



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών

**Εκτίμηση Κινδύνου στην Επέκταση της Γραμμής 2 του
Μετρό των Αθηνών «Άγιος Αντώνιος-Περιστέρι»**



Διπλωματική Εργασία
Γεώργιος Κρασσακόπουλος

Λουκάς Ταμβάκης

Επιβλέπων Καθηγητής:

Ανδρέας Μπενάρδος

Αθήνα 2011



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών

Διπλωματική Εργασία

**Εκτίμηση Κινδύνου στην Επέκταση της Γραμμής 2 του Μετρό
των Αθηνών «Άγιος Αντώνιος-Περιστέρι»**

Γεώργιος Κρασσακόπουλος - Λουκάς Ταμβάκης

Επιβλέπων Καθηγητής: Ανδρέας Μπενάρδος

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 20/7/2011

Δημήτριος Καλιαμπάκος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Πάυλος Νομικός, Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Ανδρέας Μπενάρδος, Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα 2011

Copyright © Γεώργιος Κρασσακόπουλος , 2011

Copyright © Λουκάς Ταμβάκης, 2011

Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved

Πίνακας Περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ - ΣΤΑΔΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Ο ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΈΡΓΑ	4
2.1 ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΡΓΑ.....	4
2.1.1 Σήραγγες.....	5
2.1.2 Διάνοιξη σηράγγων με τη μέθοδο NATM.....	6
2.1.2.1 Χαρακτηριστικά της μεθόδου NATM.....	8
2.1.2.2 Φάσεις εκσκαφής.....	12
2.1.2.3 Μέτρα άμεσης υποστήριξης	14
2.1.2.4 Παρακολούθηση της συμπεριφοράς σηράγγων.....	17
2.1.2.5 Μετρήσεις των μετακινήσεων	18
2.2 ΚΙΝΔΥΝΟΣ	21
2.2.1 Υπόγεια Έργα και Κίνδυνος.....	22
2.2.2 Τεχνικά Προβλήματα Κατά Την Πορεία Εργασιών Του Αττικού Μετρό.....	31
2.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ.....	38
2.3.1 Εκτίμηση Κινδύνου στα Υπόγεια Έργα	39
2.3.2 Πιθανολογική Εκτίμηση Κινδύνου	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΈΡΓΟΥ.....	46
3.1 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ ΤΩΝ ΑΘΗΝΩΝ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ – ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ».....	46
3.1.1 Η Εταιρία ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.	46
3.1.2 Πρόοδος επέκτασης Γραμμής 2 από τον Αγ. Αντώνιο προς την Ανθούπολη	46
3.2 Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ – ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	48
3.2.1 Αναγνώριση Περιοχής.....	48
3.2.2 Γεωλογικές συνθήκες ευρύτερης περιοχής μελέτης - Μορφολογία.....	51
3.2.3 Γεωλογική Δομή Αθηνών	51
3.2.4 Γεωλογική Δομή Περιοχής Μελέτης.....	54
3.2.5 Υδρογεωλογικά Στοιχεία Περιοχής	57
3.3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΠΟΥ ΥΠΑΡΧΟΥΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ	58

3.3.1 Τερματικό Φρέαρ	58
3.3.2 Περιοχή Σταθμού ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ.....	58
3.3.3 Περιοχή Σταθμού ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ	59
3.3.4 Περιοχή Κατασκευής Σήραγγας	60
3.4 ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	60
3.5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ.....	63
3.6 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΡΥΧΕΙΩΝ, ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ, ΕΠΙΧΩΣΕΩΝ, ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΛΟΙΠΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ	66
3.6.1 Λιγνιτωρυχεία Περιστερίου - Στοιχεία εκμεταλλεύσεων	66
3.6.2 Γεωμετρία του κοιτάσματος.....	68
3.6.3 Σύγχρονες έρευνες Λιγνιτωρυχείων.....	69
3.7 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΈΡΓΟΥ – ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ NATM ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ «ΑΓΙΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ».....	70
3.7.1 Εκσκαφή	71
3.7.2 Υποστήριξη	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ - ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ	78
4.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ	78
4.1.1 Κατασκευή του Μοντέλου Εκτίμησης της Τρωτότητας.....	79
4.1.2 Καθορισμός περιοχής ανάλυσης και υποδιαίρεση σε υποπεριοχές ανάλυσης.....	80
4.1.3 Αναγνώριση Υφιστάμενης Κατάστασης.....	81
4.2 ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	83
4.2.1 Ασουνέχειες και βαθμός ρωγμάτωσης των σχηματισμών, RQD (Rock Quality Designation).....	84
4.2.2 Βαθμός αποσάθρωσης των σχηματισμών	85
4.2.3 Συντελεστής ευστάθειας (N), ή λόγος αντοχής βραχόμαζας προς τις επικρατούσες τάσεις.....	85
4.2.4 Ποιότητα βραχόμαζας, Δείκτης GSI (Geological Strength Index).....	88
4.2.5 Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη.....	90
4.2.6 Βάθος κατασκευής.....	90
4.2.7 Υδρογεωλογικές συνθήκες.....	91
4.2.8 Διαπερατότητα σχηματισμών.....	92
4.3 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΧΩΡΟΥ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΞΕΤΑΣΗΣ (BLOCK MODELLING).....	92
4.3.1 Στόχος μοντελοποίησης.....	92
4.3.2 Λογισμικό Surpac.....	92
4.3.3 Λειτουργία Block Modelling.....	94
4.3.4 Εξαγωγή γεωτρητικών δεδομένων από μητρώα γεωτρήσεων.....	95
4.3.5 Εισαγωγή γεωτρητικών δεδομένων στο λογισμικό Surpac	96
4.3.6 Εισαγωγή χωρικών και γεωγραφικών δεδομένων στο λογισμικό Surpac.....	98

4.3.7 Δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων ανάλυσης (Block Models)	100
4.3.8 Αποτελέσματα μοντελοποίησης	103
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	106
5.1 ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	106
5.1.1 Πιθανολογική Εκτίμηση Τιμών και Συμπεριφοράς Παραμέτρων – Τεχνική Monte Carlo.....	106
5.1.2 Εφαρμογή Τεχνικής Monte Carlo - Λογισμικό Ανάλυσης	111
5.1.4 Διάκριση παραμέτρων εξέτασης.....	112
5.1.4.1 Παράμετροι GSI, RQD, Βαθμός αποσάθρωσης.....	113
5.1.4.2 Παράμετροι βάθος κατασκευής και σχετικό ύψος υδροφόρου	115
5.1.4.3 Συντελεστής διαπερατότητας, Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη, Συντελεστής ευστάθειας μετώπου	115
5.1.5 Βαθμονόμηση των Παραμέτρων Εξέτασης	121
5.1.6 Συνθετική Εκτίμηση Επίδρασης Παραμέτρων - Προσέγγιση Rock Engineering Systems	125
5.1.7 Υπολογισμός της βαρύτητας των παραμέτρων.....	130
5.1.8 Εκτίμηση της τρωτότητας των υπό εξέταση περιοχών	134
5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	135
5.2.1 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων πιθανολογικής ανάλυσης – Κατηγοριοποίηση Περιοχών σύμφωνα με το δείκτη τρωτότητας.....	141
5.3 ΈΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ – ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	143
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	146
6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	146
6.1.1 Συμπεράσματα Μεθοδολογίας.....	147
6.1.2 Συμπεράσματα Σχετικά με το Εξεταζόμενο Έργο	148
6.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	148
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	150

