προς τις δυνητικές αστοχίες (επίπεδη, σφηνοειδής, από ανατροπή), με το πρόγραμμα Dips της Rocscience, καταγράφονται στους παρακάτω πίνακες.

Επιφάνεια	Κλίση	Διεύθυνση Κλίσης
Φυσικό πρανές	23°	144°
Πρανές Εκσκαφής	72°	077°

Πίνακας 5.3.10 Στοιχεία του φυσικού πρανούς και του πρανούς που θα ελεγθεί ως προς τις δυνητικές αστοχίες

ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΕΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ				
	Επιφάνεια	Κλίση	Διεύθυνση Κλίσης	
ΤΔ_Σ2N_B	Διάκλαση (J1)	76°	043°	
	Διάκλαση (J2)	79°	113°	
	Διάκλαση (J3)	45°	236°	
	Ρήγμα (F)	59°	063°	
	Στρώση (Β)	24°	313°	

Πίνακας 5.3.11 Οικογένειες ασυνεχειών του ΤΔ Σ2Ν Β

Ακολουθούν τα στερεοδιαγράμματα των κινηματικών αναλύσεων για επίπεδη, σφηνοειδή αστοχία και αστοχία από ανατροπή.



Εικόνα 5.3.1.2.1.1 Έλεγχος για επίπεδη ολίσθηση στο αριστερό πρανές του στομίου εξόδου



Εικόνα 5.3.1.2.1.2 Έλεγχος για σφηνοειδή αποκόλληση στο αριστερό πρανές του στομίου εξόδου



Εικόνα 5.3.1.2.1.3 Έλεγχος για αστοχία από ανατροπή στο αριστερό πρανές του στομίου εξόδου

Ο συγκεντρωτικός πίνακας των αστοχιών που προέκυψαν για το εξεταζόμενο πρανές , παραθέτεται ακολούθως.

Τύπος Αστοχίας	Αριστερό (δυτικό) πρανές (72°/077°)
Επίπεδη	F
Σφηνοειδής	J1-F , J2-F
Από ανατροπή	13

Πίνακας 5.3.12 Συνολικός πίνακας δυνητικών αστοχιών του αριστερού πρανούς του στομίου εξόδου

5.3.1.2.2 Δεξί (ανατολικό) πρανές του στομίου εξόδου

Το δεξί (ανατολικό) πρανές του στομίου εξόδου, έχει το μικρότερο ύψος από τα δύο πρανή εκατέρωθεν της χάραξης με την εκσκαφή να φτάνει τα 11.2m στην κατακόρυφη διάσταση και τα 9.9m στην 3^η διάσταση (βάθος)

. Διαθέτει έναν αναβαθμό με ενδιάμεση βαθμίδα πλάτους 4m και η κλίση του είναι 63° (2:1) με διεύθυνση κλίσης 258°. Η αναβαθμίδα αυτή, κινούμενοι βορειότερα παύει να υπάρχει, καθώς το ύψος του πρανούς ελαττώνεται. Το 1° και το 2° πρανές ξεκινούν το μέγιστο ύψος τους στη Χ.Θ. 12+970.01, το 2° πρανές διακόπτεται στην Χ.Θ. 12+973.2 και το 1° στην Χ.Θ. 12+987.3. Επίσης το 2° δημιουργούμενο πρανές λόγω αναβαθμού είναι πολύ μικρού μήκους (3.2m) και ιδιαίτερα μικρού ύψους (μέγιστο ύψος = 0.21m) και συνεπώς δεν θεωρείται αξιόλογο για ανάλυση της ευστάθειάς του.

Ποσμές λόγκο	ΧΘ		Mńroc	Klign	Πλάτος
Πρανες λογω Αναβαθμού	Από	Έως	(m)	(°)	Ενδιάμεσης βαθμίδας (m)
1°	12+970	12+987.3	17.3	63°	4m
2°	12+970	12+973.2	3.2	63°	4m

Πίνακας 5.3.13 Χιλιομετρικές θέσεις των πρανών λόγω βαθμίδων του δεξιού πρανούς του στομίου εξόδου

Οι οικογένειες ασυνεχειών που θα ελεγθούν ως προς τις δυνητικές αστοχίες (επίπεδη, σφηνοειδής, από ανατροπή), με το πρόγραμμα Dips της Rocscience, είναι οι ίδιες με το προηγούμενο πρανές, δηλαδή αυτές του ΤΔ-Σ2N_B. Τα στοιχεία του δεξιού πρανούς του στομίου εξόδου καταγράφονται στον πίνακα.

Επιφάνεια	Κλίση	Διεύθυνση Κλίσης
Φυσικό πρανές	6°	164°
Πρανές Εκσκαφής	63°	258°

Πίνακας 5.3.14 Στοιχεία του φυσικού πρανούς και του πρανούς που θα ελεγθεί ως προς τις δυνητικές αστοχίες

Ακολουθούν τα στερεοδιαγράμματα των κινηματικών αναλύσεων για επίπεδη,

σφηνοειδή αστοχία και αστοχία από ανατροπή.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 5.3.1.2.2.1 Έλεγχος για επίπεδη ολίσθηση στο δεξιό πρανές του στομίου εξόδου



Εικόνα 5.3.1.2.2.2 Έλεγχος για σφηνοειδή αποκόλληση στο δεξί πρανές του στομίου εξόδου



Εικόνα 5.3.1.2.2.3 Έλεγχος για αστοχία από ανατροπή στο δεξί πρανές του στομίου εξόδου

Ο συγκεντρωτικός πίνακας των αστοχιών που προέκυψαν για το εξεταζόμενο πρανές, παραθέτεται ακολούθως.

Τύπος Αστοχίας	Δεξί (ανατολικό) πρανές (63°/258°)
Επίπεδη	J3
Σφηνοειδής	J2-J3
Από ανατροπή	F

Πίνακας 5.3.15 Συνολικός πίνακας δυνητικών αστοχιών του δεξιού πρανούς του στομίου εξόδου Γενικά πάντως, μικρές επιφανειακές θραύσεις των πρανών μεταξύ των οριζόντιων αναβαθμών μπορεί να επιτραπούν, μιας και υπάρχει δυνατότητα για συγκράτησή τους από τα επίπεδα των αναβαθμών, αρκεί να μην φτάσουν στο δρόμο καταπτώσεις βραχωδών συντριμμάτων από το πρανές.

Πρέπει να διευκρινιστεί το γεγονός ότι το ίχνος του ρήγματος, μέχρι και την λήξη του δυτικού (αριστερού) πρανούς του στομίου εξόδου στη XΘ 13+006.3, τοποθετείται κατάντη (ανατολικότερα) αυτού και κλίνει επίσης προς τα κατάντη. Στην πραγματικότητα, όπως μπορεί να διακριθεί και από το παρακάτω σκίτσο, θα απομακρυνθεί γεωυλικό για την διαμόρφωση του ορύγματος. Για το λόγο αυτό, φαίνεται να εκσκάπτεται η περιοχή που περιλαμβάνει τμήμα του επιπέδου του ρήγματος, ενώ μετά τη διαμόρφωσή του η ρηξιγενής επιφάνεια θα εντοπίζεται στην ανατολική πλευρά του, στο περιθώριο μεταξύ του οδοστρώματος και του ανατολικού (δεξιού) πρανούς (κόκκινο βέλος). Αυτό σημαίνει ότι δεν πρόκειται να τέμνει το δυτικό (αριστερό) πρανές και συνεπώς ούτε να δημιουργεί στην πραγματικότητα τα προβλήματα αστάθειας που προέκυψαν από τα στερεοδιαγράμματα (επίπεδη και σφηνοειδείς αστοχίες), καθώς επίσης δεν δύναται να δημιουργεί πράγματι την αστοχία από ανατροπή στο δεξί πρανές. Για τον λόγο αυτό, δεν θα ληφθούν υπόψη στις ακόλουθες αναλύσεις ευστάθειας η αστοχίες που προκύπτουν με το επίπεδο του ρήγματος, μιας και δεν έχουν πραγματική (φυσική) σημασία.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη



Εικόνα 5.3.1.2.2.4 Διατομή πρανών στομίου εξόδου με αποτύπωση του ρήγματος. Η θέση του ίχνους της ρηξιγενούς επιφάνειας μετά την διαμόρφωση (εκσκαφή) του ορύγματος, υποδεικνύεται με κόκκινο βέλος, μεταξύ του οδοστρώματος και του ανατολικού πρανούς

5.3.2 Αναλύσεις ευστάθειας των δυνητικών αστοχιών

Οι ελάχιστοι συντελεστές ασφάλειας έναντι θραύσης των πρανών μεταξύ οριζοντίων αναβαθμών, θα πρέπει να είναι σύμφωνοι με τον παρακάτω πίνακα (από παρουσίαση Τεχνικής Γεωλογίας).

α/α συνδυασμού	1	2	3	4
Σεισμός	Ν	Ν	0	0
Ανώτατη στάθμη υπόγειου ορίζοντα 50-ετίας	Ν	0	Ν	0
Απαιτούμενος συντελεστής ασφαλείας	-	-	1.1	1.2

Πίνακας 5.3.16 Ελάχιστοι συντελεστές ασφάλειας έναντι θραύσης των πρανών μεταξύ οριζοντίων αναβαθμών



Οι αναλύσεις θα διεξαχθούν δύο φορές για κάθε τύπο αστοχίας, μία με την παραδοχή ξηρών συνθηκών και παρουσίας σεισμού και, μία για υγρές συνθήκες, χωρίς σεισμό. Γενικά, σχεδιασμός με παρουσία και των δύο παραγόντων ταυτόχρονα (νερό και σεισμός) δεν πραγματοποιείται, καθώς η περίπτωση αυτή είναι αρκετά ακραία και αρκετά συντηρητική και τα μέτρα αντιστήριξης δεν θα πρέπει να καθορίζονται από τον εν λόγω συνδυασμό, σύμφωνα με τον κανονισμό της ΟΣΜΕΟ. Επίσης, οι συντελεστές ασφαλείας που θα προκύψουν από κάθε ανάλυση, θα συγκριθούν με τον αποδεκτό συντελεστή ασφαλείας του παραπάνω πίνακα.

Ακολουθεί ο συγκεντρωτικός πίνακας των δυνητικών αστοχιών για τα πρανή των στομίων, που θα αναλυθούν στη συνέχεια.

	ΣΤΟΜΙΟ	ΕΙΣΟΔΟΥ	ΣΤΟΜΙΟ ΕΞΟΔΟΥ		
Τύπος Αστοχίας	Αριστερό	Δεξί	Αριστερό	Δεξί	
	(72°/105°)	(63°/285°)	(72°/077°)	(63°/258°)	
Επίπεδη	-	В	(F)*	J3	
Σφηνοειδής	J1-J3	(J1- F)*	(J1-F, J2-F)*	J2-J3	
Ανατροπή	-	J1 , J2**	J3**	(F)*	

*Δεν θα πραγματοποιηθεί ανάλυση για τους λόγους που προαναφέρθηκαν **Δεν θα πραγματοποιηθεί ανάλυση με το λογισμικό RocTopple της Rocscience

Πίνακας 5.3.17 Συγκεντρωτικός πίνακας δυνητικών αστοχιών για όλα τα πρανή των στομίων.

Για τις παρακάτω αναλύσεις ευστάθειας παραθέτονται αναλυτικά τα στοιχεία τους στα «Info viewer» στο παράρτημα, ενώ εδώ καταγράφεται μόνο ο συντελεστής ασφαλείας (F) που προκύπτει κάθε φορά.

5.3.2.1 Στόμιο Εισόδου – Αριστερό (δυτικό) πρανές

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Για τις αναλύσεις με επίδραση μόνο του νερού, θεωρήθηκε ότι αυτό θα παρευρίσκεται σε όλο το μήκος των ασυνεχειών (πληρωμένες 100%), υπέρ της ασφάλειας. Εξάλλου, η θεώρηση αυτή βρίσκεται πολύ κοντά με στην πραγματικότητα, κατά την υγρή περίοδο του έτους, όταν οι βροχοπτώσεις είναι αυξημένες και στο δευτερογενές πορώδες κυκλοφορεί το νερό. Η εξωτερική φόρτιση από σεισμό αντιστοιχεί στον συντελεστή σεισμικής επιτάχυνσης της περιοχής (α=0.16). Επίσης η ανάλυση θα πραγματοποιηθεί και για κάθε ένα πρανές ξεχωριστά (1°, 2° και 3°) λόγω αναβαθμών, του αριστερού πρανούς. Τα στοιχεία τους καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	TIMH	
	1°	79 m
Μήκη πρανών	2°	35.4 m
	3°	13.9 m
	1°	11.23 m
Ύψη πρανών 1	2°	10 m
	3°	10.59m
Κλίση πρανών	72°	
Συνοχή (c)	0.1 MPa	
Γωνία Τριβής (φ)	25°	

Πίνακας 5.3.18 Στοιχεία πρανών λόγω αναβαθμών, του αριστερού πρανούς του στομίου εισόδου

Η ανάλυση ευστάθειας για τις σφηνοειδείς αστοχίες στο αριστερό (δυτικό) πρανές του στομίου εισόδου, πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα Swedge της Rocscience. Στα δύο πρώτα πρανή (1° & 2°) επιλέχθηκε η εντολή «bench width» πλάτους 4m, καθώς η επιφάνεια αμέσως πάνω από αυτά, αποτελεί «πατάρι» μήκους 4m. Για το τρίτο πρανές (3°), δηλαδή αυτό που απαντάται στο μεγαλύτερο υψόμετρο, επιλέχθηκε ως «Upper face» κλίσης 28°, το φυσικό πρανές στα ανάντη, αμέσως πάνω από το πρανές εκσκαφής. Επίσης, στην περίπτωση επίδρασης μόνο του νερού, υπέρ της ασφάλειας έγινε η παραδοχή, ότι το νερό έχει πληρώσει εντελώς τις εν λόγω ασυνέχειες (Filled Fissures) με Hu=1.