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα 1 – Γεωτρητικά Δεδομένα

Παράρτημα 2 – Surpac

Παράρτημα 3 – CRYSTAL BALL

Παράρτημα 4 – Ημερολόγιο εργοταξίου

Λίστα Σχημάτων και Εικόνων

	Σελ.
Σχήμα 2.1 - Επιρροή του χρόνου τοποθέτησης των μέτρων προσωρινής υποστήριξης στην πίεση της βραχόμαζας επί της υποστήριξης της σήραγγας. I: πολύ νωρίς. Η πίεση στην άμεση υποστήριξη (p1) είναι πολύ μεγάλη. II: κανονικός χρόνος κατασκευής της άμεσης υποστήριξης. Η πίεση (p2) έχει μειωθεί σημαντικά. III: πολύ αργά. Η πίεση (p3) έχει αυξηθεί λόγω αποδιοργάνωσης (χαλάρωσης της βραχόμαζας, με συνέπεια τον κίνδυνο κατάρρευσης. (Καββαδάς 2004)	8
Σχήμα 2.2 - Διάνοιξη σήραγγας σε τρεις φάσεις καθ' ύψος (top heading-bench-invert) (Καββαδάς 2004)	13
Σχήμα 2.3- Διάνοιξη σήραγγας με δυο πλευρικές στοές και κεντρικό πυλώνα (Καββαδάς 2004)	13
Σχήμα 2.4 - Διάνοιξη σήραγγας σε έξι φάσεις (δυο κατά πλάτος και τρεις καθ' ύψος) (Καββαδάς 2004)	14
Σχήμα 2.5- Κατανομή ανεπιθύμητων συμβάντων. (Sousa, et al. 2010)	24
Σχήμα 2.6 - Περιοχές κινδύνου	25
Σχήμα 2.7 - Κατάρρευση στο μέτωπο του TBM , Εύηνο – Μόρνος (Grandori, et al. 1995)	26
Εικόνα 2.1 - Κατάρρευση οροφής σήραγγας, Σάο Πάολο, Βραζιλία, 2007 (Barton 2007)	27
Εικόνα 2.2 - Εικόνες από τίτλους ειδήσεων για διάφορες καταρρεύσεις οροφής σήραγγας του Αττικό Μετρό (On-line αρχείο ελληνικού και ξένου τύπου)	27
Εικόνα 2.3 – Άποψη του μετώπου σήραγγας μετά από κατάρρευση συνοδευόμενη από εισροή υδάτων, Λωζάνη, Σουηδία. (Stallmann, 2005)	28
Εικόνα 2.4 - Εισροή νερού υπό πίεση σε σήραγγα, Κίνα. (R.L.Sousa 2010)	29
Εικόνα 2.5 - Ακαριαία διάρρηξη της στέψης σε σήραγγα ύδρευσης στην Κορέα (Lee, et al. 2004)	30
Εικόνα 2.6 - Παραμορφωμένη υποστήριξη λόγω διογκούμενων αργίλων, Νάπολη, Ιταλία (Wallis, 1991)	31
Εικόνα 2.7 - Πανοραμική εικόνα της υποστήριξης του TBM στο σταθμό της Κατεχάκη, πριν την έναρξη των εργασιών	36
Εικόνα 2.8 - Πανοραμική εικόνα κατά τη συναρμολόγηση της Ασπίδας Ανοικτού Μετώπου (OFS), στο σταθμό "Δάφνη", για την εκσκαφή του μεσοδιαστήματος Δάφνη - Άγιος Ιωάννης	37
Σχήμα 2.8 - Δενδροειδές Διάγραμμα Ανάλυσης Σφάλματος	41
Σχήμα 2.9- Δενδροειδές Διάγραμμα Ανάλυσης Συμβάντος για την περίπτωση: Διέλευση πεζού που αγνοεί το κόκκινο φανάρι από διάβαση. Κύκλοι: Κόμβοι πιθανών σεναρίων Τρίγωνα: Κόμβοι αποτελεσμάτων	42
Σχήμα 2.10 - Δενδροειδές Διάγραμμα Ανάλυσης Αποφάσεων Τετράγωνα: Κόμβοι αποφάσεων Κύκλοι: Κόμβοι πιθανών σεναρίων Τρίγωνα: Κόμβοι αποτελεσμάτων (ITA, 2002)	43
Εικόνα 3.1- Δίκτυο Αττικό Μετρό και Αναγνώρισης Περιοχής ενδιαφέροντος	48
Εικόνα 3.2 - Αεροφωτογραφία της περιοχής κατασκευής της σήραγγας και του Φρέατος Πρόσβασης έως τον σταθμό ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ	49
Εικόνα 3.3 - Αεροφωτογραφία της περιοχής κατασκευής του σταθμού ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ	49
Εικόνα 3.4 - Σχέδιο υπογείων εργασιών εξόρυξης στο λιγνιτορυχείο Περιστερίου το 1940 (Γ. Βορεάδης)	66
Εικόνα 3.5 - Σχέδιο των υπογείων στοών και απόλυτο υψόμετρο αυτών (De Pian, 1949).	67
Σχήμα 4.1 - Διάγραμμα Ροής προσαρμοσμένο από Benardos et al. 2004	79
Σχήμα 4.2 - Καθιζήσεις λόγω της εκσκαφής σήραγγας	86
Σχήμα 4.3 - Χαρακτηριστικά καμπύλης υποχώρησης της επιφάνειας του εδάφους (Peck, 1969)	88
Σχήμα 4.4 - Γεωλογικός δείκτης αντοχής για συνεκτικές βραχόμαζες (Hoek και Μαρίνος 2000)	89
Σχήμα 4.5 - Καμπύλες Attewell	91
Εικόνα 4.1 - Το τυπικό περιβάλλον λειτουργίας του Surpac – Λειτουργία block modelling.	95
Εικόνα 4.2 - Δείγμα μητρώου γεώτρησης	96
Εικόνα 4.3 – Περιοχή μελέτης, ίχνος σήραγγας και θέση γεωτρήσεων	99
Εικόνα 4.4 - Μοντέλο RQD	102
Εικόνα 4.5 - Μοντέλο GSI	102
Εικόνα 4.6 - Μοντέλο STRU	103
Εικόνα 4.7 - Μοντέλο GEOL	103
Εικόνα 5.1 - Παραδείγματα διαφόρων κατανομών πιθανότητας (Benardos et al. 2004)	108
Εικόνα 5.2 - Γραφική απεικόνιση της σχέσης μεταξύ των x , $F(x)$ και $G(F(x))$ (Benardos et al. 2004)	109
Εικόνα 5.3 - Παράδειγμα δειγματοληψίας με τεχνική Latin Hypercube (Benardos et al. 2004)	110
Εικόνα 5.4 - Αποτελέσματα Βαθμονόμησης Παραμέτρων	124
Εικόνα 5.5 - (α). Αρχή λειτουργίας του πίνακα αλληλεπίδρασης, και (β). εξέταση της αλληλεπίδρασης (Hudson, 1991;	126

1992)	
Εικόνα 5.6 - Γενική παρουσίαση του πίνακα αλληλεπίδρασης. (Benardos et al. 2004)	128
Εικόνα 5.7 - Χώρος C-E. Παρουσίαση του κέντρου βάρους και του «αστερισμού» των παραμέτρων του (Benardos et al. 2004)	129
Εικόνα 5.8 - Υπολογισμός της βαρύτητας κάθε παραμέτρου στο σύστημα (Benardos et al. 2004)	129
Σχήμα 5.1 – Παρουσίαση του «αστερισμού» των παραμέτρων του συστήματος για το Μετρό των Αθηνών	132
Εικόνα 5.9 – Crystal Ball- Διάγραμμα κατανομής του δείκτη τρωτότητας για την περιοχή εξέτασης 1	136
Εικόνα 5.10 - Crystal Ball- Διάγραμμα κατανομής του δείκτη τρωτότητας για την περιοχή εξέτασης 2	136
Εικόνα 5.11 - Crystal Ball- Διάγραμμα κατανομής του δείκτη τρωτότητας για την περιοχή εξέτασης 3	137
Εικόνα 5.12 - Crystal Ball- Διάγραμμα κατανομής του δείκτη τρωτότητας για την περιοχή εξέτασης 4	137
Εικόνα 5.13 - Crystal Ball- Διάγραμμα κατανομής του δείκτη τρωτότητας για την περιοχή εξέτασης 5	138
Εικόνα 5.14 - Crystal Ball- Διάγραμμα κατανομής του δείκτη τρωτότητας για την περιοχή εξέτασης 6	138
Εικόνα 5.15 – Crystal Ball -Παρουσίαση των τιμών του δείκτη τρωτότητας των περιοχών ανάλυσης, σε συνάρτηση με το ποσοστό βεβαιότητάς τους.	139
Εικόνα 5.16 - Ιστογράμματα κατανομής των τιμών του δείκτη τρωτότητας για εύρη τιμών, όπως δίνονται από τις δοκιμές πιθανολογικής προσομοίωσης	140
Εικόνα 5.17 - Αναγνώριση των κατηγοριών τρωτότητας στις επιλεχθείσες υποπεριοχές ανάλυσης	142

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 2.1- Τύποι ατυχημάτων κατά την κατασκευή σιδηρόδρομων (R.L.Sousa, et al. 2010)	23
Πίνακας 3.1 - Οριζοντιογραφία περιοχής γεωτρήσεων	61
Πίνακας 3.2 - Χρησιμοποιούμενη Τυπική Διατομή ανά Χ.Θ.	71
Πίνακας 4.1 - Βασικοί τύποι λιθολογικών ενοτήτων στην περιοχή εξέτασης	82
Πίνακας 4.2 - Σχέση παραμέτρων / Πιθανότητα εμφάνισης ανεπιθύμητου συμβάντος (Sousa, 2010)	84
Πίνακας 4.3 - Εκτιμώμενη συμπεριφορά σιδηρόδρομου σε συνάρτηση με τον συντελεστή	86
Πίνακας 4.4 - Δείγμα ψηφιοποιημένων δεδομένων	97
Πίνακας 4.5 - Κωδικοποίηση GEOL	97
Πίνακας 4.6 - Κωδικοποίηση STRU	98
Πίνακας 4.7 – Γεωγραφικά στοιχεία των γεωτρήσεων στην περιοχή μελέτης	99
Πίνακας 4.8 – λίστα στατιστικών δεδομένων για την περιοχή 4	105
Πίνακας 5.1 - Ομαδοποιημένα στατιστικά δεδομένα RQD - area 2	112
Πίνακας 5.2 - Κατανομές συντελεστή διαπερατότητας	117
Πίνακας 5.3- Κατανομές μονοαξονικής αντοχής	118
Πίνακας 5.4 - Κατανομές παραγόντων c και φ	119
Πίνακας 5.5 - - Μέσο ύψος υπερκειμένων/σν ανά υποπεριοχή	121
Πίνακας 5.6- Προτεινόμενη βαθμονόμηση των παραμέτρων εξέτασης που συμμετέχουν στην ανάλυση τρωτότητας	123
Πίνακας 5.7 - Προτεινόμενη ημι-ποιοτική μέθοδος βαθμονόμησης (expert semi-qualitative coding) (Hudson, 1991; 1992)	127
Πίνακας 5.8 - Πίνακας αλληλεπίδρασης για την ανάλυση της τρωτότητας του γεωλογικού μέσου.	130
Πίνακας 5.9 - Υπολογισμός των χαρακτηριστικών τιμών των παραμέτρων, όπως προκύπτουν από τον πίνακα αλληλεπίδρασης.	131
Πίνακας 5.10 - Συντελεστές βαρύτητας των παραμέτρων εξέτασης.	134
Πίνακας 5.11- Στατιστικά στοιχεία της ανάλυσης τρωτότητας για τις περιοχές εξέτασης	139
Πίνακας 5.12 - Μορφή δεδομένων στο ημερολόγιο εργοταξίου, όπως αυτό δόθηκε	143
Πίνακας 5.13 - Ρυθμοί προχώρησης και τύποι εκσκαφής και υποστήριξης	144

Πίνακας Σχεδίων και Χαρτών

Χάρτης 3.1 Γενική οριζοντιογραφία και Θέσεις Γεωτρήσεων	50
Χάρτης 3.2 - Γεωλογικός Χάρτης της Νοτιοανατολικής Αττικής και Γεωλογική Τομή των Σχηματισμών της Περιοχής	53
Χάρτης 3.3 - Γεωλογικός Χάρτης Ευρύτερης Περιοχής Μελέτης με την Θέση του Έργου (απόσπασμα του Γεωλογικού Χάρτη Ελλάδος / ΦΥΛΛΟ ΑΘΗΝΑΙ - ΕΛΕΥΣΙΣ, ΙΓΜΕ 1986 - Κλίμακα 1:50.000)	56
Σχέδιο 3.1 τυπική διατομή I	76
Σχέδιο 3.2 τυπική διατομή III	76
Σχέδιο 3.3 - Μηκοτομή Τυπικής Διατομής I	
Σχέδιο 3.4 - Μηκοτομή Τυπικής Διατομής III	77
Σχέδιο 4.1 - Περιοχή ανάλυσης με υποπεριοχές	81

Πίνακας Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 4.1 – Αρχική εκτίμηση δείκτη GSI στην περιοχή μελέτης	82
Διάγραμμα 4.2 – Αρχική εκτίμηση δείκτη RQD στην περιοχή μελέτης	83
Διάγραμμα 5.1 - Ποσοστιαία Κατανομή τιμών δείκτη GSI στις υποπεριοχές εξέτασης	113
Διάγραμμα 5.2 - Ποσοστιαία Κατανομή τιμών δείκτη RQD στις υποπεριοχές εξέτασης	114
Διάγραμμα 5.3 - Ποσοστιαία Κατανομή τιμών δείκτη βαθμού αποσάθρωσης στις υποπεριοχές εξέτασης	114
Διάγραμμα 5.4 - Βάθος κατασκευής (m)	115
Διάγραμμα 5.5 - Σχετικό ύψος του υδροφόρου (m)	115
Διάγραμμα 5.6 - Κατανομή διαπερατότητας ασβεστόλιθου (τιμές * 107 m/sec) όπως μοντελοποιείται με τη χρήση τριγωνικής κατανομής (1,00x10 ⁻⁵ , 5,00x10 ⁻³ , 5,00x10 ⁻⁴)	117
Διάγραμμα 5.7 - Κατανομή αντοχής σχιστόλιθου όπως μοντελοποιείται με τη χρήση τριγωνικής κατανομής (3,00, 25,00, 8)	118
Διάγραμμα 5.8 - Κατανομή μεταβλητής c μεταυλιόλιθου όπως μοντελοποιείται με τη χρήση κανονικής κατανομής Normal (35,5)	120
Διάγραμμα 5.9 - Κατανομή μεταβλητής φ μεταυλιόλιθου όπως μοντελοποιείται με τη χρήση τριγωνικής κατανομής (26,28,30)	120
Διάγραμμα 5.10 - Ιστόγραμμα των τιμών της συνολικής επίδρασης (C+E) των παραμέτρων στο σύστημα	133

Περίληψη

Η συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για ανάπτυξη υποδομών παγκοσμίως, ειδικά εντός αστικών περιοχών, έχει οδηγήσει, μεταξύ άλλων, στην ραγδαία αύξηση του αριθμού υπογείων έργων όπως το Αττικό Μετρό. Αυτού του είδους τα τεχνικά έργα όμως συχνά αντιμετωπίζουν προβλήματα κυρίως κατά τη φάση κατασκευής τους. Οι τύποι κινδύνων που αντιμετωπίζονται από την σήραγγοποιία είναι κυρίως γεωτεχνικής φύσεως, και οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στην αβεβαιότητα που χαρακτηρίζει το γεωλογικό μέσο.