	F						
ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ	1° πρανές		2° πρανές		3° πρανές		
	Με σεισμό	Με νερό	Με σεισμό	Με νερό	Με σεισμό	Με νερό	
J1(80°/065°) - J3(77°/195°)	22.8	4.67	25.6	5.24	24.2	4.95	

Πίνακας 5.3.19 Συντελεστές ασφαλείας που προέκυψαν από την ανάλυση για τις διακλάσεις των οικογενειών J1-J3

Στόμιο Εισόδου – Δεξί (ανατολικό) πρανές μήμα Γεωλογίας

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Α.Π.Θ

5.3.2.2

Για να αστοχήσει με επίπεδη ολίσθηση ένα πρανές, θα πρέπει η γωνία κλίσης αυτού (φ_π) να είναι μεγαλύτερη της γωνίας κλίσης της ασυνέχειας (φ_α) και οι δύο μεγαλύτερες από την γωνία τριβής (φ) της ασυνέχειας. Συνεπώς, θα διεξαχθεί ανάλυση ευστάθειας ως προς επίπεδη ολίσθηση, με το λογισμικό RocPlane της Rocscience, για τη στρώση (B) που πληροί τα κριτήρια. Τα στοιχεία του πρανούς καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	TIMH
Μήκος πρανούς	15.6 m
Ύψος πρανούς	9.17 m
Κλίση πρανούς	63°
Συνοχή (c)	0.1 MPa
Γωνία Τριβής (φ)	25°

Πίνακας 5.3.20 Στοιχεία πρανούς, του δεξιού πρανούς του στομίου εισόδου

ΑΣΤΟΧΙΑ		I	7
ALIUAIA	AZYNEXEIEZ	Με σεισμό Με νερό	
ΕΠΙΠΕΔΗ	Στρώση Β (16°/321°)	4.03	4.99

Πίνακας 5.3.21 Συντελεστές ασφαλείας που προέκυψαν από την ανάλυση για τις αστοχίες στο δεξί πρανές του στομίου εισόδου

5.3.2.3 Στόμιο Εξόδου – Δεξί (ανατολικό) πρανές

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	TIMH
Μήκος πρανούς	17.3 m
Ύψος πρανούς	11.23 m
Κλίση πρανούς	63°
Συνοχή (c)	0.1 MPa
Γωνία Τριβής (φ)	25°

Πίνακας 5.3.22 Στοιχεία πρανούς, του δεξιού πρανούς του στομίου εξόδου

ΑΣΤΟΥΙΑ	ATVNEVELET	F		
ALIUAIA	AZ I NEAEIEZ	Με σεισμό Με νερ		
ΕΠΙΠΕΔΗ	J3 (45°/236°)	3.83	3.83	
ΣΦΗΝΟΕΙΔΗΣ	J2(79°/113°) – J3(45°/236°)	15.52	0	

Πίνακας 5.3.23 Συντελεστές ασφαλείας που προέκυψαν από την ανάλυση για τις αστοχίες στο δεξί πρανές του στομίου εξόδου

Όλοι οι συντελεστές ασφαλείας των παραπάνω αναλύσεων, έχουν τιμή μεγαλύτερη της ελάχιστης απαιτούμενης (F=1.1), επομένως τα τεμάχη κρίνεται ότι ευσταθούν χωρίς την τοποθέτηση μέτρων αντιστήριξης. Εξαίρεση αποτελεί μόνο ο συντελεστής ασφαλείας (F=0) του της σφήνας του δεξιού πρανούς του στομίου εξόδου, ο οποίος είναι μικρότερος του αποδεκτού ορίου και συνεπώς κρίνεται αναγκαία η τοποθέτηση κατάλληλων μέτρων (π.χ. αγκύρια κατάλληλου μήκους, κλίσης και αντοχής, σε συγκεκριμένη θέση και ορισμένο κάνναβο, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μόνο στα προσωρινά πρανή, κ.λπ.) για την συγκράτηση των τεμαχών που αστοχούν και με εφαρμογή τέτοιας δύναμης ώστε ο συντελεστής ασφαλείας να επέλθει στα αποδεκτά επίπεδα.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

ΒΙβλιοθήκη ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΜΕΤΡΑ ΑΜΕΣΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

6.1. ГЕNIKA

Σκοπός της άμεσης υποστήριξης είναι να «ελεγχθούν» οι παραμορφώσεις περιμετρικά της σήραγγας και να προληφθεί η χαλάρωση της βραχόμαζας που θα οδηγήσει σε αστοχία στη διατομή της σήραγγας (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007). Πέραν της εξασφάλισης της ευστάθειας του υπόγειου ανοίγματος, σημαντική είναι και η διατήρηση της ασφάλειας των εργαζομένων από καταπτώσεις (από παρουσίαση Γεωργίου, 2020). Με άλλα λόγια, στόχος της άμεσης υποστήριξης, είναι η ευστάθεια του μετώπου και του δακτυλίου της σήραγγας μέχρι την εφαρμογή των μέτρων της τελικής επένδυσης. Η εκσκαφή και η προσωρινή υποστήριξη της βραχόμαζας σε ένα υπόγειο έργο έχει το μεγαλύτερο κόστος από όλα τα συνοδά του έργα, όπως διακρίνεται στη ακόλουθη εικόνα.





Η «καμπύλη σύγκλισης – αποτόνωσης» (convergence-confinement curve) δίνει τη γενική εικόνα των μετακινήσεων στη βραχόμαζα λόγω εκσκαφής, αντιπροσωπεύοντας την πίεση που πρέπει να εξασκηθεί στο πέτρωμα σε διάφορες θέσεις κατά μήκος της σήραγγας, ώστε οι μετακινήσεις αυτές να αντισταθμιστούν.



Εικόνα 6.1.2 Καμπύλη σύγκλισης – αποτόνωσης μίας υπόγειας διάνοιξης και η γραμμή απόκρισης της υποστήριξης (τροποποιημένο από Pierpaolo, 2016 -από Vlachopoulos and Diederichs, 2009). Όπου: U_{R0} είναι η ακτινική μετατόπιση των τοιχωμάτων (σύγκλιση σήραγγας) στο σημείο κατά μήκος του άξονα της σήραγγας όπου εφαρμόζεται η υποστήριξη, uRmax είναι η τελική ακτινική μετατόπιση των τοιχωμάτων, σ_{Req} είναι η τελική ακτινική φόρτιση στην υποστήριξη.

Η καμπύλη αυτή ορίζεται κατά την μελέτη σχεδιασμού του υπόγειου έργου και αναφέρεται στη μεθοδολογία σχεδιασμού της σήραγγας ως «μέθοδος παρατήρησης» (observational method of design). Άλλες μέθοδοι σχεδιασμού των υπόγειων έργων είναι:

- η εμπειρική μέθοδος (empirical method) που βασίζεται στα συστήματα ταξινόμησης της βραχόμαζας
- η αναλυτική μέθοδος (analytical method) που αποτελεί την πιο σύγχρονη και ακριβή μέθοδο, με την χρήση ειδικών λογισμικών

Στο στάδιο αυτό, δεν θα διενεργηθεί αριθμητική ανάλυση, καθώς δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσης εργασίας. Παρ' όλα αυτά, σύμφωνα με τον τρόπο συμπεριφοράς της βραχόμαζας που προέκυψε για κάθε Τεχνικογεωλογική Ενότητα κατά μήκος της σήραγγας, θα προταθούν οι κατηγορίες υποστήριξης της βραχόμαζας, με κυρίως ποιοτικές περιγραφές των μέτρων που κρίνονται κατά τη γράφουσα απαραίτητα, όπως και ο προτεινόμενος τρόπος εκσκαφής της σήραγγας.

Στην περίπτωση της σήραγγας «Πέτρα», οι αστοχίες που πρέπει να αποφευχθούν από την τοποθέτηση μέτρων άμεσης υποστήριξης, είναι βαρυτικού τύπου, δηλαδή αυτές που προκαλούνται από την ύπαρξη τοπικών ασθενών επιπέδων ασυνεχειών με δυσμενή, ως προς το άνοιγμα της σήραγγας προσανατολισμό. Ειδικότερα, απαντάται:

 ολίσθηση τεμαχών κατά το επίπεδο των ασυνεχειών με τη δημιουργία σφηνών, το οποίο είναι σύνηθες στην παρούσα υγιή βραχόμαζα με κυρίαρχα επίπεδα ασυνεχειών. Οι σφήνες επίσης δύναται να αστοχούν και με ελεύθερη πτώση. Έτσι προκύπτει ο παρακάτω πίνακας, για το τμήμα εκείνο της σήραγγας που αστοχεί με σφήνες.

Συμπεοιφορά βραχόμαζας	Αστάθεια λόγω δομικών ασυνεχειών (σε χαμηλές -
Tohuchidoha hhavohadad	μέσες τάσεις)
	Περιορισμός χαλάρωσης και αποδιοργάνωσης της
Αρχες αντιμετωπισης	μάζας. Συγκράτηση διακριτών ασταθών τεμαχών
Σχεδιασμός	Ανάλυση σφηνών*

*Για την ανάλυση σφηνών, χρησιμοποιείται το λογισμικό Unwedge της Rocscience. Επίσης ορίζεται η αναγκαία υποστήριξη ώστε ο συντελεστής ασφαλείας να βρεθεί στα αποδεκτά επίπεδα (από παρουσίαση Τεχνική Γεωλογία).

Πίνακας 6.1.1 Αρχές αντιμετώπισης και σχεδιασμός σε βραχόμαζα που αστοχεί με σφήνες

2. κατάπτωση τύπου καμινάδας, κυρίως στη θέση του στομίου εξόδου

Από την άλλη, τασικές αστοχίες δεν αναμένονται, λόγω παρουσίας χαμηλών υπερκείμενων και ικανοποιητικής ποιότητας βραχόμαζας.

6.2. ΤΕΛΙΚΕΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΕΤΡΩΝ ΑΜΕΣΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

6.2.1. Αγκύρια/Ηλοι

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Σύμφωνα με τον EC-7 παράγραφος 2.8, ο συντελεστής ασφαλείας των αγκυρίων για φορτίο λειτουργίας είναι S.F=1.5. Ο αριθμός των αγκυρίων που απαιτούνται για την συγκράτηση των νεκρών φορτίων των βραχοτεμαχών υπολογίζεται από τη σχέση:

$$N_{\eta\lambda\omega\nu} = FS \times \frac{W \times g}{Pult}$$

Όπου FS είναι ο συντελεστής ασφαλείας, W το νεκρό βάρος της σφήνας, g η επιτάχυνση της βαρύτητας και P_{ult} το συνολικό φορτίο του αγκυρίου. Σε περίπτωση πλήρους πάκτωσης αγκύρια το μήκος ενσωμάτωσής τους στην «σταθερή» βραχόμαζα πρέπει να είναι τουλάχιστον 1m (Li, 2017).



Εικόνα 6.2.1.1 Απλή σχηματική αναπαράσταση την εφαρμογής των αγκυρίων σε σφήνα, σε διατομή σήραγγας

Ακολούθως θα αναλυθεί για κάθε μία ενότητα, οι απαιτήσεις της σε αγκύρια κατά την κρίση της γράφουσας, σύμφωνα με τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις προηγηθείσες αναλύσεις στην παρούσα εργασία αλλά και με βάση τις πρότυπες διατομές προσωρινής υποστήριξης σηράγγων ανά κατηγορία συμπεριφοράς βραχόμαζας (Μαρίνος Β., 2007).

ΔΙΑΤΟΜΗ ΤΕ-Β

Όπως προέκειψε από το TBC, στην συγκεκριμένη ενότητα αναμένονται σφηνοειδείς αποκολλήσεις. Οι σχηματιζόμενες σφήνες σύμφωνα με το πρόγραμμα UnWedge (Rocscience) είναι μικρού όγκου και βάρους, επομένως δεν είναι σκόπιμο να τοποθετηθούν σημειακά αγκύρια για την συγκράτηση μεμονωμένων σφηνών. Προέκυψε από υπολογισμούς, σύμφωνα με τον τύπο υπολογισμού του αριθμού των ήλων, ότι ακόμη και ένα αγκύριο με το μικρότερο δυνατό φορτίο θραύσης σε εφελκυσμό, είναι υπέρ-αρκετό και ούτε καν αναγκαίο για την σημειακή συγκράτηση των μικρών αυτών σφηνών στη διατομή. Το οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, κρίνεται ότι θα μπορούσε να αποτρέψει αυτές τις σφηνοειδείς αστοχίες. Παρ' όλα αυτά, προτείνεται η εφαρμογή αγκυρίων, για την υποστήριξη του κελύφους, σε όλη την έκταση της εν λόγω ενότητας, σε αραιό κάνναβο (π.χ. 3×3m). Θα πρέπει να υπολογιστεί, με βάση τις διαστάσεις και τον όγκο των σφηνών, ο κατάλληλος κάνναβος, η φέρουσα ικανότητα και το μήκος των αγκυρίων.

Στην περίπτωση αυτή προτείνονται αγκύρια τα οποία θα συγκρατήσουν άμεσα κάθε δυνητική σφήνα, δηλαδή μηχανικής πάκτωσης αγκύρια, ενεργητικού τύπου. Επίσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και παθητικά αγκύρια τριβής, τύπου splitset, τα οποία έχουν ιδιότητες αρκετά κοντά στα ενεργητικά αγκύρια, μιας και η απόκρισή τους είναι άμεση.

ΔΙΑΤΟΜΗ ΤΕ-Α

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

μήμα Γεωλογίας

Όπως προέκυψε από το TBC, η διατομή στην εξεταζόμενη κατηγορία πετρώματος, αναμένεται ευσταθής και τοπικά μόνο μπορεί να εμφανίζονται σφήνες. Σύμφωνα με το Unwedge, για την διατομή 635 στην XO 12+927 έως 12+932, ισχύουν τα ίδια συμπεράσματα με παραπάνω και προτείνονται τα ίδια, αναφορικά με τα αγκύρια.

ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΟΜΙΟΥ ΕΞΟΔΟΥ

Σύμφωνα με το TBC, ο τρόπος αστοχίας της βραχόμαζας στο στόμιο εξόδου, αναμένεται να είναι καταπτώσεις τύπου καμινάδας και σφηνοειδείς ολισθήσεις ή αποκολλήσεις. Κατά το Unwedge, η σφήνα με το μεγαλύτερο βάρος είναι αυτή των W_w=0.803kN και όγκο V=0.024m³, η οποία τιμή είναι εξαιρετικά μικρή ώστε να απαιτείται χρήση σημειακών αγκυρίων για την συγκράτηση αυτής και των μικρότερών της. Όπως προέκυψε και στους υπολογισμούς για σφήνα μεγαλύτερου (της παρούσης) βάρους, δεν κρίνεται σκόπιμη η εφαρμογή δύναμης από σημειακά αγκύρια για τη συγκράτηση μεμονωμένων τεμαχών. Αρκεί λοιπόν, η χρήση οπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος για τη συγκράτησή τους. Παρ' όλα αυτά, λόγω του γεγονότος ότι αποτελεί θέση στομίου (αρκετά κερματισμένη και χαλαρωμένη βραχόμαζα), προτείνονται αγκύρια περιμετρικά για την υποστήριζη του κελύφους, σε όλη την έκταση της εν λόγω ενότητας, σε πυκνότερο κάνναβο (π.χ. 1.5×1.5m) και με μήκος ανάλογα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών. Κατάλληλα αγκύρια τοποθετούνται οπωσδήποτε και για την στήριξη των πλαισίων. Πιθανόν να απαιτηθεί η τοποθέτηση ορισμένων παθητικών αγκυρίων (π.γ. split-set), στην θέση του συνιζηματογενούς ρήγματος, προκειμένου να αναλάβουν άμεσα τα φορτία σε περίπτωση μικρό-μετακινήσεων.

ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΟΜΙΟΥ ΕΙΣΟΔΟΥ

Τέλος, στη διατομή του στομίου εισόδου, μεγαλύτερου όγκου σφήνα χαρακτηρίζεται από V=0.256 m³ και βάρος W_w=6.769kN. Όπως και στις υπόλοιπες διατομές, προκύπτει ότι δεν απαιτείται σημειακό αγκύριο για την συγκράτηση αυτής και των μικρότερών της. Η χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος με οπλισμό θα συγκρατήσει τις εν λόγω σφήνες, περιμετρικά της εκσκαφής. Παρ' όλα αυτά, κατάλληλα αγκύρια προτείνονται όπως και για το στόμιο εξόδου, σε όλη την έκτασή της για γενικότερη υποστήριξη του κελύφους. Επίσης το μεταλλικό πλέγμα, τα χαλύβδινα πλαίσια και οι βαριοί δοκοί προπορείας θα αποτρέψουν τυχόν αστοχίες σφηνοειδών αποκολλήσεων και ολισθήσεων και καταπτώσεις τύπου καμινάδας που προέκυψαν στο TBC για την εν λόγω ενότητα.