Η παρούσα διπλωματική εργασία πηγάζει από τις αυξανόμενες ανάγκες για ασφάλεια και αποφυγή ανεπιθύμητων συμβάντων κατά την ανάπτυξη υπογείων έργων. Ασχολείται με την διαχείριση της αβεβαιότητας σε σήραγγες που διανοίγονται χρησιμοποιώντας την New Austrian Tunnelling Method (NATM). Αυτό επιχειρείται εφαρμόζοντας μία μεθοδολογία εκτίμησης κινδύνων σε ένα μελετώμενο έργο: την σήραγγα που διανοίχθηκε με NATM στα πλαίσια της επέκτασης της Γραμμής 2 του Αττικού Μετρό, «Άγιος Αντώνιος – Ανθούπολη». Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται εκτιμά τους πιθανούς γεωτεχνικούς παράγοντες που μπορούν να οδηγήσουν σε επικίνδυνες καταστάσεις και εν συνεχεία να υπολογίσει τη σημασία τους και συνδυαστική επίδρασή τους, σε μια προσπάθεια εκτίμησης συγκριτικά των περιοχών οι οποίες εμφανίζουν τη μεγαλύτερη τρωτότητα (χρησιμοποιώντας την έννοια του Δείκτη Τρωτότητας), όσον αφορά την κατασκευαστική διαδικασία. Απώτερος σκοπός της είναι να εκτιμηθούν οι πιθανοί κίνδυνοι που απειλούν την σωστή ανάπτυξη και την εύρυθμη λειτουργία του έργου.

Τα βασικά βήματα υλοποίησης της μεθοδολογίας είναι:

- Αποδελτίωση γεωτρητικών δεδομένων από ερευνητικές γεωτρήσεις μέσα στην περιοχή εξέτασης.
- Αναγνώριση των κυριότερων παραμέτρων που επιδρούν στην τρωτότητα του γεωλογικού μέσου.
- Εισαγωγή των γεωτρητικών δεδομένων στο λογισμικό Surpac μαζί με τοπογραφικά δεδομένα (θέσεις γεωτρήσεων, ανάγλυφο περιοχής), και δημιουργία τεσσάρων τρισδιάστατων μοντέλων (block models) με στόχο την χωρική ανάλυση των διαθέσιμων δεδομένων.
- Διάκριση τις περιοχής μελέτης σε έξι υποπεριοχές ανάλυσης.
- Προσδιορισμός των τιμών των παραμέτρων αντιστοιχίζοντας τις με τα δεδομένα της χωρικής ανάλυσης και δημιουργώντας στατιστικές κατανομές προσομοίωσης της συμπεριφοράς τους.
- Βαθμονόμηση των παραμέτρων εξέτασης και συνθετική εκτίμηση της επίδρασης τους στην κατασκευαστική λειτουργία.
- Εκτέλεση πιθανολογικής προσομοίωσης με τεχνικές Monte-Carlo (Monte-Carlo simulation) χρησιμοποιώντας το λογισμικό Crystal Ball για την τελική αξιολόγηση της τρωτότητας του γεωλογικού μέσου και της μεταβλητότητας που αυτή εμφανίζει.
- Έλεγχος των αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας με αντιπαραβολή πραγματικών δεδομένων από το ολοκληρωμένο έργο.

Abstract

The constantly increasing need for the development of infrastructures globally, especially in urban areas, has led, among others, to a rapid increase in the number of underground projects, like urban metro systems as the Athens Metro. However, this kind of engineering projects are usually facing problems primarily during their construction phase. The types of dangers that are usually encountered are mainly of geotechnical nature and are largely related to the uncertainty that characterizes the geological medium. The present Diploma thesis stems from the need to avoid undesirable events or even to be properly prepared to address them during the development phase of underground projects.

It's main concerns with the management of uncertainty in tunnels bored using the New Austrian Tunnelling Method (NATM). This is made available by applying a methodology of risk analysis in a case study; the "Agios Antonios – Anthoupoli" tunnel which is constructed using NATM as part of the extension of Line 2 of the Athens Metro. The methodology proposed in the thesis uses the concept of Vulnerability Index and estimates the possible geotechnical factors that can lead to dangerous situations. Furthermore it calculate their importance and their combinatorial impact, in an effort to identify the areas that appear to be most vulnerable, as regards the construction procedure. Its ulterior goal is to assess the possible dangers that threaten the uninhibited development and operation of the project.

The basic steps of implementation of the methodology are:

- Indexing of drill hole data from the area of interest.
- Identification of the main parameters that influence the vulnerability of the geological medium.
- Introduction of the drill hole data to the SURPAC software along with topographic data (drill hole coordinates, area layout), and creation of four 3D models (block models) aiming to spatially analyse the available data.
- Division of the area of interest to six analysis segments.
- Determination of the parameters' values by correlating them to the data from the spatial analysis and by creating statistical distribution that simulate their behavior.
- Calibration of the reviewed parameters and combinational assessment of their effect on the construction procedure.
- Execution of probabilistic simulation using the Monte-Carlo method, using the Crystal Ball software for the conclusive evaluation of the vulnerability of the geological medium and the variability it displays.
- Audit of the methodology results by comparing them to the actual data resulted from the completed project.

Πρόλογος

Αφορμή για την εκπόνηση αυτής της εργασίας στάθηκε η Πρακτική Άσκηση II που πραγματοποιήσαμε το καλοκαίρι του 2009 στην εταιρία Αττικό Μετρό. Κατά τη διάρκεια της Πρακτικής στο εργοτάξιο του Περιστερίου ήρθαμε σε επαφή με ένα μεγάλο έργο, αυτό της επέκτασης της Γραμμής 2 του Μετρό των Αθηνών που περιλαμβάνει το τμήμα της σήραγγας από τον «Άγιο Αντώνιο» και τους σταθμούς «Περιστέρι» και «Ανθούπολη».

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι εκτίμηση των γεωτεχνικών κινδύνων στα υπόγεια τεχνικά έργα, τόσο μέσω της χρήσης κλασικών «εργαλείων» ενός μηχανικού (συλλογή γεωτεχνικών στοιχείων, μοντελοποίηση υπογείου χώρου κτλ.), όσο και μέσω τεχνικών που ξεφεύγουν από το παραδοσιακό επιστημονικό υπόβαθρο μιας κλασικής γεωτεχνικής μελέτης (πιθανολογική εκτίμηση κινδύνου, χρήση στατιστικών εργαλείων, κτλ). Η ολοκληρωμένη μεθοδολογία εφαρμόστηκε σε μέρος του έργου στο οποίο εργαστήκαμε κατά την Πρακτική Άσκηση.

Η εργασία δομείται σε έξι συνολικά κεφάλαια:

Στο 1^ο κεφάλαιο δίνεται η εισαγωγή στο θέμα της εργασίας και παρουσιάζονται οι στόχοι και τα βασικά στάδια της εργασίας.

Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στα υπόγεια έργα, τις σήραγγες και τη μέθοδο διάνοιξης σηράγγων NATM (New Austrian Tunnelling Method). Στη συνέχεια ορίζεται η έννοια του κινδύνου και πιο συγκεκριμένα αναγνωρίζονται οι συνήθεις τύποι κινδύνων που απειλούν τα υπόγεια έργα. Επίσης αναφέρονται τα διάφορα τεχνικά προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν κατά τη διάνοιξη του Αττικό Μετρό. Τέλος γίνεται μία αναφορά στην μεθοδολογία εκτίμησης κινδύνων και τα εργαλεία πιθανολογικής εκτίμησης κινδύνου.

Στο 3^ο κεφάλαιο αρχικά γίνεται μια σύντομη αναφορά στο μετρό της Αθήνας και στην εταιρεία υλοποίησης, ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., αλλά και στο επί μέρους έργο επέκτασης του μετρό, στο τμήμα Άγιος Αντώνιος – Ανθούπολη, μέρος του οποίου εξετάζεται στα πλαίσια αυτής της εργασίας. Στην συνέχεια ορίζονται τα όρια της περιοχής μελέτης, καθώς και αναφέρονται οι υφιστάμενες υποδομές. Ακολούθως, εξετάζεται το γεωλογικό υπόβαθρο και το ιστορικό χρήσης του

υπεδάφους της ευρύτερης περιοχής που ανήκει το έργο. Επίσης αναφέρονται τα τεχνικά στοιχεία της εφαρμογής της μεθόδου NATM στο συγκεκριμένο έργο.

Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία εκτίμησης κινδύνων και ορίζονται οι οκτώ συστατικές παράμετροι του δείκτη τρωτότητας. Η περιοχή εξέτασης χωρίζεται σε έξι υποπεριοχές ανάλυσης και ακολουθεί η ανάλυση και εισαγωγή των γεωτρητικών και χωρικών δεδομένων των γεωτρήσεων σε βάση δεδομένων του λογισμικού Surpac, με τη βοήθεια του οποίου αναλύονται και αποτυπώνονται τρισδιάστατα μοντέλα (block models) για τέσσερις βασικές μεταβλητές. Οι μεταβλητές αυτές αποτελούν τη βάση για την εκτίμηση της κατανομής των οκτώ παραμέτρων στις έξι υποπεριοχές ανάλυσης.

Το 5^ο κεφάλαιο ξεκινά με τον συσχετισμό των διαθέσιμων δεδομένων από τα block models, αλλά και των λοιπών (βιβλιογραφικών και ερευνητικών) διαθέσιμων στοιχείων με τις παραμέτρους του δείκτη τρωτότητας. Ακολουθεί η πιθανολογική ανάλυση κάθε παραμέτρου ανά περιοχή μέσω της μεθόδου Monte Carlo, και ακολουθεί η βαθμονόμηση των παραμέτρων. Στη συνέχεια υπολογίζονται συντελεστές βαρύτητας για τις επιμέρους βαθμονομημένες παραμέτρους ώστε τελικά το σταθμισμένο άθροισμα των τελευταίων να μας δώσει τις τιμή του δείκτη τρωτότητας για κάθε υποπεριοχή. Τέλος, γίνεται η επαλήθευση των αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας με δεδομένα από την κατασκευαστική φάση.

Στο 6^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας σχετικά με τη μεθοδολογία, αλλά και με την περιοχή εξέτασης.

Θερμές ευχαριστίες οφείλονται σε ορισμένα πρόσωπα, των οποίων η βοήθεια καθώς και η συμπαράσταση τους αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα για την πραγματοποίηση αυτής της διπλωματικής. Ιδιαίτερα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα της διπλωματικής κ. Ανδρέα Μπενάρδο, Λέκτορα Ε.Μ.Π., για την ευνοϊκή υποδοχή, την ενθάρρυνση μιας ιδέας που χωρίς το ενδιαφέρον, την καθημερινή καθοδήγηση και υποστήριξή του δεν θα είχε μετατραπεί σε αυτή την εργασία. Ακόμα αξίζει να σημειωθεί ότι η μεθοδολογία που χρησιμοποιήσαμε στην εργασία βασίζεται σε σημαντικό βαθμό στην έρευνα που έχει κάνει πάνω στην εκτίμηση κινδύνου μέσα από τη διδακτορική διατριβή και τα άρθρα που έχει δημοσιεύσει. Επίσης στον κ. Δημήτριο Καλιαμπάκο, Καθηγητή Ε.Μ.Π., για το ιδιαίτερο ενδιαφέρον και την σύλληψη της ιδέας αυτής της

εργασίας. Ευχαριστούμε ιδιαίτερα την κα. Μαρία Μενεγάκη, Λέκτορα Ε.Μ.Π. και τον κ. Αθανάσιο Μαυρίκο, Δρ Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργό, για τις πολύτιμες συμβουλές τους και εύρεση λύσεων σε κομβικά ζητήματα. Ακόμη, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κύριο Κωνσταντίνο Σατζάκη, Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργό της Αττικό Μετρό για την άψογη αντιμετώπιση και παροχή συμβουλών και υλικού τόσο κατά την περίοδο της Πρακτικής Άσκησης στο εργοτάξιο της Αττικό Μετρό, όσο και αργότερα κατά την υλοποίηση της εργασίας αυτής. Επίσης τους κυρίους Μάρκο Νόβακ και Γεώργιο Στούμπο από τα κεντρικά της Αττικό Μετρό Α.Ε. για όλο το υλικό που μας παραχώρησαν όποτε αυτό κατέστη απαραίτητο. Ευχαριστούμε επίσης τα μέλη της επιτροπής εξέτασης της διπλωματικής κύριο Δημήτριο Καλιαμπάκο, Καθηγητή Ε.Μ.Π. και κ. Παύλο Νομικό, Λέκτορα Ε.Μ.Π. για το χρόνο που διέθεσαν για την αξιολόγηση της εργασίας. Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Μεταλλευτικής Τεχνολογίας & Περιβαλλοντικής Μεταλλευτικής της Σχολής, για το εξαιρετικό κλίμα συνεργασίας που έχει δημιουργηθεί.

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Η μελέτη, κατασκευή και εύρυθμη λειτουργία των υπόγειων έργων, ειδικά εντός αστικών περιοχών, αποτελούν ως σύνολο μια ιδιαίτερη διαδικασία. Αντιμετωπίζουν την εγγενή αβεβαιότητα που σχετίζεται με τα υπόγεια έργα, η οποία ιδιαίτερα σε συνθήκες αστικού περιβάλλοντος χρίζει ειδικής προσέγγισης. Τα προβλήματα που μπορούν να προκύψουν, κυρίως κατά το στάδιο της κατασκευής των υπογείων έργων, έχουν σφοδρότερες επιπτώσεις στα αστικά υπόγεια έργα, καθώς αυτά καλούνται να πραγματοποιηθούν προκαλώντας την ελάχιστη δυνατή όχληση προς τις υφιστάμενες υποδομές. Η σωστή ανάπτυξη ενός τέτοιου έργου σε συνδυασμό με την διατήρηση της εύρυθμης λειτουργίας της πόλης που το φιλοξενεί, καθορίζουν σε μεγάλο ποσοστό τον βαθμό επιτυχίας του εγχειρήματος. Παράδειγμα τέτοιων έργων αποτελεί η κατασκευή υπόγειων μητροπολιτικών σιδηροδρομικών δικτύων, ως τμήμα του συνόλου των έργων υποδομών μιας σύγχρονης πόλης. Στην περίπτωση της Αθήνας, η κατασκευή του Μετρό καθυστέρησε χρονικά συγκριτικά με άλλες μεγαλουπόλεις. Η εικόνα κορεσμού τόσο του κέντρου της Αθήνας, όσο και των μεγάλων οδικών αξόνων δικαιολογεί την ανάγκη για συνεχή αναβάθμιση του δικτύου του μετρό με νέους σταθμούς και γραμμές.

Η φύση έργων όπως το Αττικό Μετρό κρύβει κινδύνους σε κάθε φάση της κατασκευής τους. Το σχετικά μικρό βάθος στο οποίο συνήθως υλοποιούνται μπορεί να είναι παραπλανητικό ως προς τη δυσκολία περάτωσης τους καθώς υπάρχει σχεδόν μηδενική ανοχή για διαταραχές του υπεδάφους στην περιοχή του έργου, τόσο λόγω των υφιστάμενων υποδομών της εκάστοτε περιοχής, όσο και για τις ανάγκες ασφαλείας για την διάρκεια κατασκευής και λειτουργίας του ίδιου του έργου.

Η παρούσα εργασία διαχειρίζεται την αβεβαιότητα από τα πρώτα στάδια υλοποίησης ενός αστικού έργου για να εντοπίσει πιθανές περιοχές υψηλού κινδύνου. Η ανάλυση έγινε κατά μήκος της επέκτασης της Γραμμής 2 του Αττικό Μετρό, Άγιος Αντώνιος – Ανθούπολη, για το κομμάτι της σήραγγας που διανοίχθηκε με τη μέθοδο NATM (New Austrian Tunneling Method) και

περιλαμβάνει μέρος του υπογείου τμήματος του σταθμού Περιστερί. Το έργο επέκτασης βρίσκεται στα τελικά στάδια κατασκευής και σύντομα ο νέος σταθμός θα παραδοθεί προς λειτουργία. Καθώς η εργασία έγινε κατά τη διάρκεια τελικού σταδίου κατασκευής του έργου, υπήρξε η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν στοιχεία από τις γεωτεχνικές μελέτες για τις ανάγκες της εργασίας και στη συνέχεια στοιχεία από την πρόοδο του έργου για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων που παρήχθησαν από αυτήν.

Ο τρόπος εκτίμησης της επικινδυνότητας που ακολουθήθηκε αναπτύχθηκε σύμφωνα με τη μεθοδολογία που προτείνεται από τον Benardos et al. (2004) στο άρθρο «A methodology for accessing geotechnical hazards for TBM tunneling – illustrated by the Athens Metro, Greece» και προσαρμόστηκε για τις ανάγκες διάνοιξης με τη μέθοδο NATM (New Austrian Tunnelling Method).

1.2 Στόχος της εργασίας - Στάδια υλοποίησης

Ο στόχος της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε δεν είναι να εξετάσει μεμονωμένους γεωτεχνικούς κινδύνους που μπορεί να προκύψουν κατά τη διάρκεια κατασκευής και λειτουργίας του έργου, αλλά αντιθέτως να προσδιορίσει την τρωτότητα το γεωλογικού μέσου ως ένα μέγεθος που είναι άμεσα συναρτώμενο με το βαθμό επικινδυνότητας του έργου. Έτσι περιλαμβάνεται το σύνολο των προβλημάτων που είναι πιθανό να προκύψουν κατά την κατασκευή υπογείων έργων.

Για να οριστεί αυτός ο ενιαίος βαθμός αξιολόγησης της περιοχής μελέτης, διακρίνονται τέσσερα στάδια εργασίας:

- Στο πρώτο στάδιο, καθορίστηκαν οι οκτώ παράμετροι εξέτασης που σε μεταγενέστερο στάδιο συνετέλεσαν στην εκτίμηση του δείκτη τρωτότητας. Στη συνέχεια έγινε η επιλογή των κατάλληλων δεδομένων από τα μητρώα των ερευνητικών γεωτρήσεων που είχαν ορυχθεί στην περιοχή του έργου πριν την έναρξη των εργασιών, η ψηφιοποίηση τους και η αρχειοθέτηση τους, ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία τους στη συνέχεια.

- Στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή των στοιχείων των γεωτρήσεων από το πρώτο στάδιο στο λογισμικό Gemcom's Surpac με τη μορφή μιας βάσης δεδομένων. Με χρήση της λειτουργίας block modeling του λογισμικού, καθώς και γεωγραφικά δεδομένα, δημιουργήθηκε block model που αναπαριστά τις γεωλογικές συνθήκες της περιοχής εξέτασης. Επίσης δημιουργήθηκαν άλλα τρία block models με σκοπό μια πρώτη εκτίμηση για την κατανομή τιμών μετρήσιμων γεωτεχνικών ιδιοτήτων στο χώρο χρησιμοποιώντας τα στοιχεία της βάσης δεδομένων. Σημειώνεται ότι το σύνολο της περιοχής εξέτασης χωρίστηκε σε έξι υποπεριοχές ίσου μεταξύ τους μεγέθους με τις πέντε να καλύπτουν το τμήμα της σήραγγας και την έκτη το υπόγειο τμήμα του σταθμού «Περιστέρι».
- Στο τρίτο στάδιο εξήχθησαν από τα μοντέλα στοιχεία σχετικά με τις γεωλογικές και γεωτεχνικές ιδιότητες της κάθε υποπεριοχής εξέτασης. Στη συνέχεια έγινε συσχέτιση των ιδιοτήτων αυτών με τις οκτώ παραμέτρους εξέτασης, είτε άμεσα για ιδιότητες όπως η ποιότητα της βραχώμαζας σύμφωνα με την κατάταξη κατά GSI, είτε έμμεσα με την χρήση του γεωλογικού block model και πιθανολογικής προσομοίωσης Monte Carlo για την εκτίμηση γεωλογικά εξαρτημένων ιδιοτήτων όπως ο βαθμός διαπερατότητας των σχηματισμών. Στη συνέχεια έγινε περαιτέρω χρήση της μεθόδου Monte Carlo, έτσι ώστε από το σύνολο των βαθμονομημένων πλέον παραμέτρων εξέτασης και λαμβάνοντας υπόψη το ποσοστό επίδρασης (βαρύτητας) της κάθε παραμέτρου στην τρωτότητα του γεωλογικού μέσου, υπολογίστηκε ο δείκτης τρωτότητας κάθε υποπεριοχής
- Στο τελευταίο στάδιο της μεθοδολογίας έγινε επαλήθευση των αποτελεσμάτων της εκτίμησης του δείκτη τρωτότητας με τη χρήση του ημερολογίου εργασιών του εργοταξίου.