Συμπερασματικά, δεν κρίνεται απαραίτητη η τοποθέτηση αγκυρίων βράχου ειδικά για τις μεμονωμένες σφήνες που προκύπτουν, αλλά κάνναβος αγκυρίων αραιότερος για τις ενότητες του υπογείου και πυκνότερος για τις ενότητες των στομίων, σε όλο δηλαδή το σώμα της σήραγγας.

6.2.2. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και οπλισμός

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Από τη γράφουσα, προτείνεται η τοποθέτηση ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος C20/25, κατά μήκος όλης της σήραγγας Σ2N («Πέτρα»), με εκτόξευσή του αμέσως μετά την εκσκαφή, ανά βήμα εκσκαφής, έπειτα στρώση του στατικώς εκτοξευόμενου σκυροδέματος και τέλος στατικώς απαιτούμενο σκυρόδεμα πάνω από το μεταλλικό πλέγμα, τα πλαίσια και τα αγκύρια, για την πλήρη κάλυψη της διατομής. Στις θέσεις πτωχότερης ποιότητας βραχόμαζας, το πάχος της στρώσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος δύναται να αυξηθεί αναλόγως.

Αξίζει να αναφερθεί ότι το σκυρόδεμα C20/25, αντιστοιχεί σε αντοχή σε θλίψη 20MPa, με αδρανή διαμέτρου 25cm και η αντοχή του σε εφελκυσμό είναι 2MPa. Βρίσκει εφαρμογή στις σήραγγες και λήφθηκε υπόψη η χρήση του επίσης και στην σήραγγα Σ1, στο ίδιο γεωυλικό, με παρόμοια ποιότητα βραχόμαζας.

Για να βρεθεί η αντοχή του σκυροδέματος σε διάτμηση, η οποία και εφαρμόζεται στο πρόγραμμα Unwedge (ως ιδιότητα του σκυροδέματος), γνωρίζοντας ότι η αντοχή σε θλίψη είναι 20MPa, θα χρησιμοποιηθεί η παρακάτω σχέση:

Shear strength = $0.28 f_c^{0.6} - 0.11$

Όπου f_c είναι η αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος. Προκύπτει τελικά ότι η διατμητική αντοχή του είναι 1.58MPa





Δίνεται παράδειγμα εφαρμογής εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε διατομή της TE-B, πάχους 5cm, διατμητικής αντοχής 1.58MPa και ειδικού βάρους 0.026 MN/m³. Ομοίως εφαρμόζεται και στις υπόλοιπες διατομές, με εξαίρεση αυτές των στομίων που το πάχος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος θα είναι μεγαλύτερο.





Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete
Number of Shotcrete Layers on Perimeter: 1
Perimeter Shotcrete Layer 1
Shotcrete Property: Shotcrete Property 1
Summary of Perimeter Support Pressure
No Support Pressure on Perimeter
Summary of Perimeter Bolt Patterns
No Bolt Patterns on Perimeter
Summary of End Bolt Patterns
No Bolt Pattern on Ends
Summary of End Shotcrete
No Support Pressure on Ends

Εικόνα6.2.2.1 Παράδειγμα εφαρμογής εκτοξευόμενου σκυροδέματος στη διατομή της ΤΕ-Β της σήραγγας «Πέτρα»

Στη σήραγγα Σ2Ν («Πέτρα») κρίνεται επίσης ορθή η τοποθέτηση μεταλλικού πλέγματος μίας (1) στρώσης κατά μήκος όλης της σήραγγας για οπλισμό του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Εάν απαιτηθεί, κυρίως στις θέσεις των στομίων, θα μπορούσαν να τοποθετηθούν και δύο (2) στρώσεις μεταλλικού πλέγματος.

Το μέτωπο του πρανούς θα καλύπτεται με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (π.χ. ~5cm) για την αποφυγή καταπτώσεων επισφαλών τεμαχών. Επίσης οι επιφάνειες στις θέσεις των στομίων εισόδου και εξόδου της σήραγγας (εξωτερικά της σήραγγας και γύρω από τα στόμια) θα καλύπτονται με σκυρόδεμα για λόγους ευστάθειας και ασφάλειας.



Εικόνα 6.2.2.2 Με κόκκινο βέλος υποδεικνύεται το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα περιμετρικά του στομίου εισόδου της σήραγγας Σ1 του Κάθετου άξονα της Εγνατίας Οδού «Ξάνθη-Εχίνος-Ελληνοβουλγαρικά σύνορα» (άσκηση υπαίθρου ΠΜΣ «Τεχνική Γεωλογία και Περιβάλλον», 2018)

Για την περίπτωση της σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα»), προτείνεται η χρήση «ελαφριού τύπου» μεταλλικών πλαισίων (π.χ. τύπου HEB), στις περιοχές των στομίων εισόδου και εξόδου, όπου η ποιότητα της βραχόμαζας είναι απομειωμένη (αποσάθρωση και κερματισμός). Επίσης στις θέσεις των στομίων είναι αναγκαία και για την στήριξη των δοκών προπορείας, όπως προαναφέρθηκε. Μία αδρή εκτίμηση της απόστασης μεταξύ των πλαισίων στις θέσεις των στομίων, σύμφωνα με την αποκτηθείσα εμπειρία στην σήραγγα Σ1, είναι αυτή ανά βήμα προχώρησης του θόλου της σήραγγας. Στην ενότητα Β του υπογείου, λόγω του εντονότερου κερματισμού (μηχανισμός αστοχίας: σφήνες), προτείνονται επίσης ελαφριά πλαίσια, ενώ στην ενότητα Α του υπογείου οι συνθήκες είναι πιο ικανοποιητικές (St-Wg) και δεν προτείνεται τοποθέτηση πλαισίων.

6.2.4. Δοκοί προπορείας

6.2.3. Μεταλλικά πλαίσια

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

ύἡμα Γεωλογίας Α.Π.Θ

Απαιτείται ισχυρότερη υποστήριξη στις θέσεις των στομίων εισόδου και εξόδου, συγκριτικά με την υπόλοιπη χάραξη, καθώς η βραχόμαζα αναμένεται χαλαρωμένη λόγω των χαμηλών υπερκείμενων και επηρεασμένη από τις επιφανειακές συνθήκες. Προτείνεται επομένως η τοποθέτηση «βαριών» δοκών προπορείας (Forepole umbrella). Επίσης, λόγω του γεγονότος ότι δεν υπάρχει ανάγκη για ισχυρή υποστήριξη της βραχόμαζας πέραν των ενοτήτων των στομίων (εντός του σώματος της σήραγγας), οι δοκοί προπορείας δεν θα αλληλεπικαλυφθούν και συνεπώς μπορούν να τοποθετηθούν σε οριζόντια διάταξη (απουσία κλίσης). Αυτό, πρόκειται να είναι συμφέρον οικονομικά, καθώς απαιτείται ειδικός εξοπλισμός για την διάτρηση οπών υπό κλίση.

6.2.5. Αποστραγγιστικές οπές

Για την παρούσα περίπτωση της σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα»), αποστραγγιστικές οπές προτείνονται οπωσδήποτε στις θέσεις των στομίων καθώς η βραχόμαζα αναμένεται με παρουσία μεγαλύτερου δευτερογενούς πορώδους και επομένως

αυξημένη περατότητα. Ειδικότερα στην θέση του ρήγματος στο στόμιο εξόδου, αναμένονται μικρό-ροές (εισροές) ιδιαίτερα την υγρή περίοδο του υδρολογικού έτους. Απαιτείται επομένως καλή αποστράγγιση, αναλόγως των συνθηκών υπόγειων υδάτων, καθώς η παρουσία νερού διευκολύνει τις βαρυτικές αστάθειες τύπου καμινάδας και τις σφηνοειδείς αστογίες που εκτιμώνται για τις εν λόγω ενότητες. Οι συνθήκες στην ΤΕ-Α επειδή αναμένονται ξηρές, με κλειστές ασυνέχειες στο υπόγειο, το συνεκτικό πέτρωμα αν και έχει μικρή περατότητα δεν μπορεί να δημιουργήσει υποπιέσεις και επομένως δεν κρίνεται απαραίτητη η κατασκευή εκεί, ανακουφιστικών οπών. Στην ΤΕ-Β επίσης οι συνθήκες αναμένονται ξηρές, αλλά λόγω του αυξημένου δευτερογενούς πορώδους σε σχέση με την Α, είναι πιθανότερο να απαιτηθούν αποστραγγιστικές οπές. Σε κάθε περίπτωση, αν παρατηρηθούν εφιδρώσεις ή κατεισδύονται ύδατα στο κέλυφος της άμεσης υποστήριξης, πρέπει να εφαρμόζεται κατάλληλη διάταξη ανακουφιστικών ή/και αποστραγγιστικών οπών. Από τον ΕΛΟΤ (2009) προτείνεται διάτρηση οπών 1τεμ/4m² μικρού βάθους, για την εκτόνωση των πιέσεων του νερού. Στην περίπτωση παρουσίας επικρεμάμενου υδροφορέα, θα πρέπει να γίνεται γνωστό το βάθος του ώστε να διαπιστώνεται ενδεχόμενη επιπλέον πίεση στην οροφή της σήραγγας.

6.2.6. Βήμα εκσκαφής

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Το βήμα εκσκαφής, όταν η βραχόμαζα είναι συνεκτική και αδιατάρακτη, θα καθοριστεί από το αναμενόμενο μέγεθος των σφηνών, ενώ όταν είναι διαταραγμένη χωρίς προβλήματα παραμορφώσεων, θα καθοριστεί από το μέγεθος των σφηνών και από την ανάγκη για αποφυγή χαλάρωσης της βραχόμαζας (μετάφραση από Μαρίνος B, 2014). Έτσι λοιπόν ως βήμα εκσκαφής ορίζεται εκείνο το μέγεθος που είναι ίσο και μικρότερο του μήκους της σφήνας που δύναται να αστοχήσει εντός της σήραγγας.

Από τις διατομές κατά μήκος της σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα») που εξετάστηκαν, προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι δημιουργούμενες σφήνες είναι πολύ μικρού μεγέθους. Επίσης, οι διακλάσεις που σχηματίζουν σχετικά πιο αξιόλογες σφήνες έχουν εμμονή περίπου 1.5-2m στην περίπτωση των ΤΕ-Α και ΤΕ-Β, στο στόμιο εισόδου 1-2m και στο στόμιο εξόδου 0.5-1m. Αυτό δείχνει γενικά ότι το βήμα εκσκαφής στις ενότητες αυτές δεν θα πρέπει να ξεπερνά τις τιμές που αναφέρθηκαν. Παρόλαυτα, λόγω του ότι οι σχηματιζόμενες σφήνες είναι μικρού όγκου, δεν αποτελούν σημαντική απειλή για το τεχνικό, τόσο ώστε να απαιτηθεί πολύ μικρό βήμα προχώρησης. Αντίθετα, δύναται είτε να αφαιρεθούν με το ξεσκάρωμα, είτε να συγκρατηθούν άμεσα από το οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Λαμβάνοντας υπόψη και το βήμα προχώρησης στην σήραγγα Σ1 που προηγήθηκε κατασκευής στο ίδιο γεωυλικό, ισχύει ότι για τις θέσεις των στομίων με GSI=47-57 προτάθηκε στη μελέτη βήμα εκσκαφής A' φάσης 1.5-2m και B' φάσης 4-6m, ενώ για το υπόλοιπο σώμα της σήραγγας με GSI=65-75, προτάθηκε βήμα εκσκαφής A' φάσης 2-3m και B' φάσης 3-4m. Ορίζονται λοιπόν ως μέσο βήμα προχώρησης για την Σ2N («Πέτρα») τιμές του πίνακα ανάλογα την τεχνικογεωλογική ενότητα.

ТЕ	Βήμα εκσκαφής Α' φάσης	Τρόπος εκσκαφής	
TE-H	1.2 m	Δύσκολα με μηχανικά μέσα και πιθανή χρήση	
TE-G	1-2 111	εκρηκτικών κατά 15% και εκρηκτικά κατά 85%	
TE-B	2-2.5 m	Varian acconcerción	
TE-A	2-3 m	- Δρηση εκρηκτικών	

Πίνακας 6.2.1 Προτεινόμενο μέσο βήμα προχώρησης και τρόπος εκσκαφής ανά Τεχνικογεωλογική Ενότητα

Οι παρακάτω τελικές προτεινόμενες κατηγορίες υποστήριξης βραχόμαζας βασίζονται τόσο στην εμπειρία που αποκτήθηκε από την κατασκευή της προηγηθείσας σήραγγας Σ1στο ίδιο γεωυλικό όσο και σε βιβλιογραφικά στοιχεία, με γνώμονα φυσικά τη γεωλογική λογική.