Κεφάλαιο 2 – Ο Κίνδυνος Στα Υπόγεια Έργα

2.1 Υπόγεια έργα

Οι κοινωνικές ανάγκες των τελευταίων χρόνων καθώς και η λογική ή η προσπάθεια επίτευξης της αειφόρου ανάπτυξης ωθούν τις κοινωνίες προς την κατεύθυνση της αξιοποίησης του υπόγειου χώρου. Η απότομη αύξηση του πληθυσμού και οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες των πόλεων για νέα κτίρια και έργα υποδομής (συγκοινωνιακής, βιομηχανικής, κοινής ωφελείας κ.α.), σε συνδυασμό με την έλλειψη σωστού χωροταξικού σχεδιασμού οδηγεί σε σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας της ζωής στις αστικές περιοχές. Η σύγχρονη επιστημονική γνώση και η ευαισθητοποίηση του κόσμου σε θέματα περιβάλλοντος έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία κλίματος δυσπιστίας και επιφυλακτικότητας απέναντι στις παραδοσιακές κατασκευές έργων υποδομής. Έτσι, λύσεις που παλαιότερα θεωρούνταν δύσκολες και μη οικονομικές, επανεξετάστηκαν και υιοθετήθηκαν. Οι υπόγειοι χώροι είναι σε θέση να καλύψουν ένα ευρύ φάσμα αναγκών και να φιλοξενήσουν χρήσεις που δεν είναι επιβεβλημένο να βρίσκονται στο επίπεδο του εδάφους, όπως εγκαταστάσεις συγκοινωνιακής υποδομής, χώρους στάθμευσης, αποθήκευσης αγαθών ή αποβλήτων, παραγωγής ενέργειας κ.α. (Kaliampakos, et al. 2003).

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Ο προσδιορισμός των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων των υπογείων έργων είναι δύσκολος καθώς τα χαρακτηριστικά από τα οποία εξαρτώνται είναι διαφορετικά σε κάθε περίπτωση και έχουν σχέση με τις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή κατασκευής.

Τα άμεσα πλεονεκτήματα προκύπτουν από την υπόγεια τοποθέτηση των συγκεκριμένων χρήσεων και απορρέουν από ορισμένα εν γένει χαρακτηριστικά του υπογείου χώρου και τα έμμεσα από τις υπηρεσίες που προσφέρει ο κάθε τύπος έργου. (Kaliampakos, et al. 2003) Τα άμεσα πλεονεκτήματα είναι:

- **Υψηλή διαθεσιμότητα-μειωμένες ανάγκες επιφανειακών χώρων.** Η κατασκευή ενός έργου κάτω από την επιφάνεια του εδάφους μπορεί να γίνει σχεδόν οπουδήποτε, ενώ οι

παράγοντες που μπορούν να θέσουν περιορισμούς σε αυτό είναι περιορισμένοι. Επιπλέον, οι ανάγκες των υπογείων έργων σε επιφανειακούς χώρους είναι σχεδόν μηδενικές, γεγονός που συμβάλει στην περεταίρω ανεξαρτητοποίηση τους από εξωτερικούς παράγοντες. Έτσι η υψηλή διαθεσιμότητα που εμφανίζουν οι υπόγειες κατασκευές, επιτρέπει τη δημιουργία έργων ακόμα και σε τοποθεσίες όπου δεν είναι δυνατή η κατασκευή επιφανειακών εγκαταστάσεων είτε διότι συγκεκριμένες τοπογραφικές συνθήκες δεν το επιτρέπουν, είτε διότι δεν υπάρχουν οι αναγκαίες εκτάσεις (π.χ. μέσα στο αστικό περιβάλλον)

- **Απομόνωση-απόκρυψη.** Η φυσική απομόνωση και αδιαφάνεια είναι χαρακτηριστικά των κατασκευών που δημιουργούνται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Χάρη στο φυσικό αδιαπέρατο φραγμό που επιβάλλει το γεωλογικό μέσο, προσφέρονται σημαντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά στην προστασία τόσο των ίδιων των κατασκευών και εγκατεστημένων χρήσεων από τις επιφανειακές δραστηριότητες και από τα καιρικά φαινόμενα, όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον από τις διεργασίες που συμβαίνουν εντός του υπόγειου συγκροτήματος. Επιπλέον, αρκετοί τύποι εγκαταστάσεων και δραστηριοτήτων, η παρουσία των οποίων στην επιφάνεια είναι ελάχιστα αποδεκτή ή και ανεπιθύμητη (επεξεργασία λυμάτων, αποθήκευση τοξικών και ραδιενεργών αποβλήτων), μπορούν να τοποθετηθούν σε υπόγειους χώρους.
- **Περιβαλλοντική προστασία.** Η ανάπτυξη του υπόγειου χώρου συμβάλλει αποφασιστικά στην αντιμετώπιση πλήθους περιβαλλοντικών επιπτώσεων, τα οποία σε αντίστοιχες επιφανειακές εγκαταστάσεις θα ήταν δύσκολο να ελεγχθούν. Η επίδραση των υπογείων έργων στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον μιας περιοχής θεωρείται μηδενική.

2.1.1 Σήραγγες

Οι σήραγγες αποτελούν την πιο συνηθισμένη μορφή υπογείων έργων. Πρόκειται για επιμήκη οριζόντια ανοίγματα που συνήθως έχουν μικρή κλίση. Το μέγεθος της διατομής τους ποικίλει ανάλογα με τη χρήση τους, όπως:

- συγκοινωνιακή υποδομή. Οδικές, σιδηροδρομικές, μετρό και διαβάσεις πεζών.
- Υπηρεσίες κοινής ωφέλειας. Δίκτυα τηλεφωνικού, ηλεκτρικού και ειδικές καλωδιώσεις.
- Μεταφορά – Απαγωγή. Για ύδρευση, άρδευση, αποχέτευση και αντιπλημμυρικά έργα.

- Αποθήκευση διαφόρων υγρών, καυσίμων και αποβλήτων.
- Άμυνα. Κατασκευή καταφυγίων και στρατιωτικών εγκαταστάσεων
- Εκμετάλλευση κοιτασμάτων. Για αερισμό, προσπέλαση, μεταφορά και εξόρυξη
- Εκμετάλλευση υπόγειων νερών και αποστράγγιση. Υδρομάστευση και αποστράγγιση

2.1.2 Διάνοιξη σηράγγων με τη μέθοδο NATM

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

Αν και δεν υπάρχει γενικώς αποδεκτός ορισμός της "Μεθόδου NATM", ο όρος συνήθως χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διάνοιξη σηράγγων με εκτεθειμένο το μέτωπο εκσκαφής (δηλαδή χωρίς την εφαρμογή πίεσης με μηχανικά μέσα) και υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (απλό ή οπλισμένο) ή/και αγκύρια βράχου.

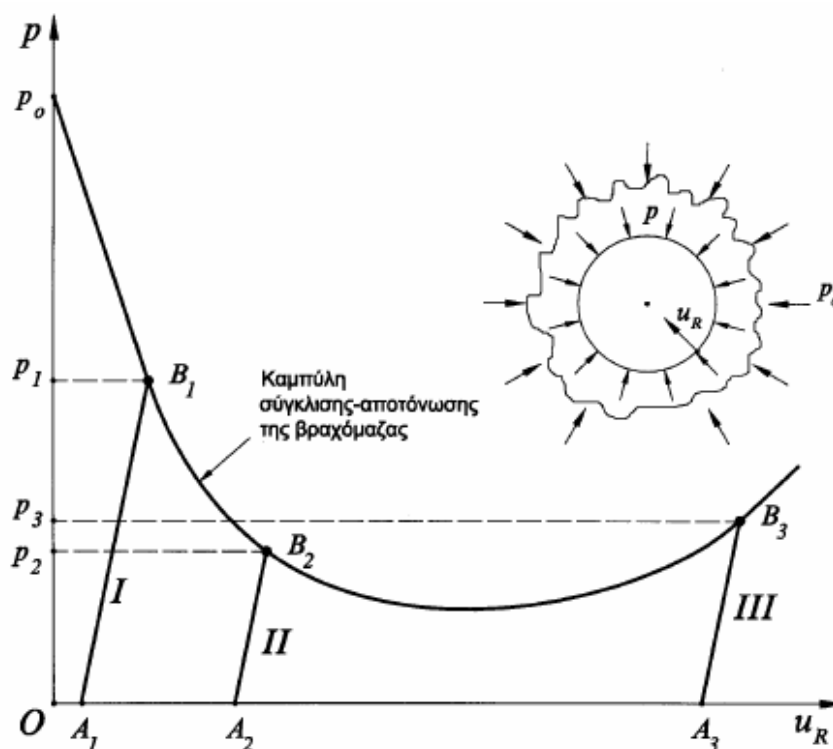
Η συνήθης εφαρμογή της μεθόδου NATM είναι η διάνοιξη της διατομής της σήραγγας σε μια ή περισσότερες φάσεις και η άμεση υποστήριξη του τοιχώματος με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (απλό, ινοπλισμένο, οπλισμένο με χαλύβδινο πλέγμα ή ενισχυμένο με χαλύβδινες νευρώσεις από ράβδους ή διατομές) και αγκύρια (παθητικά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

τελική επένδυση αλλά η άμεση υποστήριξη σχεδιάζεται ώστε να αναλάβει το σύνολο των φορτίων της περιβάλλουσας βραχώμαζας).

Η ονομασία "New Austrian Tunnelling Method - NATM" εμφανίσθηκε για πρώτη φορά το 1964 σε μια σειρά τριών άρθρων του L. von Rabcewicz στο περιοδικό Water Power. Στα άρθρα αυτά αναφέρεται η κατασκευή μιας σήραγγας στη Βενεζουέλα κατά την περίοδο 1957-58 όπου εφαρμόσθηκε υποστήριξη του τοιχώματος με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και αγκύρια. (Καββαδάς 2004)

Σύμφωνα με τα ανωτέρω, οι εναλλακτικοί τρόποι διάνοιξης σηράγγων που δεν υπάγονται στη μέθοδο NATM είναι:

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



Σχήμα 2.1 - Επιρροή του χρόνου τοποθέτησης των μέτρων προσωρινής υποστήριξης στην πίεση της βραχώμαζας επί της υποστήριξης της σήραγγας. I: πολύ νωρίς. Η πίεση στην άμεση υποστήριξη (p_1) είναι πολύ μεγάλη. II: κανονικός χρόνος κατασκευής της άμεσης υποστήριξης. Η πίεση (p_2) έχει μειωθεί σημαντικά. III: πολύ αργά. Η πίεση (p_3) έχει αυξηθεί λόγω αποδιοργάνωσης (χαλάρωσης της βραχώμαζας, με συνέπεια τον κίνδυνο κατάρρευσης (Καββαδάς, 2004).

2.1.2.1 Χαρακτηριστικά της μεθόδου NATM

Η βασική αρχή της μεθόδου NATM είναι ότι η διάνοιξη της σήραγγας και η κατασκευή της άμεσης υποστήριξης γίνονται κατά τρόπο ώστε να ενεργοποιηθεί η αντοχή της περιβάλλουσας βραχώμαζας (μέσω της ελεγχόμενης σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας) σε ικανό βαθμό ώστε να μειωθούν αρκετά οι πιέσεις επί της άμεσης υποστήριξης αλλά όχι τόσο ώστε να προκληθεί αποδιοργάνωση της βραχώμαζας με συνέπεια την αύξηση των πιέσεων στην άμεση υποστήριξη και τελικώς την κατάρρευση της διατομής της σήραγγας (βλέπε Σχήμα 2.1). Δεδομένου ότι ένα σημαντικό ποσοστό της σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας συμβαίνει εμπρός από το μέτωπο εκσκαφής (δηλαδή πριν η εκσκαφή φθάσει στη συγκεκριμένη θέση) και επιπλέον ότι η σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας αυξάνει με ταχείς ρυθμούς στην περιοχή του μετώπου

εκσκαφής, προκύπτει ότι στις περισσότερες περιπτώσεις η αντοχή της βραχώμαζας έχει ενεργοποιηθεί επαρκώς πολύ κοντά στο μέτωπο της εκσκαφής και συνεπώς η άμεση υποστήριξη θα πρέπει να κατασκευασθεί κατά το δυνατόν πλησιέστερα στο μέτωπο εκσκαφής (Καββαδάς 2004).

Η παραπάνω αρχή της μεθόδου NATM εξειδικεύεται ως εξής:

1. Η εκσκαφή της διατομής της σήραγγας συνήθως γίνεται σε περισσότερες της μιας φάσεις. Τυπικές περιπτώσεις φαίνονται στα Σχήματα 2.2, 2.3 και 2.4. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η επιφάνεια του μετώπου της εκσκαφής κάθε φάσης και συνεπώς μειώνεται η συνολική σύγκλιση του τοιχώματος (σε σχέση με την εκσκαφή της διατομής σε μια φάση) και βελτιώνεται η ευστάθεια της διατομής αποφεύγοντας την αποδιοργάνωση της περιβάλλουσας βραχώμαζας.
2. Κατασκευή της άμεσης υποστήριξης της διατομής σε μικρή απόσταση από το μέτωπο της εκσκαφής ώστε να περιορισθεί η περαιτέρω σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας και να αποφευχθεί η αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας. Τούτο επιτυγχάνεται με την προώθηση της κάθε φάσης εκσκαφής σε μικρά βήματα της τάξεως των 1-2 m αναλόγως της ποιότητας της βραχώμαζας. Το μήκος του βήματος εκσκαφής μειώνεται όσο πτωχότερη είναι η ποιότητα της βραχώμαζας (επειδή στις περιπτώσεις αυτές η αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας είναι ταχύτερη).
3. Η άμεση υποστήριξη της διατομής θα πρέπει να αναλάβει φορτία κατά το δυνατόν ταχύτερα ώστε να περιορισθεί η περαιτέρω σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας και συνεπώς η αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πλεονεκτεί ως προς την άποψη αυτή επειδή βρίσκεται σε απόλυτη επαφή με την περιβάλλουσα βραχώμαζα (και συνεπώς η παραμικρή σύγκλιση του τοιχώματος προκαλεί τη φόρτισή του) και επιπλέον έχει μικρό χρόνο πήξεως (μερικές ώρες). Η χρήση αγκυρίων βράχου σε κανονικό κλίμα οπλίζει την περιβάλλουσα βραχώμαζα και συντελεί στην καλύτερη ανάπτυξη της λειτουργίας τόξου στη βραχώμαζα. Πράγματι, η τάση της βραχώμαζας να παραμορφωθεί διατμητικά προκαλεί (μέσω της διασταλτικότητας) την ανάπτυξη εφελκυσμού στα αγκύρια και συνεπώς θλίψης στη βραχώμαζα. Η θλίψη της βραχώμαζας αυξάνει την αντοχή της και μειώνει την παραμορφωσιμότητά της λόγω εγκιβωτισμού (λειτουργία ανάλογη με αυτή του σπειροειδούς οπλισμού στα υποστηλώματα).

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

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

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

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

1. Με βάση τα αποτελέσματα των γεωτεχνικών ερευνών η βραχώμαζα που αναμένεται να συναντηθεί κατά μήκος της σήραγγας κατατάσσεται σε 3-5 κατηγορίες (με βάση τα μηχανικά χαρακτηριστικά). Οι κατηγορίες αυτές συνήθως βασίζονται στα γνωστά συστήματα κατατάξεως (RMR, GSI, Q).
2. Μορφώνονται 3-5 τυπικές διατομές διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης της σήραγγας οι οποίες διαφέρουν ως προς το είδος των μέτρων υποστήριξης (π.χ. εάν διαθέτουν ενίσχυση με χαλύβδινα πλαίσια) και την πυκνότητά τους (π.χ. διάσταση του κανάβου των αγκυρίων ή πάχος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος). Οι τυπικές διατομές μπορεί να διαφέρουν και ως προς τον αριθμό των φάσεων εκσκαφής. Κατά τη μόρφωση των διατομών λαμβάνεται υπόψη ότι θα πρέπει να είναι κατασκευαστικά δυνατή η αλλαγή της διατομής της σήραγγας από τον ένα τύπο στον άλλο με σχετική ευχέρεια.
3. Διατυπώνεται ένα σύνολο κριτηρίων με βάση τα οποία θα είναι δυνατή η επιλογή της εφαρμοστέας τυπικής διατομής κατά την κατασκευή της σήραγγας. Τα κριτήρια αυτά συνήθως βασίζονται σε ένα συνδυασμό παραγόντων όπως η ποιότητα της βραχώμαζας, το πάχος των υπερκειμένων γαιών, ο προσανατολισμός των ασυνεχειών της βραχώμαζας, τα αποτελέσματα των μετρήσεων συμπεριφοράς του έργου σε προηγούμενες διατομές ή σε προηγούμενη φάση εκσκαφής στη συγκεκριμένη θέση κλπ.

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

- Το φορτίο που αναλαμβάνεται από τα αγκύρια στην περίπτωση προσωρινών αγκυρίων ή στην περίπτωση βραχώμαζας με έντονα ερπυστική συμπεριφορά.
- Μέρος του φορτίου που αναλαμβάνεται από το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ώστε το απομένον φορτίο του εκτοξευόμενου σκυροδέματος να ικανοποιεί τις απαιτήσεις ασφαλείας μόνιμου έργου (δεδομένου ότι κατά την άμεση υποστήριξη της σήραγγας το

εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μπορεί να λειτουργεί με μειωμένο συντελεστή ασφαλείας προσωρινού έργου).

- Τυχόν αυξημένα μακροχρόνια φορτία της βραχόμαζας λόγω ερπυσμού.
- Τυχόν υδατικές πιέσεις λόγω πλημμελούς αποστράγγισης ή απρόβλεπτης απόφραξης του συστήματος αποστράγγισης.
- Τυχόν φορτία από μελλοντικές κατασκευές που φορτίζουν τη σήραγγα.
- Τυχόν σεισμική επιφόρτιση της σήραγγας.

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

- Προσαρμόζεται εύκολα σε μεταβαλλόμενες γεωτεχνικές συνθήκες.
- Προσαρμόζεται εύκολα σε μεταβολές της γεωμετρίας της διατομής και στη διάνοιξη μή-κυκλικών διατομών.
- Περιλαμβάνει μηχανικό εξοπλισμό σχετικώς μικρού κόστους και συνεπώς πλεονεκτεί οικονομικά σε σήραγγες μικρού μήκους.

2.1.2.2 Φάσεις εκσκαφής

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

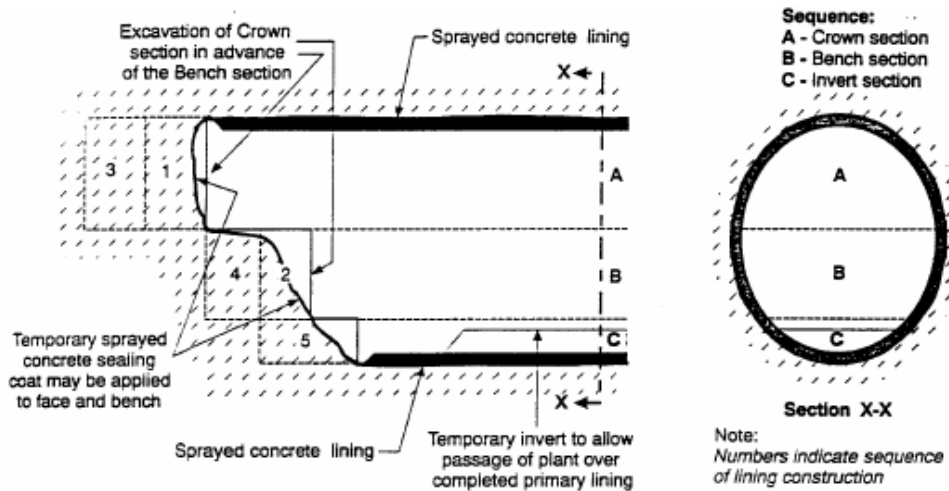
1. Εκσκαφή μετώπου-βαθμίδας (top heading and bench).