TE	Κατηγορία υποστήριξης	Οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	Αγκύρια βράχου	Μεταλλικά πλαίσια	Δοκοί προπορείας	Αποστραγγιστικές οπές
Н	IV	✓	\checkmark	✓	✓	\checkmark
G	III	✓	\checkmark	✓	✓	\checkmark
В	II	✓	\checkmark	✓		*
Α	Ι	\checkmark	\checkmark			*

*αναλόγως των συνθηκών υπόγειων υδάτων

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

** σε κάθε βήμα εκσκαφής προτείνεται εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος μικρού πάχους (π.χ. ~5cm), για τη συγκράτηση τυχόν επισφαλών μικροτεμαχών (υπέρ της ασφάλειας)

Πίνακας 6.2.2 Συνοπτικός πίνακας με τις τελικές προτεινόμενες κατηγορίες μέτρων υποστήριξης της βραχόμαζας

Αναλυτικότερα, προτείνονται τα ακόλουθα:

No.	Ψηφιακή συλλα Βιβλιοθή	ογή Κ η	~"	
Συνθήκες Πετρώματος			-	Μολάσσα Ροδόπης > Ιγκνιμβρίτης > Ηφαιστειακοί Τόφφοι με ενστρώσεις Ηφαιστειακών Λατυποπαγών
ТЕ	Τύπος βραχόμαζας	Δομή	GSI	Προτάσεις μέτρων υποστήριζης
TE-A	Άρρηκτα τεμάχη με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη μεταξύ τους απόσταση		74-84	 <u>Μέθοδος εκσκαφής:</u> «heading and bench method», A&B φάση, με ανατινάξεις (πιθανώς δυνατότητα για ολομέτωπη διάνοιξη) <u>Βήμα εκσκαφής:</u> Α'φάση 2-3m Οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα περιορισμένου πάχους περιμετρικά της εκσκαφής (άμεση τοποθέτηση για συγκράτηση μικροτεμαχών λόγω διαταραχής από την εκσκαφή) Αραιός κάνναβος αγκυρίων περιμετρικά της εκσκαφής σε κατάλληλο κάνναβο, μήκος και φέρουσα ικανότητα (ανάλογα τον όγκο και τις διαστάσεις των σφηνών) Αποστραγγιστικές οπές αναλόγως των συνθηκών υπόγειων υδάτων
TE-B	Αδιατάρακτη βραχόμαζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχη οριζόμενα από τρείς ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών		60-70	 Μέθοδος εκσκαφής: «heading and bench method», A&B φάση, με ανατινάξεις <u>Βήμα εκσκαφής:</u> A' φάση 2-2.5m Ελαφριά μεταλλικά πλαίσια (π.χ. HEB) για την ενίσχυση της αντοχής και ακαμψίας του κελύφους υποστήριξης Οπλισμένο Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ικανού πάχους περιμετρικά της εκσκαφής (άμεση τοποθέτηση για συγκράτηση μικροτεμαχών λόγω διαταραχής από την εκσκαφή) Αραιός κάνναβος αγκυρίων (π.χ. ενεργητικά για άμεση επέμβαση) περιμετρικά της εκσκαφής (με κάνναβο, μήκος και φέρουσα ικανότητα, αναλόγως την ανάλυση σφηνών)
TE-G	Μερικώς διαταραγμένη βραχόμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχη που σχηματίζονται από τέσσερεις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών έως και διαταραγμένη- στρωματώδης βραχόμαζα		28-38	 Μέθοδος εκσκαφής: «heading and bench method», A&B φάση, με μηχανικά μέσα <u>Βήμα εκσκαφής</u>: Α'φάση1-2m Βαριοί δοκοί προπορείας Ελαφριά μεταλλικά πλαίσια (π.χ. ΗΕΒ) για την ενίσχυση της αντοχής και ακαμψίας του κελύφους υποστήριξης και στήριξη των δοκών προπορείας Οπλισμένο Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ικανού πάχους περιμετρικά της εκσκαφής(άμεση τοποθέτηση για συγκράτηση μικροτεμαχών λόγω διαταραχής από την εκσκαφή) Πυκνός κάνναβος αγκυρίων (π.χ. ενεργητικά για άμεση επέμβαση) ικανού μήκους περιμετρικά της εκσκαφής (ανάλογα τα χαρ/κα των ασυνεχειών) Αποστραγγιστικές οπές
TE-H	Διαταραγμένη- στρωματώδης βραχόμαζα με γωνιώδη τεμάχη που σχηματίζονται από αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας		20-30	 Μέθοδος εκσκαφής: «heading and bench method», A&B φάση, με μηχανικά μέσα <u>Βήμα εκσκαφής</u>: A'φάση1-2m Βαριοί δοκοί προπορείας Ελαφριά μεταλλικά πλαίσια (π.χ. HEB) για την ενίσχυση της αντοχής και ακαμψίας του κελύφους υποστήριξης και στήριξη των δοκών προπορείας Πυκνός κάνναβος αγκυρίων (π.χ. ενεργητικά για άμεση επέμβαση) ικανού μήκους περιμετρικά της εκσκαφής (ανάλογα τα χαρ/κα των ασυνεχειών) Παθητικά αγκύρια στην θέση του ρήγματος, ώστε να λάβουν τα φορτία σε περίπτωση μετακινήσεων Οπλισμένο Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ικανού πάχους περιμετρικά της εκσκαφής (άμεση τοποθέτηση για συγκράτηση μικροτεμαχών λόγω διαταραχής από την εκσκαφή)

* Τα βήματα της άνω και κάτω ημιδιατομής είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Η εκσκαφή της άνω

ημιδιατομής γίνεται μπροστά από την κάτω ημιδιατομή

** σε κάθε βήμα εκσκαφής προτείνεται εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος μικρού πάχους στο μέτωπο (π.χ. ~5cm), για τη συγκράτηση τυχόν επισφαλών μικροτεμαχών (υπέρ της ασφάλειας)

Πίνακας 6.2.3 Αναλυτικός πίνακας με τις τελικές προτεινόμενες κατηγορίες μέτρων υποστήριξης της βραχόμαζας

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Ακολουθεί τυπική διατομή με τα μέτρα υποστήριξης για την θέση του στομίου εισόδου, σχεδιασμένη στο AutoCAD και βασισμένη στα μέτρα υποστήριξης που προτάθηκαν για την κατηγορία υποστήριξης C της σήραγγας Σ1, στο ίδιο γεωυλικό, παρόμοιας ποιότητας (Αλεξιάδου, 2014).



Εικόνα 6.2.6.1 Τυπική διατομή με τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης για την θέση του στομίου εισόδου (τροποποιημένο από Αλεξιάδου, 2014)

Παρακάτω προβάλλεται η λεπτομέρεια της διατομής των μέτρων άμεσης υποστήριξης με απεικόνιση του ενδεικτικού πάχους της τελικής επένδυσης, τα σχετικά πάχη των μέτρων άμεσης υποστήριξης και την σειρά εφαρμογής τους. Όπου η γραμμή 'B' αναφέρεται στην γραμμή του τόξου εφαρμογής των δοκών προπορείας και η γραμμή 'A' στην γραμμή εκσκαφής, με μηχανικά μέσα ή εκρηκτικά.





Ενδεικτική απεικόνιση της κατά μήκος ανάπτυξης της εκσκαφής στο στόμιο εισόδου και της άμεσης υποστήριξης που προτάθηκε να εφαρμοστεί στην συγκεκριμένη ενότητα.



Εικόνα 6.2.6.3 Ενδεικτική απεικόνιση της κατά μήκος ανάπτυξης της εκσκαφής κοντά στο στόμιο εισόδου και της αντίστοιχης προτεινόμενης άμεσης υποστήριξης (τροποποιημένο από Αλεξιάδου, 2014)



Εικόνα 6.2.6.4 Τρισδιάστατη απεικόνιση των μέτρων προσωρινής υποστήριξης στη σήραγγα «Πέτρα», κατασκευασμένη στο AutoCAD. Δίνεται ενδεικτική απεικόνιση αυτών για κάθε Τεχνικογεωλογική ενότητα



Εικόνα 6.2.6.5 Τρισδιάστατη ενδεικτική απεικόνιση των μέτρων προσωρινής υποστήριξης στην ΤΕ-Η, κατασκευασμένη στο AutoCAD.



Εικόνα 6.2.6.6 Τρισδιάστατη ενδεικτική απεικόνιση των μέτρων προσωρινής υποστήριζης στην ΤΕ-G, κατασκευασμένη στο AutoCAD.



Εικόνα 6.2.6.7 Τρισδιάστατη ενδεικτική απεικόνιση των μέτρων προσωρινής υποστήριξης στην ΤΕ-Β, κατασκευασμένη στο AutoCAD.



Εικόνα 6.2.6.8 Τρισδιάστατη ενδεικτική απεικόνιση των μέτρων προσωρινής υποστήριξης στην ΤΕ-Α, κατασκευασμένη στο AutoCAD.

6.3. ΣΤΑΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

Η εφαρμογή των μέτρων άμεσης υποστήριξης, ακολουθεί συγκεκριμένη σειρά, η οποία σε γενικές γραμμές είναι η παρακάτω.

Α' ΦΑΣΗ (άνω ημιδιατομή)

- Τοποθέτηση δοκών προπορείας, αν απαιτούνται
- Προπαρασκευαστική στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος (π.χ. πάχους 3-5cm) τοποθετείται αμέσως μετά την εκσκαφή και την απομάκρυνση των επισφαλών όγκων
- 1^η στρώση στατικώς απαιτούμενου εκτοξευόμενου σκυροδέματος (π.χ. 3-4cm)
- Εάν απαιτείται, τοποθέτηση χαλύβδινου πλαισίου (π.χ. HEB 140) και συγκράτηση αυτού με τα ανάλογα αγκύρια, την πλάκα, τις αντηρίδες, κλπ
- Τοποθέτηση δομικού πλέγματος (π.χ. Τ131)
- Τοποθέτηση αγκυρίων τριβής (π.χ. τύπου split-set) αν απαιτούνται
- 2^η στρώση στατικώς απαιτούμενου εκτοξευόμενου σκυροδέματος (π.χ. 6-7cm)

- Σε δυσμενείς συνθήκες πιθανόν να απαιτηθεί επιπλέον στρώση στατικώς απαιτούμενου εκτοξευόμενου σκυροδέματος (π.χ. 5-7cm)
- Σε περίπτωση που είναι απαραίτητη η τοποθέτηση διπλού μεταλλικού πλέγματος, τοποθετείται στο στάδιο αυτό
- Τέλος, στρώση στατικώς απαιτούμενου εκτοξευόμενου σκυροδέματος (π.χ. 5-7cm) για τον εγκιβωτισμό του πλέγματος

Β' ΦΑΣΗ (βαθμίδα)

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

> Μετά την εκσκαφή και την απομάκρυνση των επισφαλών όγκων της Β' φάσης, τοποθετείται προπαρασκευαστική στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος (π.χ. πάχους 3-5cm). Τα βήματα είναι ίδια με της Α' φάσης.

Ανά βήμα εκσκαφής, για την αντιστήριξη του μετώπου, τοποθετείται στην επιφάνεια της άνω ημιδιατομής, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ορισμένου πάχους (π.χ. 5cm), όπου απαιτείται. Όλα τα παραπάνω είναι βασισμένα και τροποποιημένα για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, στην μελέτη (Αλεξιάδου, 2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΝΟΨΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό θα συνοψιστούν τα πιο βασικά στοιχεία της παρούσας εργασίας και θα επισημανθούν τα συμπεράσματα που προκύπτουν μέσα από την γεωλογική και τεχνικογεωλογική αξιολόγηση της βραχόμαζας της σήραγγας Σ2Ν («Πέτρα»), καταλήγοντας τελικά στον τρόπο συμπεριφοράς της κατά μήκος του υπογείου και στα πρανή εκατέρωθεν των στομίων αλλά και στα προτεινόμενα μέτρα άμεσης υποστήριξης.

Η σήραγγα αποτελεί πραγματικό παράδειγμα και η κατασκευή της ακόμη δεν έχει ξεκινήσει, με συνέπεια την αδυναμία αυτοψίας του έργου, γεγονός που αποτέλεσε πρόκληση στην συγκεκριμένη περίπτωση. Για την επίτευξη των στόχων της εργασίας αυτής, πραγματοποιήθηκε αρχικά επισκόπηση της βιβλιογραφίας αναφορικά με τα γεωλογικά και τεχνικογεωλογικά στοιχεία του σχηματισμού της περιοχής μελέτης. Έπειτα, επεξεργάστηκαν τα πραγματικά δεδομένα από τα μητρώα (εργαστηριακές και επιτόπου δοκιμές) και από τις τεχνικογεωλογικές αξιολογήσεις των πυρήνων γεωτρήσεων, ενώ κατασκευάστηκαν γεωλογικές και τεχνικογεωλογικές μηκοτομές και διατομές στο AutoCAD. Για την εκτίμηση της συμπεριφοράς της βραχόμαζας στο υπόγειο, έγινε χρήση του διαγράμματος TBC (Διάγραμμα Τεχνικογεωλογικής Συμπεριφοράς) και για της αξιολόγηση ως προς τις σφηνοειδείς αστοχίες κατά μήκος της σήραγγας, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Unwedge της Rocscience. Ακολούθως, μέσω του προγράμματος Dips της Rocscience, διεξάχθηκε κινηματική ανάλυση για τα πρανή των στομίων, ενώ στη συνέχεια, για τις επίπεδες αστοχίες που προέκυψαν χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό RocPlane και για τις σφηνοειδείς το Swedge, με στόχο την εξαγωγή του συντελεστή ασφαλείας για κάθε ένα δυνητικά αστοχούμενο τέμαχος.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Η υπό μελέτη σήραγγα «Πέτρα» (μήκους 170m) του Κάθετου Άξονα 70 της Εγνατίας Οδού «Ξάνθη-Εχίνος Ελληνοβουλγαρικά σύνορα», ανήκει στο υποτμήμα «Δημάρι-Σύνορα» του τμήματος «Μελοίβια - Σύνορα» και αποτελεί την τρίτη (3^η) σε σειρά σήραγγα του Κάθετου Άξονα. Κατασκευάζεται στο ορεινό ανάγλυφο της Δυτικής Ροδόπης, σε υψόμετρο 1040-1080m, παρευρισκόμενη στην Περιφερειακή Ενότητα Ξάνθης, κοντά στο χωριό του Δημαρίου και στην ομώνυμη βουνοκορφή «Πέτρα» (1024m).

Η σήραγγα θα διανοιχθεί εντός της λεκάνης «Θράκης/ Ροδόπης» η οποία αποτελείται μεταξύ άλλων από τη «Μολάσσα Ροδόπης». Η σήραγγα θα συναντήσει συγκεκριμένα τον σχηματισμό του «Ιγκνιμβρίτη» της «Μολάσσας Ροδόπης» ηφαιστειακής προέλευσης, ηλικίας Ηωκαίνου-Ολιγοκαίνου. Αυτός, απαρτίζεται στη στενή περιοχή μελέτης από εναλλαγές ηφαιστειακών τόφφων και ηφαιστειακών λατυποπαγών, με τους δεύτερους να βρίσκονται σε μορφή ενστρώσεων ή αποσφηνωμένων φακών εντός των πρώτων. Τα ηφαιστειακά λατυποπαγή αν και στη σήραγγα αξιολογήθηκαν με πάχος της τάξης των λίγων εκατοστών έως και 2.5m, τοπικά μπορεί να εμφανίζουν μεγαλύτερο πάχος (π.χ. 5m).

Η κλίση των στρωμάτων αντιστοιχεί στις ήπιες κλίσεις των Μεταλπικών σχηματισμών που στη στενή περιοχή κυμαίνονται από 11 έως 32°, με βύθιση περίπου προς τα βορειοδυτικά. Για τον λόγο αυτό, συμπεραίνεται ότι αν η διάνοιξη πραγματοποιηθεί από Βορρά προς Νότο, η επίδραση του προσανατολισμού της στρώσης (20-45°) στην κατασκευή της σήραγγας είναι κυρίως «ευνοϊκή» για την περίπτωση διεύθυνσης ασυνέχειας κάθετη στον άξονα της σήραγγας, κατά Wickham

et al (1972). Επίσης, στις θέσεις που η στρώση έχει κλίση 0-20°, η επίδραση του προσανατολισμού της στρώσης στην κατασκευή της σήραγγας είναι «μέτρια».

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Στην πράξη, διατρυπά περίπου σε διεύθυνση Βορρά-Νότου ένα αντέρεισμα το οποίο εκατέρωθεν διατρέχεται από (εποχιακά) ρέματα, ενώ η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα αναμένεται κατά πολύ χαμηλότερη από το δάπεδο της σήραγγας. Συνεπώς, διάνοιξη αναμένεται να πραγματοποιηθεί σε συνθήκες κυρίως ξηρές, ενδεχομένως με τοπικές μόνο υγρασίες (π.χ. σε ζώνες ρηγμάτων ή/και θέσεις περισσότερο κερματισμένης βραχόμαζας).

Σύμφωνα με το χάρτη ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας η περιοχή μελέτης ανήκει στην Ζώνη Ι και δεν εντοπίζονται σημαντικά ενεργά ρήγματα, παρά μόνο αυτό της «Ξάνθης-Καβάλας-Κομοτηνής» σε ακτίνα >25km και επομένως δεν αποτελεί σημαντική απειλή για το τεχνικό. Η δευτερογενής-συνιζηματογενής διάρρηξη που εντοπίστηκε κοντά στο στόμιο εξόδου της σήραγγας, με βύθιση προς BA-ABA και κλίση 59°, επηρεάζει μόνο σε μικρή έκταση το πέτρωμα και θεωρείται ανενεργή. Πέραν των παραπάνω, εντοπίζονται στον ιγκνιμβρίτη οικογένειες διακλάσεων (J) μήκους της τάξης μερικών δεκάδων εκατοστών έως και 1-2m και η βασική ασυνέχεια της στρώσης (B), με παρουσία κυρίως στους ηφαιστειακούς τόφφους και μεγάλη εμμονή και συνέχεια στο χώρο (πάχος 20-100cm).

Από την στατιστική επεξεργασία των τεχνικογεωλογικών παραμέτρων του σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη και από εμπειρικούς πίνακες, εξάχθηκαν αντιπροσωπευτικές τιμές για το πέτρωμα (άρρηκτο και αποσαθρωμένο) οι οποίες συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	TIMH	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	18	Άρρηκτου βράχου
	13	Αποσαθρωμένου ιγκνιμβρίτη
	61 MPa	Άρρηκτου βράχου (σ _{ci}) – Ισγυρό βραγώδες υλικό (ISRM.
Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (σ _c)		1981)
	33 MPa	Αποσαθρωμένου ιγκνιμβρίτη
	$2.02 \mathrm{MD}_{\mathrm{c}}$	Μέτρια αντοχή (Bieniawski,
Avtoxil of oilmenakil worthout $I_{s(50)}$	2.05 MPa	1975)
Αντοχή σε εφελκυσμό (σ _t)	5.26 MPa	-
Μότοο Ελαστικόστοσα	22.6 GPa	Άρρηκτου βράχου (E _i)
Μετρο Ελαστικοτητας	10.1 GPa	Αποσαθρωμένου ιγκνιμβρίτη
Πορώδες (n)	5.1%	-
Ειδικό βάρος (Gs)	0.027 t/m^3	-
Φαινόμενο βάρος (γ)	2.53 gr/cm^{3}	-

110	Βιβλιοθήκη		
"OF	DEPASTOS"		
VIEE.	Περατότητα (k) *	$10^{-9} - 10^{-5} \text{ m/s}$	Χαμηλή-Πολύ χαμηλή (Terzaghi&Peck, 1967)
X 2 M	Λόγος Poison (v)	0.16	-
ON NEWS	Συνοχή (c) **	0.316 MPa	Ιδιότητα Ασυνεχειών
	Γωνία τριβής (φ) **	33°	Ιδιότητα Ασυνεχειών

*Αυξημένη στις θέσεις των στομίων (χαμηλών υπερκειμένων), στη περιοχή του ρήγματος και γενικά οπουδήποτε η βραχόμαζα αυξάνει τον κερματισμό της.

Πίνακας 7.1 Συνοπτικός πίνακας τεχνικογεωλογικών παραμέτρων (εργαστηριακών και επιτόπου δοκιμών) του άρρηκτου σχηματισμού του ιγκνιμβρίτη

Οι Τεχνικογεωλογικές Ενότητες διακρίθηκαν πρώτα σύμφωνα με τον δείκτη γεωλογικής αντοχής-GSI (με χρήση του διαγράμματος για μολάσσα περιορισμένη σε βάθος) για τον σχηματισμό του ιγκνιμβρίτη της ευρύτερης περιοχής (όλης της παραλλαγής της χάραξης) και έπειτα εντοπίστηκαν στις πρώτες, αυτές που χαρακτηρίζουν και τη στενή (6 γεωτρήσεις γύρω από τη σήραγγα). Τα στόμια της σήραγγας αποτέλεσαν δύο επιμέρους ενότητες, αφού η αποσάθρωση απομειώνει την ποιότητα της μάζας του πετρώματος στις θέσεις αυτές (σ_{ci}, E_i, m_i, GSI). Επίσης λόγω της παρουσίας ρήγματος στο στόμιο εξόδου (TE-H), αυτό διαχωρίστηκε ως ενότητα από το στόμιο εισόδου (TE-G). Το σύνολο των ενοτήτων παρουσιάζονται στη συνέχεια, χαρακτηρισμένες και από επιπρόσθετες παραμέτρους. Οι ενότητες TE-A και TE-B αντιστοιχούν στο κυρίως σώμα της σήραγγας, με την TE-B να παρουσιάζει εντονότερο κερματισμό από την πρώτη.

TE	mi	σ _{ci}	Ei	Λιθολογία	Δομή	Ποιότητα Ασυνεχειών	GSI	RQD	Ποιότητα κατά RQD (Deree, 1967)	k (m/s)	Βαθμός αποσάθρωσης
		MPa	MPa								
н	13	33	10087	Ηφ. Τόφφος με ορίζοντες ή φακούς ηφ. Λατυποπαγών	Διαταραγμένη- Στρωματώδης/ Πτυχωμένη	Μέτρια έως Πολύ Πτωχή	20- 30	30-60	Μέτρια- Πολύ Πτωχή	Αυξημένη λόγω αύξησης 2° γενούς πορώδους	* ΙΙΙ έως V
G	13	33	10087	Ηφ. Τόφφος με ορίζοντες ή φακούς ηφ. Λατυποπαγών	Πολύ Τεμαχώδης έως Διαταραγμένη- Στρωματώδης/ Πτυχωμένη	Μέτρια έως Πολύ Πτωχή	28- 38	45-70	Μέτρια- Πολύ Πτωχή	Αυξημένη λόγω αύξησης 2° γενούς πορώδους	* ΙΙΙ έως V
В	18	61	22617	Ηφ. Τόφφος με ορίζοντες ή φακούς ηφ. Λατυποπαγών	Τεμαχώδης/ Αδιατάρακτη- Στρωματώδης	Πολύ Καλή έως Καλή- Μέτρια	60- 70	45-77	Μέτρια- Πτωχή	«Χαμηλή» έως «Πολύ Χαμηλή»	Ι έως ΙΙΙ-ΙV
A	18	61	22617	Ηφ. Τόφφος με ορίζοντες ή φακούς ηφ. Λατυποπαγών	Άρρηκτη	Πολύ Καλή έως Μέτρια	74- 84	80- 100	Καλή- Εξαιρετικ ή	«Χαμηλή» έως «Πολύ Χαμηλή»	Ι έως ΙΙΙ

^{**}Δεν χρησιμοποιήθηκαν οι παρούσες στα στερεοδιαγράμματα, καθώς κρίθηκαν ως αρκετά υπερεκτιμημένες. Έγινε χρήση της φ=25° και c=0.089MPa που προέκυψαν από δοκιμή στη στενή περιοχή της σήραγγας.

*Οι συγκεκριμένοι βαθμοί αποσάθρωσης (ISRM, 1981), εξάχθηκαν με βάση την γεωλογική λογική και την παρατήρηση των διαθέσιμων φωτογραφιών από τις θέσεις των στομίων από Μαρίνος Β. (2020) Πίνακας 7.2 Συγκεντρωτικός πίνακας με τα στοιχεία των Τεχνικογεωλογικών Ενοτήτων κατά μήκος της σήραγγας Σ2Ν

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Με βάση αντιπροσωπευτικές τιμές για τις τεχνικογεωλογικές ενότητες κατά μήκος της σήραγγας, εφαρμόζεται το γενικευμένο κριτήριο Hoek–Brown και υπολογίζονται οι τιμές σχεδιασμού για κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα.

Παράμετρος	TE-H	TE-G	TE-B	TE-A
*GSI	20	28	60	74
σ _{ci} (MPa)	33	33	61	61
m _i	13	13	18	18
$\gamma (MN/m^3)$	0.027	0.027	0.027	0.027
Μέσο Υπερκείμενο (m)	11.3	6.2	30	24
E _i (MPa)	10087	10087	22617	22617

*χρησιμοποιήθηκε η μικρότερη τιμή του εύρους ως αντιπροσωπευτική, υπέρ της ασφάλειας *χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές υπερκειμένων για κάθε ΤΕ

Πίνακας 7.3 Συγκεντρωτικός πίνακας των τιμών GSI, σ_{ci} (MPa), σταθεράς m_i, λόγου Poisson (ν) και ειδικού βάρους βράχου (γ)

Παράμετρος Σχεδιασμού	ТЕ-Н	TE-G	TE-B	TE-A
c (MPa)	0.07	0.073	0.73	1.57
φ (°)	52.9	59.5	63.1	64.2
$\sigma_{\rm cm}$ (MPa)	0.263	0.493	6.53	14.347
$E_m(MPa)$	461	723	11761	18121

Πίνακας 7.4 Παράμετροι σχεδιασμού όπως προέκυψαν από την εφαρμογή του κριτηρίου Hoek – Brown

Γενικά, προέκυψε το συμπέρασμα ότι ο ιγκνιμβρίτης της περιοχής μελέτης αποτελεί σχηματισμό μέτριας έως υψηλής αντοχής με ικανοποιητικά μηχανικά χαρακτηριστικά και συνεπώς καλή συμπεριφορά κατά την διάνοιξη του υπόγειου έργου. Οι αστοχίες που αναμένονται στο σώμα της σήραγγας, βάση του διαγράμματος τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς (TBC) είναι κινηματικές, σφηνοειδούς τύπου, με σφήνες κατά βάση μικρού μεγέθους, σε όλο το σώμα της σήραγγας και επιπρόσθετα, υπερεκσκαφές τύπου καμινάδας στις ενότητες των στομίων.

Στα πρανή των στομίων της σήραγγας, αναμένονται επίσης κινηματικού τύπου αστοχίες, όπως φαίνονται παρακάτω.

	ΣΤΟΜΙΟ	ΕΙΣΟΔΟΥ	ΣΤΟΜΙΟ ΕΞΟΔΟΥ		
Τύπος Αστοχίας	Αριστερό	Δεξί	Αριστερό	Δεξί	
	(72°/105°)	(63°/285°)	(72°/077°)	(63°/258°)	
Επίπεδη	-	В	(F)*	J3	
Ψηφιακή ο Βιβλιο	υλλογή θήκη				
---------------------	-----------------	---------------	-----------------	----------------------	-------
Σφηνο	ειδής J	1-J3	(J1- F)*	(J1-F, J2-F)*	J2-J3
Ανατρ	οπήογίας	-	J1 , J2**	J3**	(F)*
А.П.	*Δεν πραγματοπο	οιήθηκε ανάλυ	ση για τους λόγ	νους που προαναφέρθι	ικαν

*Δεν πραγματοποιήθηκε ανάλυση για τους λόγους που προαναφέρθηκαν **Δεν πραγματοποιήθηκε ανάλυση με το λογισμικό RocTopple της Rocscience

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων ευστάθειας των παραπάνω δυνητικών αστοχιών έδειξαν συντελεστές ασφαλείας αρκετά αυξημένους από τον ελάχιστο απαιτούμενο (F=1.1), κάτι το οποίο υποδεικνύει συνθήκες ευστάθειας στα σχηματιζόμενα βραχοτεμάχη. Εξαίρεση αποτέλεσε μόνο η τιμή F=0 για την σχηματιζόμενη σφήνα στο δεξί πρανές του στομίου εξόδου, με την παραδοχή της επίδρασης του νερού σε αυτή (μέγιστη τιμή υπέρ της ασφάλειας), γεγονός που θα οδηγήσει σε απαίτηση εφαρμογής κατάλληλων και ικανών μέτρων αντιστήριξης (π.χ. αγκύρια, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε προσωρινά πρανή, κ.α.).

	ΣΤΟΜΙΟ ΕΙΣΟΔΟΥ				ΣΤΟΜΙΟ Η	ΞΟΔΟΥ				
AP	ΑΡΙΣΤΕΡΟ ΠΡΑΝΕΣ			(105°/′	72°)	ΔΕΞΙ ΠΡΑΝΕΣ (285°/63°)		ΔΕΞΙ ΠΡΑΝΕΣ (258°/63°		(3°)
1	1°		2°		0	-		-		
Σ	Ν	Σ	Ν	Σ	Ν	Σ	Ν		Σ	Ν
22.8	4.67	25.6	5.24	24.2	4.95	4.03	4.99	Επίπεδη: J3 (45°/236°)	3.83	3.83
	Σφηνο	ειδής: J J3(77°	/1(80°/ 2/195°)	065°) -		Επίπεδ (16°/3	δη: Β 21°)	Σφηνοειδής J2(79°/113°) - J3(45°/236°)	15.52	0

Πίνακας 7.6. Συντελεστές ασφαλείας των αναλύσεων με τα λογισμικά RocPlane για επίπεδη αστοχία και Swedge για σφηνοειδή αστοχία, της Rocscience. Όπου Σ: η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με την επίδραση σεισμού και όπου Ν: η ανάλυση διεξάχθηκε με την παραδοχή της παρουσίας νερού.

Το γεγονός του σχηματισμού μικρού όγκου σφηνών στο σώμα της σήραγγας, σύμφωνα με τα αποτελέσματα στο Unwedge, συνεπάγεται με απουσία απαίτησης σημειακής χρήσης αγκυρίων για τη συγκράτηση μεμονωμένων σφηνών, αλλά μόνο περιμετρικά της σήραγγας για την γενικότερη υποστήριξη του κελύφους. Σε αραιότερο κάνναβο προτείνονται για τις ενότητες του υπογείου και σε πυκνότερο για τις ενότητες των στομίων, κατά προτίμηση ενεργητικά για άμεση συγκράτηση. Οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, περιορισμένου πάχους προτείνεται για τις καλύτερες ποιοτικά ενότητες (TE-A και TE-B), ενώ ικανού πάχους για τις ενότητες των στομίων. Για τις τελευταίες, η κατασκευή αποστραγγιστικών οπών κρίνεται απαραίτητη, λόγω της πιο περατής συμπεριφοράς της βραχόμαζας, ενώ για τις TE-A και TE-B, ανάλογα τις συνθήκες των υπόγειων υδάτων, δηλαδή σε περίπτωση επιτόπου παρατήρησης υγρασίας στα τοιχώματα (πιθανότερο στην TE-B λόγω του

Πίνακας 7.5 Συγκεντρωτικός πίνακας δυνητικών αστοχιών για τα όλα τα πρανή των στομίων

εντονότερου κερματισμού της). Για τις ποιοτικά ασθενέστερες ενότητες των στομίων τα μέτρα υποστήριξης είναι σαφώς «βαρύτερα», όπως σημειώνονται στον παρακάτω

πίνακα.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

ΤΕΧΝΙΚΟΓΙ	ΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	Н	G	В	Α
КАТНГОРЬ	IV	III	II	Ι	
ΜΗΧΑΝΙΣΜ	ΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ	Ch-Wg	Wg-Ch	Wg	St (+Wg)*
	Οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	\checkmark	\checkmark	√	✓
Μέτρα	Αγκύρια βράχου	✓	✓	✓	✓
άμεσης	Μεταλλικά πλαίσια	✓	✓	✓	
υποστήριξης	Δοκοί προπορείας	✓	✓		
	Αποστραγγιστικές οπές	\checkmark	✓	**	**

*Στο διάγραμμα του GSI αντιστοιχήθηκε ως δομή «άρρηκτη», δηλαδή με λίγες ασυνέχειες μεγάλης μεταξύ τους απόστασης. Αν και στο TBC προκύπτει δομή ευσταθής, δεν αποκλείεται με βάση την γεωλογική λογική και η πιθανότητα για δημιουργία σφηνών μεταξύ των εν λόγω επιπέδων ασυνεχειών **Αναλόγως των συνθηκών υπόγειων υδάτων

*** σε κάθε βήμα εκσκαφής προτείνεται εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος μικρού πάχους (π.χ. ~5cm), για τη συγκράτηση τυχόν επισφαλών μικροτεμαχών

Πίνακας 7.7 Συνοπτικός πίνακας με τους μηχανισμούς αστοχίας (TBC) και τις τελικές προτεινόμενες κατηγορίες μέτρων υποστήριξης της βραχόμαζας

Για την εκσκαφή της σήραγγας προτείνεται η χρήση εκρηκτικών στις δύο καλύτερες ποιοτικά ενότητες στο σώμα της σήραγγας (ΤΕ-Α και ΤΕ-Β), λόγω συμπαγούς και συνεκτικής βραχόμαζας με λίγα συστήματα ασυνεχειών, ενώ για τις θέσεις των στομίων κρίνεται δύσκολη η εκσκαφή με μηχανικά μέσα και πιθανή η χρήση εκρηκτικών κατά 15% και, χρήση εκρηκτικών κατά 85%.