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

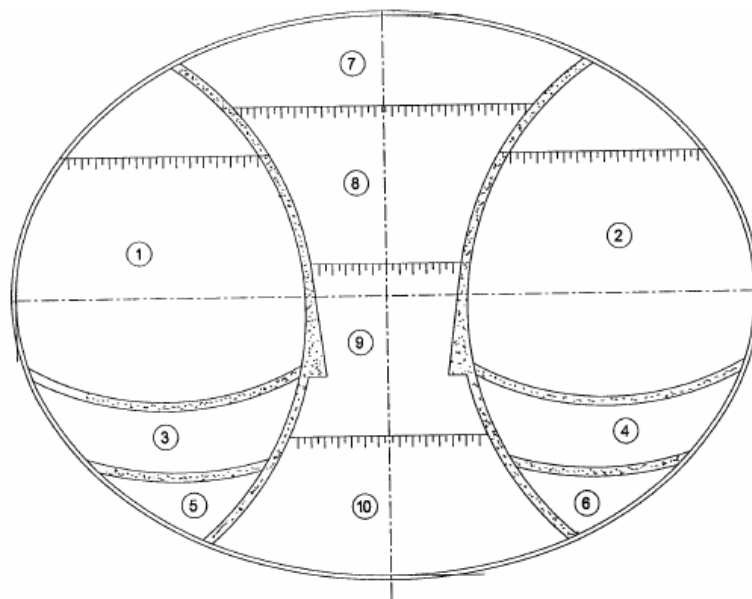
2. Εκσκαφή με πλευρικές στοές (side-wall drifts).

Η μέθοδος εφαρμόζεται σε σήραγγες μεγάλου εύρους σε βραχόμαζες με σχετικώς πτωχά χαρακτηριστικά ή στις περιπτώσεις όπου είναι κρίσιμος ο περιορισμός της σύγκλισης του τοιχώματος (π.χ. σε αστικές περιοχές). Περιλαμβάνει την υποδιαίρεση της διατομής κατά το

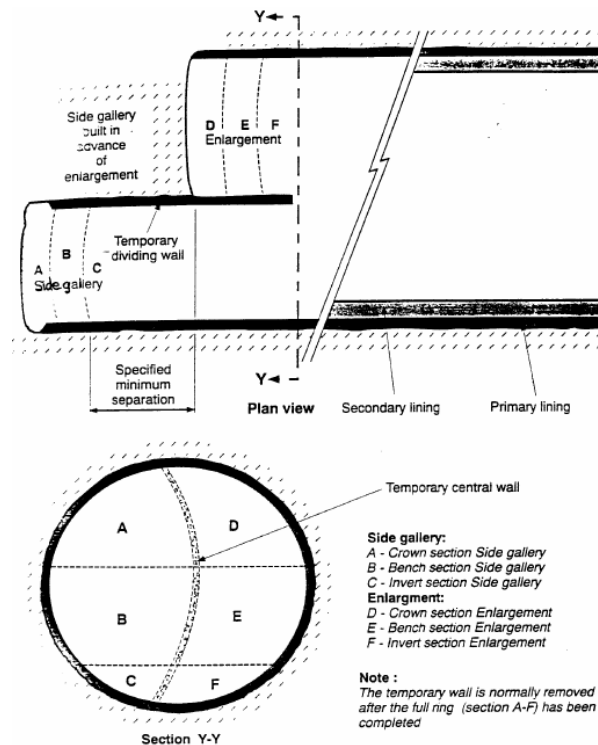
πλάτος και διάνοιξη πρώτα της μιας πλευράς και στη συνέχεια της άλλης πλευράς. Σε ιδιαίτερως δύσκολες συνθήκες η μέθοδος μπορεί να περιλάβει δυο πλευρικές στοές και ενδιάμεσο πυλώνα (twin side-wall drifts with central pillar). Στην περίπτωση αυτή πρώτα διανοίγονται οι πλευρικές στοές και στο τέλος διανοίγεται ο κεντρικός πυλώνας.



Σχήμα 2.2 - Διάνοιξη σήραγγας σε τρεις φάσεις καθ' ύψος (top heading-bench-invert) (Καββαδάς 2004).



Σχήμα 2.3- Διάνοιξη σήραγγας με δυο πλευρικές στοές και κεντρικό πυλώνα (Καββαδάς 2004).



Σχήμα 2.4 - Διάνοιξη σήραγγας σε έξι φάσεις (δύο κατά πλάτος και τρεις καθ' ύψος) (Καββαδάς 2004).

2.1.2.3 Μέτρα άμεσης υποστήριξης

Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (shotcrete)

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

- Τσιμέντο: 400-450 kg
- Αδρανή (διάσταση κόκκου έως 10mm): 1600-1700 kg

- Παιπάλη πυριτίου (micro-silica): 30-50 kg
- Επιταχυντής πήξεως: 10-15 kg
- Νερό: 200-250 kg

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

Η αντοχή και η πλαστικότητα του εκτοξευόμενου σκυροδέματος μπορούν να αυξηθούν με την προσθήκη μεταλλικών ινών (steel fibres) οι οποίες δρουν ως οπλισμός. Η προσθήκη μεταλλικών ινών ως οπλισμού του εκτοξευόμενου σκυροδέματος τείνει να αντικαταστήσει την όπλιση με μεταλλικά πλέγματα (wire mesh reinforcement). Η συνήθης αναλογία μεταλλικών ινών είναι 40-60 kg ανά κυβικό μέτρο σκυροδέματος. Η προσθήκη μεταλλικών ινών πλεονεκτεί ως προς τη χρήση μεταλλικού πλέγματος και για τους εξής λόγους:

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

Αγκύρια βράχου

Τα αγκύρια βράχου διακρίνονται σε δυο κατηγορίες: (α) Προεντεταμένα αγκύρια, (tensioned cables) που αποτελούνται από χαλύβδινους τένοντες (strands) και βασίζονται στην ενεργητική φόρτιση της βραχώμαζας λόγω της προέντασης.

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

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

Τα αγκύρια πρόσφυσης άκρου είναι συνήθως τύπου διαστελλόμενης κεφαλής. Στα αγκύρια συνεχούς πρόσφυσης ανήκουν οι εξής τύποι:

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

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

Χαλύβδινες νευρώσεις

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

1. Τυποποιημένες διατομές, συνήθως πλατύπελμες HEB100-160.
2. Δικτυωτά πλαίσια (lattice girders) που αποτελούνται από ράβδους οπλισμού και

συνδετήρες με τη μορφή χωροδικτυώματος.

3. Συστοιχίες χαλύβδινων ράβδων οπλισμού (π.χ. 4-6 ράβδοι Φ28 σε παράλληλη διάταξη συνδεδεμένες με εγκάρσιους συνδετήρες σε αποστάσεις της τάξεως του μέτρου).

2.1.2.4 Παρακολούθηση της συμπεριφοράς σηράγγων

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

Κατά τη διάνοιξη και υποστήριξη σηράγγων συνήθως μετρούνται τα εξής:

1. Μετακινήσεις: του τοιχώματος της σήραγγας, της βραχόμαζας που περιβάλλει τη σήραγγα και της επιφάνειας του εδάφους.
2. Πιέσεις: της βραχόμαζας στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, υδατικές πιέσεις στο έδαφος που περιβάλλει τη σήραγγα.
3. Δυνάμεις: εφελκυσμός στα αγκύρια, θλίψη/κάμψη στα χαλύβδινα πλαίσια.
4. Παροχή διηθήσεων υπογείων υδάτων.

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

γνωστά τα μέγιστα αποδεκτά όρια ή, τέλος, δεν έχουν αποφασισθεί οι ενέργειες σε περίπτωση υπέρβασης των αποδεκτών ορίων.

2.1.2.5 Μετρήσεις των μετακινήσεων

Μετακινήσεις του τοιχώματος της σήραγγας

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

2. Χωροσταθμική υψομετρική αποτύπωση (levelling). Με τοπογραφικό όργανο (χωροβάτη) μετράται το υψόμετρο στόχων που τοποθετούνται στο δάπεδο και τις παρειές της σήραγγας. Η συνήθης ακρίβεια των μετρήσεων αυτών είναι 1-2mm.

3. Μέτρηση της απόστασης μεταξύ δυο σημείων στο τοίχωμα της σήραγγας με μεταλλική μετροταινία (tape extensometer). Η ακρίβεια των μετρήσεων είναι της τάξεως του 0.5mm.

Μετακινήσεις της βραχόμαζας

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

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

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

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

Μετακινήσεις (βυθίσεις) της επιφάνειας του εδάφους

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

1. Με χωροσταθμική υψομετρική αποτύπωση (levelling) με χρήση χωροβάτη.

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

Μετρήσεις των πιέσεων

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

Μετρήσεις δυνάμεων

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

Μετρήσεις παροχών

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

Στο Μετρό της Αθήνας η μέθοδος NATM χρησιμοποιήθηκε ευρέως, τόσο για την κατασκευή τμημάτων σηράγγων, όσο και ορισμένων από τους Σταθμούς στο κέντρο της Αθήνας. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε στους σταθμούς Πανεπιστήμιο, Ακρόπολη, Αμπελόκηποι, Μοναστηράκι, Ομόνοια, Σύνταγμα, καθώς και σε μεγάλα τμήματα των επεκτάσεων του δικτύου προς Δουκίσσης, Πλακεντίας, προς Αγ. Δημήτριο, προς Αγ. Αντώνιο και προς Αιγάλεω (Καββαδάς 2004).

2.2 Κίνδυνος

Ως κίνδυνος (risk) ορίζεται ένα πραγματοποιήσιμο αρνητικό αποτέλεσμα μιας δραστηριότητας ή επιλογής. Ορίζεται πολλαπλώς λόγω της μεγάλης ποικιλίας τεχνικών για την ανάλυσή του. Σε αρκετές περιπτώσεις η αντίληψη για τον κίνδυνο διαμορφώνεται με βάση τις χρησιμοποιηθείσες μεθόδους για την αντιμετώπισή του. Ως κατηγορίες κινδύνων ορίζονται από τους αναλυτές οι τεχνικοί, οι οικονομικοί και οι κοινωνικοπολιτικοί κίνδυνοι ενώ μια λεπτομερέστερη διάκριση προσδιορίζει δώδεκα τύπους που είναι: ασθένειες, οικονομικοί, περιβαλλοντικοί, χρηματοοικονομικοί, ανθρωπίνι, φυσικοί, υγιεινής της εργασίας, ασφάλειας, ποιότητας των προϊόντων, ζημιών ιδιοκτησίας, δημόσιας ευθύνης και τεχνολογίας.