Ένα συνοπτικό τεχνικογεωλογικό μοντέλο για την σήραγγα Σ2Ν «Πέτρα» παραθέτεται ακολούθως.



Εικόνα 7.1 Συνολικό τεχνικογεωλογικό μοντέλο της σήραγγας «Πέτρα»



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αλεξιάδου Μ., 2014. «Εκπόνηση Οριστικών Μελετών Σηράγγων στο τμήμα «Μελιβοία-Σύνορα» του Κάθετου Άξονα 70 της Εγνατίας Οδού «Ξάνθη-Εχίνος-Ελληνοβουλγαρικά Σύνορα», τμήμα 70.2.2. Οριστική Γεωλογική Μελέτη, Σήραγγες Σ1& Σ1Ν («Δημαρίου») (Τεχνική Έκθεση)
- Βουδούρης Κ., 2013. «Τεχνική Υδρογεωλογία-Υπόγεια Νερά». Εκδόσεις Τζιόλα
- Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης (ΕΛΟΤ), 2009. «Ελληνική Τεχνική Προδιαγραφή Ολόσωμα μεταλλικά πλαίσια αρχικής υποστήριξης σηράγγων». Αθήνα
- Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης (ΕΛΟΤ), 2009. «Ελληνική Τεχνική Προδιαγραφή Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα υπογείων έργων και σηράγγων». Αθήνα
- Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης (ΕΛΟΤ), 2009. «Ελληνική Τεχνική Προδιαγραφή Γενικές απαιτήσεις για τις αγκυρώσεις σηράγγων». Αθήνα
- Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης (ΕΛΟΤ), 2009. «Ελληνική Τεχνική Προδιαγραφή Δοκοί προπορείας σηράγγων βαρέως τύπου». Αθήνα
- Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης (ΕΛΟΤ), 2009. «Ελληνική Τεχνική Προδιαγραφή Πλέγματα οπλισμού εκτοξευόμενου σκυροδέματος σηράγγων». Αθήνα
- Κούκης Γ. & Σαμπατακάκης Ν., 2002. «Τεχνική Γεωλογία». Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα
- Κούκης Γ. & Σαμπατακάκης Ν., 2007. «Γεωλογία Τεχνικών Έργων». Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα
- Λαμπρόπουλος Σ. & Συνεργάτες, (2005) "Διαχείριση Κόστους και Χρόνου Κατασκευής Μεγάλων Τεχνικών Έργων στην Εγνατία Οδό"

Μαρίνος Π. Β., 2007. Διδακτορική διατριβή: «Γεωτεχνική ταξινόμηση και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά ασθενών και σύνθετων γεωυλικών κατά την διάνοιξη σηράγγων». Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Γεωτεχνικής.

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

- Μαρίνος Π. Β., 2020. «Οριστική Γεωλογική Μελέτη Τμήμα Παραλλαγής Χ.Θ. 11+420 – Χ.Θ. 11+904», 1^η έκδοση (7022 5526 R GR 3A 001), «Κάθετος Άξονας 70 της Εγνατίας Οδού «Ξάνθη-Εχίνος-Ελληνοβουλγαρικά Σύνορα», ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.
- Μέλφος Β., Χατζηπέτρος Α., Βουδούρης Κ., Βουδούρης Π., 2018. Τεύχος της πολυήμερης άσκησης υπαίθρου ΣΤ' Εξαμήνου: «Κοιτασματολογία, Τεκτονική και Υδρογεωλογία στην μάζα της Ροδόπης». Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τμήμα Γεωλογίας.
- Μουντράκης Δ.Μ., 2003. Τελική Επιστημονική Έκθεση του ερευνητικού προγράμματος «ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ/ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ» της Θεματικής Ενότητας ΙΙ (Σεισμολογία-Γεωλογία-Πρόδρομα Φαινόμενα Σεισμού). Θεσσαλονίκη
- Μουντράκης Δ.Μ., 2010. «Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας». UNIVERSITY STUDIO PRESS. Θεσσαλονίκη
- Ντιούδη Α., 2010. Μεταπτυχιακή Διατριβή «Παραμετρική διερεύνηση μέτρων υποστήριξης οδικής σήραγγας με αριθμητικό προσομοίωμα». Πολυτεχνείο Κρήτης. Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

ΟΜΟΕ, 2003. Τεύχος Γεωλογικών – Γεωτεχνικών. Έργα Πολιτικού Μηχανικού

Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) & Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδος (ΣΠΜΕ), 2001. «Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός-ΕΑΚ 2000». Αθήνα Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) & Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδος (ΣΠΜΕ), 2003. Τροποποίηση διατάξεων του «Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού ΕΑΚ-2000» λόγω αναθεώρησης του Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας (Φ.Ε.Κ. Β΄ 1154/12-8-2003, Απόφαση Αριθ. Δ17α/115/9/ΦΝ275)

- Παπαντώνη Χ., 2007. Μεταπτυχιακή Διατριβή: «Παραμετρική Διερεύνηση Εναλλακτικών Συστημάτων Υποστήριξης Σε Οδική Σήραγγα». ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ. ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ.
- Σοφιανός AI, 2015. «Υποστήριξη Υπογείων Έργων Εσωτερική προενίσχυση με στοιχεία μεγάλου μήκους» (Κεφάλαιο 2). Σχολή ΜΜΜ/ΕΜΠ
- Τρανός Μ., 2011. «Γεωλογικές Χαρτογραφήσεις-Γεωλογικοί Χάρτες και Τομές». UNIVERSITY STUDIO PRESS. Θεσσαλονίκη
- Τσιραμπίδης Α., 2008. «Ιζηματογενή Πετρώματα». Εκδόσεις Γιαχούδη. Θεσσαλονίκη
- Φλόκας Α.Α.,1997. «Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας». Εκδόσεις ΖΗΤΗ. Θεσσαλονίκη

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

- Harkovska A. et al., 1998. "Paleogene magmatism in the Central Rhodope Area, Bulgaria - A review and new data". Acta Vulcanologica – Vol. 10 (2) – 1998: 199-216
- Hoek E., Marinos G. P. and Marinos P. V., 200 "Characterization and engineering properties of tectonically undisturbed but lithologically varied sedimentary rock masses". Paper submitted for publication in the International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences

 IAEG (Commission on Engineering Geological Maps), 1979. "CLASSIFICATION OF ROCKS AND SOILS FOR ENGINEERING GEOLOGICAL MAPPING PART I: ROCK AND SOIL MATERIALS". BULLETIN of the International Association of Engineering Geology. No 19, 384—311. KREFELD, 1979

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

- Kilias A, et al., 2012. "The Thrace basin in the Rhodope province of NE Greece A tertiary supradetachment basin and its geodynamic implications". Tectonophysics 595–596 (2013) 90–105. Elsevier B.V., DOI:10.1016/j.tecto.2012.05.008
- Kilias AD, et al., 2015. "The Mesohellenic Trough and the Paleogene Thrace Basin on the Rhodope Massif, their Structural Evolution and Geotectonic Significance in the Hellenides". Journal of Geology & Geophysics, Volume 4 - Issue 2. DOI: 10.4172/2329-6755.1000198
- Kahraman S., 2013. "The determination of uniaxial compressive strength from point load strength for pyroclastic rocks". Engineering Geology 170 (2014) 33–42, <u>http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.12.009</u>. ELSEVIER
- Li C. C., 2017 «Chapter Five Rockbolting Design». Rockbolting Principles and Applications, 2017, Pages 125-176. <u>https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804401-8.00005-3</u>. Science Direct.
- Marchev P. et al., 2004. "Compositional diversity of Eocene–Oligocene basaltic magmatism in the Eastern Rhodopes, SE Bulgaria: implications for genesis and tectonic setting". Tectonophysics 393 (2004) 301– 328, DOI:10.1016/j.tecto.2004.07.045, ELSEVIER
- Marchev P. et al., 2005 «2: Hydrothermal ore deposits related to post-orogenic extensional magmatism and core complex formation: The Rhodope Massif of Bulgaria and Greece». Ore Geology Reviews 27 (2005) 53–89. doi:10.1016/j.oregeorev.2005.07.027, ELSEVIER
- Marinos V., 2014. "Tunnel behaviour and support associated with the weak rock masses of flysch". Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 6(3). DOI: <u>10.1016/j.jrmge.2014.04.003</u>. Elsevier

Marinos V., 2020. "Engineering Geology and Tunnels". Engineering Geology and Tunnels. DOI: <u>http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.90462</u>. IntechOpen-Tunnel Engineering - Selected Topics

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

- Miguel-Garcia E. & Gomez-Gonzalez J.F.,2019. "A new methodology to estimate the powder factor of explosives considering the different lithologies of volcanic lands: A case study from the island of Tenerife, Spain". Tunnelling and Underground Space Technology 91 (2019) 103023. <u>https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103023</u>, ELSEVIER
- Moon G.V., 1993. «Geotechnical characteristics of ignimbrite: A soft pyroclastic rock type». *Engineering Geology*, 35 (1993) 33-48. Elsevier Science Publishers
 B.V. Amsterdam
- Moon G.V., 1993. "Microstructural controls on the geomechanical behaviour of ignimbrite". *Engineering Geology*, 35 (1993) 19-31 19. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam
- Pierpaolo O. et al.,2016. "A Combined Analytical and Numerical Approach for the Evaluation of Radial Loads on the Lining of Vertical Shafts". Geotechnical and Geological Engineering 34(4):1057-1065, DOI: <u>10.1007/s10706-016-</u> <u>0026-6</u>. SPRINGER
- Sector Committee for Building and Civil Engineering (B/-), 1999. "British Standard -Code of practice for site investigations". BS 5930:1999, ISBN 0 580 33059 1.First published 1957, Second edition 1981.
- Siyako M. & Huvaz O., 2006. "Eocene stratigraphic evolution of the Thrace Basin, Turkey". Sedimentary Geology 198 (2007) 75–91. DOI:10.1016/j.sedgeo.2006.11.008, ELSEVIER
- Volkmann M.G. & Schubert W., 2011. "Advantages and specifications for pipe umbrella support systems" (ResearchGate). 14TH AUSTRALASIAN TUNNELLING CONFERENCE / AUCKLAND, NEW ZEALAND, 8 - 10 MARCH 2011

Γιαννακίδης Σ., 2019. «40,5 εκατ. ευρώ για τον κάθετο άξονα Εγνατίας Οδού Ξάνθης -Εχίνος - Ελληνοβουλγαρικά σύνορα» (<u>https://www.xronos.gr/reportaz/405-ekat-eyro-gia-ton-katheto-axona-egnatias-odoy-xanthis-ehinos-ellinovoylgarika-synora</u>)

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

μήμα Γεωλογίας

λεκτρονικέ

- EΛΕΒΟΡ Α.Ε.Β.Ε. Ελληνικός Γεωτεχνικός Εξοπλισμός, 2013 (https://www.elebor.gr/categories.asp?id=26)
- $E\Gamma NATIA O \Delta O \Sigma A.E., \underline{https://www.egnatia.eu/erga/kathetoi-axones/o-kathetos-axonas-xanthi-exinos-ellinovoulgarika-synora/$
- Egnatia Odos S.A. «CrossBo Project: Aiming at Improving Cross Border Accessibility» (<u>http://www.crossbo.eu/Abstract_Project.aspx</u>)
- <u>Καραγιάννης</u> Ν., 2018 "Κάθετος Άξονας Ξάνθη-Εχίνος: Ο ΑΚΤΩΡ με 50% μειοδότης στο τμήμα Δημάριο-Σύνορα" (<u>https://ypodomes.com/kathetos-aksonas-ksanthi-exinos-o-aktor-me-50-meiodotis-sto-tmima-dimario-synora/</u>
- Παναγιωτίδης Θ., «Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα: Ορισμοί, μέθοδοι, κανονισμοί, Τεχνολογικές εξελίξεις». Αρχιμήδης: Forum Ενημέρωσης και Προβληματισμού των Τεχνικών. https://www.e-archimedes.gr/faq/item/3661-
- Παρατηριτήριο Εγνατίας Οδού ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ ΑΕ, 2017. Χαρτοθήκη: Νέοι χάρτες των Διευρωπαικών Δικτύων Μεταφορών (<u>http://observatory.egnatia.gr/</u>)
- Bayt.com (Samra M.), 2005. "What is the difference between "forepoling" and "spiling"? What are the main functions?" (<u>https://specialties.bayt.com/en/specialties/q/136181/what-is-the-difference-between-quot-forepoling-quot-and-quot-spiling-quot-what-are-the-main-functions/</u>)
- BrainKart.com, 2018. Chapter: "Civil Railway Airport Harbour Engineering -Railway Engineering - Railway Tunnelling". Methods of Railway Tunnelling ,Chennai (<u>https://www.brainkart.com/article/Methods-of-Railway</u> Tunnelling_4379/)



- DSI Underground. "Anchors, Rock Bolts & Pre-Support Spiles and Forepoling Boards" (https://www.dsitunneling.com/products/anchors-rock-bolts-presupport/spiles-and-forepolingboards/#:~:text=Spiles% 20and% 20forepoling% 20boards% 20are% 20used% 20 as% 20temporary, achieve% 20the% 20best% 20technical% 20solution% 20for% 2 Oeach% 20project.
- Henan Steel Guang International Trade Co. "The Advantages of H Section Beam" (https://www.steelplatecuttingpart.com/the-advantages-of-h-sectionbeam.html#:~:text=%20The%20Advantages%20of%20H%20Section%20Bea m%20,it%20is%20lighter%20than%20the%20concrete...%20More%20)
- Montanstahl AG, 2019. "HEA HEB HEM European Wide Flange Beams" (<u>https://www.montanstahl.com/products/stainless-steel-structurals-bright-bars/stainless-steel-beams/european-wide-flange-beams-he/</u>)
- Norwegian Geotechnical Insitute (NGI). "Soil and rock anchoring|About anchoring" (<u>https://www.ngi.no/eng/Services/Technical-expertise/Soil-and-rock-anchoring/About-anchoring</u>)
- OpenStreetMap Blackdevilkostas OpenStreetMap data, CC BY-SA 2.5, (2013) https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=93822889

SANDATLAS (https://www.sandatlas.org/ignimbrite/)

USGS.gov (United States Geological Survey). Earth Explorer – Υψομετρική πληροφορία

Ηλεκτρονικές Παρουσιάσεις

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Γεωργίου Δ., 2020. «Μέτρα Υποστήριξης Υπογείων Έργων - Υπολογιστικές Μέθοδοι Ανάλυσης Υπογελιων Έργων». ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ - ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Ε.Μ.Π.



- Μαρίνος Β. «Τεχνική Γεωλογία Σηράγγων: Μέθοδοι διάνοιξης, Συμπεριφορά Μηχανισμοί αστοχίας, Υποστήριξη» ,από το υλικό του 8^{ου} μαθήματος «Τεχνική Γεωλογία» του Τμήματος Γεωλογίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Σολδάτος Τ., Κεφάλαιο 3.5.3 : «Ιγκνιμβρίτες ή Πυρομβρίτες» από το υλικό του μαθήματος «Ηφαιστειολογία» του Τμήματος Γεωλογίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. (http://www.geo.auth.gr/765/3_products/353_ignimbrite.htm)
- Σολδάτος Τ. & Παπαδοπούλου Λ., από το υλικό του μαθήματος «Ορυκτολογία» του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Κεφάλαιο θεωρίας «Πυριγενή Πετρώματα» (http://www.geo.auth.gr/765/3_products/353_ignimbrite.htm)



ПАРАРТНМА

Αποτελέσματα αναλύσεων από ROCDATA της Rocscience









Ιγκνιμβρίτης (TE-G)			
Hoek Brown	Classification		
intact uniaxial	33 MPa		
compressive			
strength			
GSI	28		
mi	13		
disturbance	0		
factor			
intact modulus	10087 MPa		
Hoek Brow	n Criterion		
mb	0.994		
s	3.355e-004		
a	0.526		
Failure Enve	lope Range		
application	tunnels		
sig3max	0.094 MPa		
unit weight	0.027 MN/m3		
tunnel depth	6.2 m		
Mohr Cou	ulomb Fit		
cohesion	0.073 MPa		
friction angle	59.538 deg		
Rock Mass I	Parameters		
tensile strength	-0.011 MPa		
uniaxial	0.493 MPa		
compressive			
strength			
global strength	3.929 MPa		
modulus of	723.298 MPa		
deformation			

G5I 20

mb 0.747 s 1.379e-004 a 0.54



Αποτελέσματα αναλύσεων από **DIPS** της Rocscience. Παραθέτονται τα "Info Viewer" των αναλύσεων. Συγκεκριμένα για το αριστερό (δυτικό) πρανές του στομίου εισόδου, παραθέτονται περεταίρω πληροφορίες της ανάλυσης, ενώ για τα υπόλοιπα πρανή, δίνονται ενδεικτικά οι σημαντικότεροι πίνακες.

1. ΣΤΟΜΙΟ ΕΙΣΟΔΟΥ (ΝΟΤΙΟ)

1.1. ΑΡΙΣΤΕΡΟ (ΔΥΤΙΚΟ) ΠΡΑΝΕΣ

Dips Analysis Information

TD_S2N_N

Project Summary

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

- File Name: TD_S2N_N_PLANES
- Last saved with Dips version: 8.008
- Project Title: TD_S2N_N
- Author: Chastaoglou
- Company: Auth

General Settings

- Data Format: Dip / Dip Direction
- Magnetic Declination (E pos): 0°
- Multiple Data Flag (Quantity): OFF
- Distance Column: OFF
- Extra Data Columns: 2
- Units: Metric
- Poles: 45
- Entries: 45

Traverses: No traverse information available.

Mean Set Planes

ID	Dip	Dip Direction	Label
2m	16.45	320.67	В
6m	71.76	134.64	J2
7m	77.00	195.16	J3
8m	35.00	355.00	F
9m	79.73	64.64	J1

Kinematic Analysis

- Slope Dip: 72
- Slope Dip Direction: 105



Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	2	4.44%	45
Set 6: J2	1	11.11%	9
Set 9: J1	1	11.11%	9

Planar Sliding (No Limits)

Planar Sliding	Critical	ritical %	
All Vectors	5	11.11%	45
Set 6: J2	4	44.44%	9
Set 9: J1	1	11.11%	9

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes) Critical 2 = Wedge Sliding (One Plane)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	244	24.65%	27	2.73%	990
All Set Planes	177	29.70%	22	3.69%	596
Set 2: B vs Set 6: J2 Planes	0	0.00%	4	6.35%	63
Set 2: B vs Set 7: J3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	98
Set 2: B vs Set 8: F Planes	0	0.00%	0	0.00%	7
Set 2: B vs Set 9: J1 Planes	0	0.00%	0	0.00%	63
Set 6: J2 vs Set 7: J3 Planes	48	38.10%	6	4.76%	126
Set 6: J2 vs Set 8: F Planes	3	33.33%	1	11.11%	9
Set 6: J2 vs Set 9: J1 Planes	36	44.44%	11	13.58%	81
Set 7: J3 vs Set 8: F Planes	0	0.00%	0	0.00%	14
Set 7: J3 vs Set 9: J1 Planes	90	71.43%	0	0.00%	126
Set 8: F vs Set 9: J1 Planes	0	0.00%	0	0.00%	9
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	1	10.00%	0	0.00%	10
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	1	10.00%	0	0.00%	10

Flexural Toppling

Flexural Toppling	Critical	%	Total
All Vectors	2	4.44%	45

Direct Toppling

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

DI		()		
E I	Base Plane	Critical	%	Total
DI	All Vectors	3	6.67%	45
A,	Set 6: J2	1	11.11%	9
	Set 9: J1	1	11.11%	9

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection) Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	56	5.66%	50	5.05%	990
All Set Planes	14	2.35%	19	3.19%	596
Set 2: B vs Set 6: J2 Planes	0	0.00%	0	0.00%	63
Set 2: B vs Set 7: J3 Planes	5	5.10%	0	0.00%	98
Set 2: B vs Set 8: F Planes	1	14.29%	0	0.00%	7
Set 2: B vs Set 9: J1 Planes	0	0.00%	0	0.00%	63
Set 6: J2 vs Set 7: J3 Planes	0	0.00%	11	8.73%	126
Set 6: J2 vs Set 8: F Planes	0	0.00%	0	0.00%	9
Set 6: J2 vs Set 9: J1 Planes	0	0.00%	2	2.47%	81
Set 7: J3 vs Set 8: F Planes	4	28.57%	0	0.00%	14
Set 7: J3 vs Set 9: J1 Planes	4	3.17%	6	4.76%	126
Set 8: F vs Set 9: J1 Planes	0	0.00%	0	0.00%	9
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	0	0.00%	0	0.00%	10
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	0	0.00%	0	0.00%	10

1.2. ΔΕΞΙ (ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ) ΠΡΑΝΕΣ

Dips Analysis Information

TD_S2N_N

Mean Set Planes

ID	Dip	Dip Direction	Label
2m	16.45	320.67	В
6m	71.76	134.64	J2
7m	77.00	195.16	J3
8m	35.00	355.00	F
9m	79.73	64.64	J1

Kinematic Analysis

- Slope Dip: 63
- Slope Dip Direction: 285
- Friction Angle: 25°



Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	1	2.22%	45

Planar Sliding (No Limits)

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	1	2.22%	45

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes) Critical 2 = Wedge Sliding (One Plane)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	59	5.96%	24	2.42%	990
All Set Planes	5	0.84%	0	0.00%	596
Set 2: B vs Set 6: J2 Planes	0	0.00%	0	0.00%	63
Set 2: B vs Set 7: J3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	98
Set 2: B vs Set 8: F Planes	0	0.00%	0	0.00%	7
Set 2: B vs Set 9: J1 Planes	0	0.00%	0	0.00%	63
Set 6: J2 vs Set 7: J3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	126
Set 6: J2 vs Set 8: F Planes	0	0.00%	0	0.00%	9
Set 6: J2 vs Set 9: J1 Planes	0	0.00%	0	0.00%	81
Set 7: J3 vs Set 8: F Planes	0	0.00%	0	0.00%	14
Set 7: J3 vs Set 9: J1 Planes	0	0.00%	0	0.00%	126
Set 8: F vs Set 9: J1 Planes	5	55.56%	0	0.00%	9
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	1	10.00%	0	0.00%	10
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	1	10.00%	0	0.00%	10

Flexural Toppling

Flexural Toppling	Critical	%	Total
All Vectors	3	6.67%	45
Set 6: J2	2	22.22%	9
Set 9: J1	1	11.11%	9

Direct Toppling

Base Plane	Critical	%	Total
All Vectors	8	17.78%	45



Critical 1 = Direct Toppling (Intersection) Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	147	14.85%	121	12.22%	990
All Set Planes	115	19.30%	102	17.11%	596
Set 2: B vs Set 6: J2 Planes	0	0.00%	0	0.00%	63
Set 2: B vs Set 7: J3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	98
Set 2: B vs Set 8: F Planes	0	0.00%	0	0.00%	7
Set 2: B vs Set 9: J1 Planes	0	0.00%	0	0.00%	63
Set 6: J2 vs Set 7: J3 Planes	44	34.92%	43	34.13%	126
Set 6: J2 vs Set 8: F Planes	0	0.00%	0	0.00%	9
Set 6: J2 vs Set 9: J1 Planes	22	27.16%	30	37.04%	81
Set 7: J3 vs Set 8: F Planes	0	0.00%	0	0.00%	14
Set 7: J3 vs Set 9: J1 Planes	49	38.89%	29	23.02%	126
Set 8: F vs Set 9: J1 Planes	0	0.00%	0	0.00%	9
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	1	10.00%	1	10.00%	10
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	1	10.00%	1	10.00%	10

2. ΣΤΟΜΙΟ ΕΞΟΔΟΥ (ΒΟΡΕΙΟ)

2.1. ΑΡΙΣΤΕΡΟ (ΔΥΤΙΚΟ) ΠΡΑΝΕΣ

Dips Analysis Information

TD_S2N_B

Mean Set Planes

ID	Dip	Dip Direction	Label
3m	58.97	63.03	F
4m	24.00	313.00	В
6m	79.41	113.39	J2
7m	44.76	236.03	J3
8m	76.04	43.41	J1

Kinematic Analysis

- Slope Dip: 72
- Slope Dip Direction: 77
- Friction Ângle: 25°
- Lateral Limit Angle: 20°

Planar Sliding

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

μήμα	Γεωλογίας			
- A.	Planar Sliding	Critical	%	Total
	All Vectors	3	10.71%	28
	Set 3: F	2	100.00%	2

Planar Sliding (No Limits)

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	5	17.86%	28
Set 3: F	2	100.00%	2
Set 6: J2	1	12.50%	8
Set 8: J1	1	14.29%	7

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes) Critical 2 = Wedge Sliding (One Plane)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	93	24.60%	36	9.52%	378
All Set Planes	27	17.09%	21	13.29%	158
Set 3: F vs Set 4: B Planes	0	0.00%	0	0.00%	4
Set 3: F vs Set 6: J2 Planes	0	0.00%	16	100.00%	16
Set 3: F vs Set 7: J3 Planes	0	0.00%	1	25.00%	4
Set 3: F vs Set 8: J1 Planes	12	85.71%	2	14.29%	14
Set 4: B vs Set 6: J2 Planes	0	0.00%	1	6.25%	16
Set 4: B vs Set 7: J3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	4
Set 4: B vs Set 8: J1 Planes	0	0.00%	0	0.00%	14
Set 6: J2 vs Set 7: J3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	16
Set 6: J2 vs Set 8: J1 Planes	15	26.79%	1	1.79%	56
Set 7: J3 vs Set 8: J1 Planes	0	0.00%	0	0.00%	14
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	1	10.00%	1	10.00%	10
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	1	10.00%	1	10.00%	10

Flexural Toppling

Flexural Toppling	Critical	%	Total
All Vectors	2	7.14%	28
Set 7: J3	1	50.00%	2

Direct Toppling



Critical 1 = Direct Toppling (Intersection) Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	4	1.06%	2	0.53%	378
All Set Planes	0	0.00%	0	0.00%	158
Set 3: F vs Set 4: B Planes	0	0.00%	0	0.00%	4
Set 3: F vs Set 6: J2 Planes	0	0.00%	0	0.00%	16
Set 3: F vs Set 7: J3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	4
Set 3: F vs Set 8: J1 Planes	0	0.00%	0	0.00%	14
Set 4: B vs Set 6: J2 Planes	0	0.00%	0	0.00%	16
Set 4: B vs Set 7: J3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	4
Set 4: B vs Set 8: J1 Planes	0	0.00%	0	0.00%	14
Set 6: J2 vs Set 7: J3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	16
Set 6: J2 vs Set 8: J1 Planes	0	0.00%	0	0.00%	56
Set 7: J3 vs Set 8: J1 Planes	0	0.00%	0	0.00%	14
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	0	0.00%	0	0.00%	10
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	0	0.00%	0	0.00%	10

28

2

2.2. ΔΕΞΙ (ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ) ΠΡΑΝΕΣ

Dips Analysis Information

TD_S2N_B

Mean Set Planes

ID	Dip	Dip Direction	Label
3m	58.97	63.03	F
4m	24.00	313.00	В
6m	79.41	113.39	J2
7m	44.76	236.03	J3
8m	76.04	43.41	J1

Kinematic Analysis

- Slope Dip: 63 •
- Slope Dip Direction: 258
- Friction Angle: 25° •
- Lateral Limit Angle: 20°

Planar Sliding

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

μήμα	Γεωλογίας			
- A.	Planar Sliding	Critical	%	Total
	All Vectors	1	3.57%	28
	Set 7: J3	1	50.00%	2

Planar Sliding (No Limits)

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	3	10.71%	28
Set 4: B	1	50.00%	2
Set 7: J3	2	100.00%	2

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes) Critical 2 = Wedge Sliding (One Plane)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	18	4.76%	31	8.20%	378
All Set Planes	3	1.90%	25	15.82%	158
Set 3: F vs Set 4: B Planes	0	0.00%	0	0.00%	4
Set 3: F vs Set 6: J2 Planes	0	0.00%	0	0.00%	16
Set 3: F vs Set 7: J3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	4
Set 3: F vs Set 8: J1 Planes	0	0.00%	0	0.00%	14
Set 4: B vs Set 6: J2 Planes	0	0.00%	0	0.00%	16
Set 4: B vs Set 7: J3 Planes	1	25.00%	2	50.00%	4
Set 4: B vs Set 8: J1 Planes	1	7.14%	6	42.86%	14
Set 6: J2 vs Set 7: J3 Planes	0	0.00%	12	75.00%	16
Set 6: J2 vs Set 8: J1 Planes	0	0.00%	0	0.00%	56
Set 7: J3 vs Set 8: J1 Planes	1	7.14%	5	35.71%	14
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	0	0.00%	2	20.00%	10
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	0	0.00%	2	20.00%	10

Flexural Toppling

Flexural Toppling	Critical	%	Total
All Vectors	5	17.86%	28
Set 3: F	2	100.00%	2

Direct Toppling

Base Plane	Critical	%	Total
All Vectors	2	7.14%	28



Critical 1 = Direct Toppling (Intersection) Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	65	17.20%	57	15.08%	378
All Set Planes	27	17.09%	25	15.82%	158
Set 3: F vs Set 4: B Planes	0	0.00%	0	0.00%	4
Set 3: F vs Set 6: J2 Planes	0	0.00%	0	0.00%	16
Set 3: F vs Set 7: J3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	4
Set 3: F vs Set 8: J1 Planes	2	14.29%	0	0.00%	14
Set 4: B vs Set 6: J2 Planes	0	0.00%	0	0.00%	16
Set 4: B vs Set 7: J3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	4
Set 4: B vs Set 8: J1 Planes	0	0.00%	0	0.00%	14
Set 6: J2 vs Set 7: J3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	16
Set 6: J2 vs Set 8: J1 Planes	25	44.64%	25	44.64%	56
Set 7: J3 vs Set 8: J1 Planes	0	0.00%	0	0.00%	14
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	1	10.00%	0	0.00%	10
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	1	10.00%	0	0.00%	10

Αποτελέσματα αναλύσεων από UNWEDGE της Rocscience.



Wedge Information

	Lower Right wedge [1]	Lower Right wedge [2]	Upper Right wedge [6]	Upper Left wedge [7]	Roof wedge [8]	Near End wedge [9]	Far End wedge [10]
Factor of Safety	109.735	120.859	108.752	105.540	107.785	121.867	121.951
Wedge Volume [m3]	0.003	0.092	0.142	0.255	0.001	0.005	0.005
Wedge Weight [MN]	0.000	0.002	0.004	0.007	0.000	0.000	0.000
Excavation Face Area [m2]	0.20	0.65	0.76	1.08	0.11	0.23	0.23
Support Pressure [MPa]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Resisting Force [MN]	1.068	3.941	4.402	6.268	0.578	1.405	1.404
Driving Force [MN]	0.010	0.033	0.040	0.059	0.005	0.012	0.012
Shear Force [MN]	0.000	0.000	0.040	0.059	0.000	0.000	0.000
Apex Height [m]	0.04	0.43	0.57	0.72	0.03	0.06	0.06
Failure Mode	lifting wedge	falling wedge	wedge sliding on joint 3	wedge sliding on joint 3	falling wedge	falling wedge	falling wedge
Joint 1							
Joint 2			83/182	83/182			
Joint 3							
Joint Persistence [m]	1) 2.27 , 3) 0.25 , 4) 2.09	1) 0.87 , 3) 1.98 , 4) 2.05	1) 1.66 , 3) 1.32 , 4) 2.07	1) 1.83 , 3) 1.64 , 4) 2.09	1) 2.22 , 3) 0.57 , 4) 1.80	1) 0.27 , 3) 2.00 , 4) 2.00	1) 0.27 , 3) 2.00 , 4) 2.00
Joint Trace Lengths [m]	1) 2.27 , 3) 0.25 , 4) 2.09	1) 0.66 , 3) 1.98 , 4) 2.05	1) 1.30 , 3) 1.33 , 4) 2.08	1) 1.36 , 3) 1.65 , 4) 2.09	1) 2.27 , 3) 0.57 , 4) 1.80	1) 0.23 , 3) 2.00 , 4) 2.00	1) 0.23 , 3) 2.00 , 4) 2.00
Joint Shear Strengths [MN]	1) 0.015 , 3) 0.002 , 4) 0.014	1) 0.000 , 3) 0.000 , 4) 0.000	1) 0.110 , 3) 0.125 , 4) 0.225	1) 0.148 , 3) 0.191 , 4) 0.270	1) 0.006 , 3) 0.002 , 4) 0.004	1) 0.000 , 3) 0.000 , 4) 0.000	1) 0.000 , 3) 0.000 , 4) 0.000

Εικόνα 4.4.2.1 Διατομή του εξεταζόμενου τμήματος στη ΧΘ 12+805 έως 12+810, από διάφορες οπτικές γωνίες



Wedge Information

	Lower Right wedge [4]	Roof wedge [5]
Factor of Safety	3670.730	768.282
Wedge Volume [m3]	0.001	0.001
Wedge Weight [MN]	0.000	0.000
Excavation Face Area [m2]	0.00	0.00
Support Pressure [MPa]	0.000	0.000
Resisting Force [MN]	0.203	0.072
Driving Force [MN]	0.000	0.000
Shear Force [MN]	0.000	0.000
Apex Height [m]	1.93	1.98
Failure Mode	falling wedge	wedge sliding along line of intersection of joints 5 and 6
Joint 1		
Joint 2		68/114
Joint 3		76/032
Joint Persistence [m]	3) 2.01 , 5) 2.01 , 6) 2.00	3) 1.99 , 5) 1.99 , 6) 1.99
Joint Trace Lengths [m]	3) 0.09 , 5) 0.08 , 6) 0.04	3) 0.09 , 5) 0.08 , 6) 0.04
Joint Shear Strengths [MN]	3) 0.000 , 5) 0.000 , 6) 0.000	3) 0.029 , 5) 0.024 , 6) 0.011

Εικόνα 4.4.3.1 Διατομή του εξεταζόμενου τμήματος στη ΧΘ 12+927 έως 12+932, από διάφορες οπτικές γωνίες



Wedge Information

	Lower Right wedge [3]	Lower Right wedge [4]	Upper Left wedge [5]	Roof wedge [6]	Upper Right wedge [8]	Near End wedge [9]	Far End wedge [10]
Factor of Safety	113.994	112.407	111.764	107.678	109.290	116.317	117.848
Wedge Volume [m3]	0.004	0.021	0.018	0.024	0.023	0.002	0.002
Wedge Weight [MN]	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000
Excavation Face Area [m2]	0.12	0.27	0.24	0.35	0.28	0.07	0.07
Support Pressure [MPa]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Resisting Force [MN]	0.646	1.508	1.369	1.959	1.594	0.369	0.369
Driving Force [MN]	0.006	0.013	0.012	0.018	0.015	0.003	0.003
Shear Force [MN]	0.006	0.000	0.000	0.018	0.000	0.003	0.003
Apex Height [m]	0.09	0.23	0.23	0.21	0.25	0.10	0.10
Failure Mode	wedge sliding on joint 2	lifting wedge	falling wedge	wedge sliding along line of intersection of joints 2 and 3	falling wedge	wedge sliding on joint 1	wedge sliding on joint 1
Joint 1						24/313	24/313
Joint 2 Joint 3	76/043			76/043 79/113			
Joint Persistence [m]	1) 1.05 , 2) 0.26 , 3) 1.05	1) 0.84 , 2) 1.01 , 3) 0.65	1) 0.95 , 2) 1.01 , 3) 0.53	1) 1.04 , 2) 1.00 , 3) 0.97	1) 0.99 , 2) 0.62 , 3) 1.04	1) 0.14 , 2) 1.00 , 3) 1.00	1) 0.14 , 2) 1.00 , 3) 1.00
Joint Trace Lengths [m]	1) 0.96 , 2) 0.25 , 3) 1.02	1) 0.84 , 2) 1.01 , 3) 0.64	1) 0.95 , 2) 1.01 , 3) 0.53	1) 1.06 , 2) 0.96 , 3) 0.92	1) 0.99 , 2) 0.62 , 3) 1.04	1) 0.14 , 2) 0.97 , 3) 0.97	1) 0.14 , 2) 0.97 , 3) 0.97
Joint Shear Strengths [MN]	1) 0.017 , 2) 0.005 , 3) 0.015	1) 0.032 , 2) 0.037 , 3) 0.023	1) 0.035 , 2) 0.038 , 3) 0.020	1) 0.045 , 2) 0.032 , 3) 0.031	1) 0.039 , 2) 0.025 , 3) 0.042	1) 0.003 , 2) 0.017 , 3) 0.016	1) 0.003 , 2) 0.017 , 3) 0.017

Εικόνα 4.4.1 Διατομή του εξεταζόμενου τμήματος στη ΧΘ 12+965 έως 12+970, από διάφορες οπτικές γωνίες

Αποτελέσματα αναλύσεων από ROCPLANE και SWEDGE της Rocscience.

Δίνεται ενδεικτικά από ένα παράδειγμα ανάλυσης με το κάθε λογισμικό.

1. ΣΤΟΜΙΟ ΕΙΣΟΔΟΥ

1.1. ΑΡΙΣΤΕΡΟ ΠΡΑΝΕΣ

1.1.1. ΣΦΗΝΟΕΙΔΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑ

1.1.1.1. 1° ΠΡΑΝΕΣ (J1-J3)

1.1.1.1.1. ME EΠΙ Δ PA Σ H MONO TOY NEPOY

SWedge Analysis Information

SWEDGE - Surface Wedge Stability Analysis

Project Summary

File NameARISTERO_EISODOS_J1-J3Project TitleSWEDGE - Surface Wedge Stability AnalysisAnalysisStomio Eisodou_AristeroAuthorChastaoglou

Analysis Results

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

Analysis Type - Deterministic	
Safety Factor	4.67058
Wedge Height (On Slope) [m]	11.23
Bench Width (On Upper Face) [m]	1.11155
Wedge Volume [m3]	2.75595
Wedge Weight [MN]	0.0744107
Wedge Area (joint1) [m2]	9.85959
Wedge Area (joint2) [m2]	6.40552
Wedge Area (slope) [m2]	7.82093
Wedge Area (upper face) [m2]	0.736229

Effective Normal and Strength Properties

	Joint 1	Joint 2
Effective Normal Force [MN]	0.000	0.004
Effective Normal Stress [MPa]	0.000	0.001
Shear Strength [MPa]	0.000	0.100
Strength due to Waviness [MPa]	0.000	0.000

Driving Force [MN] 0.137517 Resisting Force [MN] 0.642284

Water Pressures/Forces

	Average Pressure [MPa]	Force [MN]
Joint 1	0.018	0.181
Joint 2	0.018	0.118

Failure Mode

• Sliding on joint2

Joint Sets 1&2 Line of Intersection

Plunge [deg]	Trend [deg]	Length [m]
64.234	133.574	12.470

Trace Lengths

ΥΘΕΟΦ	^{κή συλλ} 10θή DΔΣ		
Kinger .		Slope Face [m]	Upper Face [m]
Protect huha	Joint 1	11.876	1.729
A	Joint 2	12.089	1.112

Persistence

Joint 1 [m] 12.4698 Joint 2 [m] 12.4698

Intersection Angles

	Slope Face	Upper Face
Joint 1 & Joint 2	6.255	50.000
Joint 1 & Crest	96.129	40.000
Joint 2 & Crest	77.616	90.000

Dip and Dip Direction

	Dip [deg]	Dip Direction [deg]
Joint Set 1	80.000	65.000
Joint Set 2	77.000	195.000
Slope	72.000	105.000
Upper Face	0.000	105.000

Joint Set 1 Data

Cohesion [MPa]	0.1
Friction Angle [deg]	25
Waviness Angle [deg]	0

Joint Set 2 Data

Cohesion [MPa]	0.1
Friction Angle [deg]	25
Waviness Angle [deg]	0

Slope Data

Slope Height [m]	11.23
Bench Width [m]	4
Rock Unit Weight [MN/m3]	0.027
Water Pressures in the Slope	YES
Overhanging Slope Face	NO
Externally Applied Force	NO
Tension Crack	NO



Water Unit Weight [MN/m3]0.00981Pore Pressure Distribution ModelFilled FissuresHu1

Wedge Vertices

- □ Coordinates in Easting,Northing,Up Format
- □ 1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope

Point	East	North	Up
124	0.000	0.000	0.000
134	-3.196	2.169	11.230
234	-2.853	3.449	11.230
123	-3.927	3.736	11.230



1.2. ΔΕΞΙ ΠΡΑΝΕΣ

1.2.1. ЕПІПЕАН

1.2.1.1. ΜΕ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΟΝΟ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ

RocPlane Analysis Information RocPlane - Planar Wedge Stability Analysis

Project Summary

Ψηφιακή συλλογή Βιβλιοθήκη

ΦΡΔΣ

File Name DEXI_STRWSH Project Title RocPlane - Planar Wedge Stability Analysis Date Created 9/5/2021, 7:47:14 μμ

0

121

Τ/

Analysis Results

Analysis Type - Deterministic Normal Force 1.776 MN/m Driving Force 0.666633 MN/m Resisting Force 2.6891 MN/m Factor of Safety 4.03385

Geometry

Slope Height	9.17 m
Wedge Weight	1.89095 MN/m
Wedge Volume	70.0353 m^3/m
Wedge Height	9.17 m
Unit Weight	0.027 MN/m3
Slope Angle	63°
Failure Plane Angle	16°
Upper Face Angle	-17 °
Bench Width	Not Present
Waviness	0°
Intersection Point (B) of Slope and Upper Face	(4.67235,9.17)
Intersection Point (C) of Failure Plane and Upper Face	(17.8885, 5.12943)
Failure Plane Length (Origin> C)	18.6093 m
Slope Length (Origin> B)	10.2917 m
Tension Crack	Not Present

Strength

Shear Strength Model	Mohr-Coulomb
Friction Angle	25 °
Cohesion	0.1 MN/m2
Shear Strength	0.144503 MN/m2
Shear Resistance	2.6891 MN/m

Seismic Force

Direction	Horizontal
Seismic Coefficient	0.08
Seismic Force	0.151276 MN/m





Αποτελέσματα αναλύσεων από **UNWEDGE** της Rocscience. Δίνεται παράδειγμα ανάλυσης στο εξεταζόμενο τμήμα της TE-B, με χρήση του τεκτονικού διαγράμματος TΔ-22.

TE-B

UnWedge Analysis Information

Project Summary

 File Name:
 Un1

 Project Title:
 Stability Analysis of Wedges for Underground Excavations

 Wedges Computed:
 Perimeter and End Wedges

 Prismatic Wedges Computed:
 No

 Units:
 Metric, stress as MPa

General Input Data

Tunnel Axis Orientation	
Trend:	10°
Plunge:	3.7°
Design Factor of Safety:	1.500
Unit Weight of Rock:	0.027 MN/m3
Unit Weight of Water:	0.010 MN/m3

Seismic Forces

Direction: Sliding Seismic Coefficient: 0.16

Scale Wedges Settings

Not Used



18° Dip Direction: 317° Joint 2 Dip: 82° Dip Direction: 134° Joint 3 Dip: 82° Dip Direction: 066°

Joint Properties

Bedding	
Water Pressure Type:	Constant
Pressure:	0.05 MPa
Waviness:	0°
Continuity Type:	Infinite
Shear Strength Model: Phi:	Mohr-Coulomb 33°
Cohesion:	0.32 MPa
Tensile Strength:	5.3 MPa
Joint Properties 1	
Water Pressure Type:	Constant
Pressure:	0.05 MPa
Waviness:	0°
Continuity Type:	Persistence
Persistence Value:	2 m
Shear Strength Model: Phi:	Mohr-Coulomb 33°
Cohesion:	0.32 MPa
Tensile Strength:	5.3 MPa
Joint Properties 2	
Water Pressure Type:	Constant
Pressure:	0.05 MPa
Waviness:	0°
Continuity Type:	Persistence
Persistence Value:	2 m
Shear Strength Model:	Mohr-Coulomb
Phi:	33°
Cohesion:	0.32 MPa
Tensile Strength:	5.3 MPa