Για τις ανάγκες αυτής της εργασίας, η οποία προσανατολίζεται προς τους τεχνικούς κινδύνους ενός εγχειρήματος, χρησιμοποιείται η έννοια της επικινδυνότητας, η οποία ορίζεται ως “ο συνδυασμός των συνεπειών ενός κινδύνου και της πιθανότητας εμφάνισης αυτού” (British Tunnelling Society 2003):

$$\text{Επικινδυνότητα} = \text{Συνέπειες Κινδύνου} \times \text{Πιθανότητα Εμφάνισης Κινδύνου}$$

Σε αυτήν τη σχέση η έννοια κίνδυνος τοποθετείται σε στενότερα πλαίσια, χαρακτηριζόμενη από τη δυνατότητά της ως αρνητικό συμβάν να επηρεάσει πολύπλευρα εγχείρημα, μέσω των συνεπειών της. Οι συνέπειες αυτές κατηγοριοποιούνται ως σχετιζόμενες με:

- Ασφάλεια και υγιεινή
- Το περιβάλλον
- Την μελετητικό σκέλος του εγχειρήματος
- Τον χρονικό προγραμματισμό της μελέτης
- Το κόστος της μελέτης
- Το κατασκευαστικό σκέλος του εγχειρήματος
- Τον χρονικό προγραμματισμό της κατασκευής
- Το κόστος της κατασκευής
- Την αλληλεπίδραση του εγχειρήματος με υφιστάμενες υποδομές της περιοχής και την επιβάρυνση της κατασκευής προς το κοινωνικό σύνολο

2.2.1 Υπόγεια Έργα και Κίνδυνος

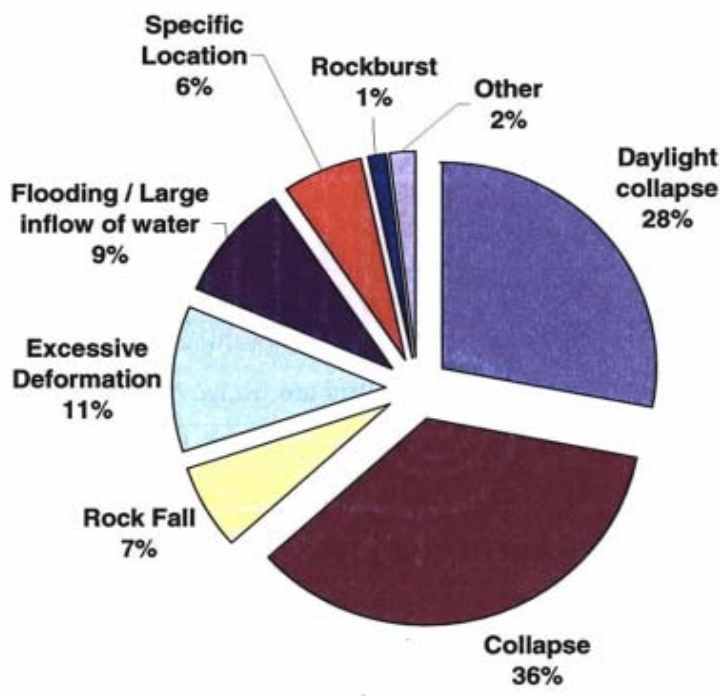
Η φύση της σηραγγοποιίας σημαίνει ότι, μαζί με το ίδιο το έργο, ο υπεύθυνος για την κατασκευή και λειτουργία μίας σήραγγας ταυτόχρονα αναλαμβάνει την πρόκληση να αντιμετωπίσει ένα σημαντικό σύνολο κινδύνων. Λόγω της αβεβαιότητας που διακρίνει τις γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες, υπάρχει κίνδυνος να προκύψουν σημαντικές υπερβάσεις του εκτιμώμενου κόστους και της εκτιμώμενης διάρκειας του έργου, καθώς και απρόβλεπτες περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην περιοχή (ITA, 2002). Επίσης, η καταγραφή θεαματικών καταρρεύσεων σηράγγων αλλά και άλλων καταστροφών στο παρελθόν έχει υποδείξει την δυνητικά μεγάλη τρωτότητα της σηραγγοποιίας σε ατυχήματα μεγάλης κλίμακας. Επιπρόσθετα, στην κατασκευή σηράγγων και λοιπών υπογείων κατασκευών σε αστικό περιβάλλον (όπως και στην περίπτωση της εργασίας), η σημασία της πρόβλεψης και πρόληψης κινδύνων μεγεθύνεται, καθώς οι συνέπειες από πιθανά ατυχήματα πλέον επηρεάζουν τρίτα πρόσωπα, αλλά και ιδιωτική και δημόσια περιουσία. Τέλος, η επιρροή της όχλησης και των πιθανών προβλημάτων κατά την κατασκευή ενός αστικού υπογείου έργου μπορεί να δημιουργήσει ένα κλίμα αρνητικότητας της κοινής γνώμης ως προς τέτοιου είδους έργα, δρώντας ανασταλτικά στην περαίωση του έργου. (ITA, 2002)

Πίνακας 2.1- Τύποι ατυχημάτων κατά την κατασκευή σηράγγων (Sousa et al., 2010).

Ανεπιθύμητο συμβάν	Περιγραφή
Πτώση Τεμαχίων Βράχου	Πτώση κομματιών βράχων από την οροφή και τα ανώτερα τμήματα των πλευρικών τοιχωμάτων της σήραγγας. (Σφήνες, αστοχίες επιπέδου)
Κατάρρευση/ κατάπτωση μετώπου - οροφής	Κατάρρευση μετώπου / αστοχία μετώπου / αστοχία υποστήριξης.
Επιφανειακές καθιζήσεις/ καταπτώσεις	Κατάρρευση μετώπου / αστοχία της υποστήριξης του μετώπου που φθάνει την επιφάνεια δημιουργώντας κρατήρα.
Εκτενής παραμόρφωση	Εκτενής παραμόρφωση μέσα στη σήραγγα ή στην επιφάνεια. Μπορεί να προκύψει για παράδειγμα λόγω ανεπαρκούς σχεδιασμού, κατασκευαστικές αστοχίες και/ή λόγω συγκεκριμένων τύπων εδαφών (διογκούμενων και θλιβόμενων) που δεν έχουν προβλεφθεί.
Εισροή υδάτων	Περιπτώσεις κατά τις οποίες μεγάλες ποσότητες υπογείων υδάτων εισβάλλουν στη σήραγγα.
Ακαριαία διάρρηξη (απότομη εκτόνωση τάσης) / Θρυμματισμός	Υπέρβαση της αντοχής άρρηκτου ή άρρηκτου ψαθυρού βράχου. Αποτέλεσμα ο θρυμματισμός και στις χειρότερες περιπτώσεις απότομη και σφοδρή αστοχία της βραχώμαζας.
Τοπική αστοχία στην οροφή ή στα τοιχώματα της σήραγγας	Συγκεκριμένες περιοχές της σήραγγας, όπου εμφανίζεται χαμηλότερη αντίσταση της εδαφικής μάζας και/ή συγκέντρωση τάσεων.
Τοπική αστοχία φρέατος πρόσβασης	
Άλλο Συμβάν	Άλλοι τύποι αστοχιών.

Για να γίνει περαιτέρω αντιληπτή η σημασία της εκτίμησης της επικινδυνότητας ενός υπογείου έργου όπως το εξεταζόμενο είναι απαραίτητη η αναγνώριση και κατηγοριοποίηση των συμβάντων που μπορούν να προκύψουν κατά την κατασκευή σηράγγων. Ο πίνακας 2.1 (Sousa, et al., 2010) παρουσιάζει συνοπτικά τα πιο συχνά παρατηρούμενα ατυχήματα κατά την κατασκευή. Κατά τη

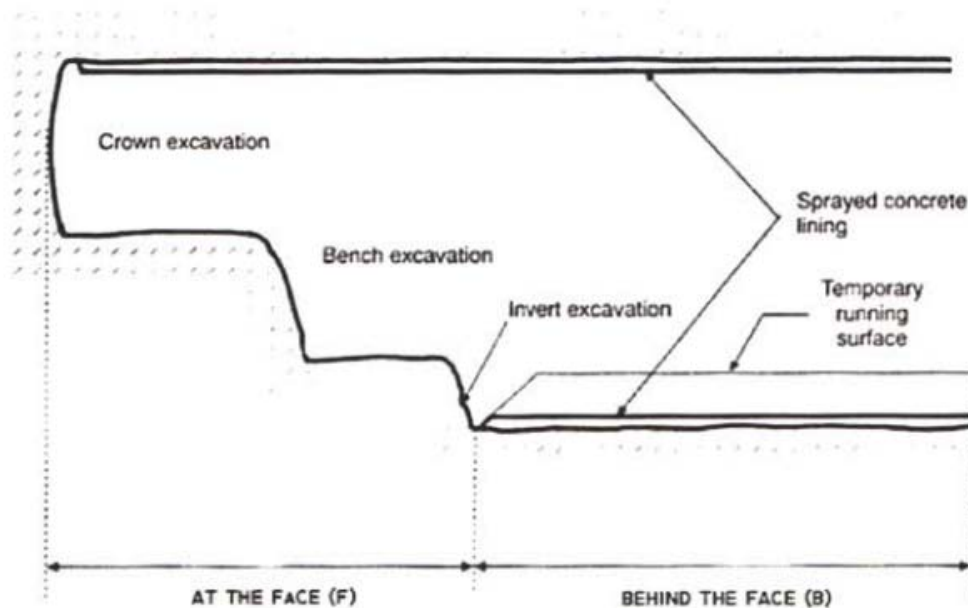
λειτουργία μίας υπογείου κατασκευής οι πιο συχνοί τύποι ατυχημάτων είναι η φωτιά κι οι εκρήξεις, που μπορούν να προκύψουν και κατά την κατασκευή. Οι εν λόγω κίνδυνοι δεν συμπεριλαμβάνονται στην παρούσα ανάλυση.



Σχήμα 2.5- Κατανομή ανεπιθύμητων συμβάντων (Sousa et al., 2010).

Στο Σχήμα 2.5 φαίνεται η κατανομή των ανεπιθύμητων συμβάντων για ένα σύνολο εξεταζομένων περιπτώσεων της έρευνας της Sousa et al., 2010. Είναι εμφανής η επικράτηση των καταρρεύσεων (επιφανείας και υπογείων) με αντίστοιχα ποσοστά 28% και 36% έναντι των υπολοίπων κινδύνων. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι οι καταρρεύσεις είναι τα πιο συνηθη προβλήματα που προκύπτουν κατά την κατασκευή σηράγγων. Είναι όμως οι πιο συχνά αναφερόμενες στη διεθνή βιβλιογραφία (Sousa et al., 2010), κυρίως λόγω των πιο σοβαρών επιπτώσεων στην κατασκευαστική διαδικασία και την ασφάλεια των εργαζομένων, του γενικού πληθυσμού αλλά και των επιφανειακών κατασκευών.

Κάθε συμβάν μπορεί να προκύψει σε διαφορετικές περιοχές στη σήραγγα, στο μέτωπο καθώς και πίσω από αυτό. Το Σχήμα 2.6 δείχνει τις περιοχές αυτές για διάνοιξη σηράγγων με χρήση της New Austrian Tunnelling Method (NATM)/Συμβατική εκσκαφή. Παρακάτω αναλύονται εκτενέστερα οι κατηγορίες πιθανών προβλημάτων καθώς και δίνονται μερικά παραδείγματα.



Σχήμα 2.6 - Περιοχές κινδύνου.

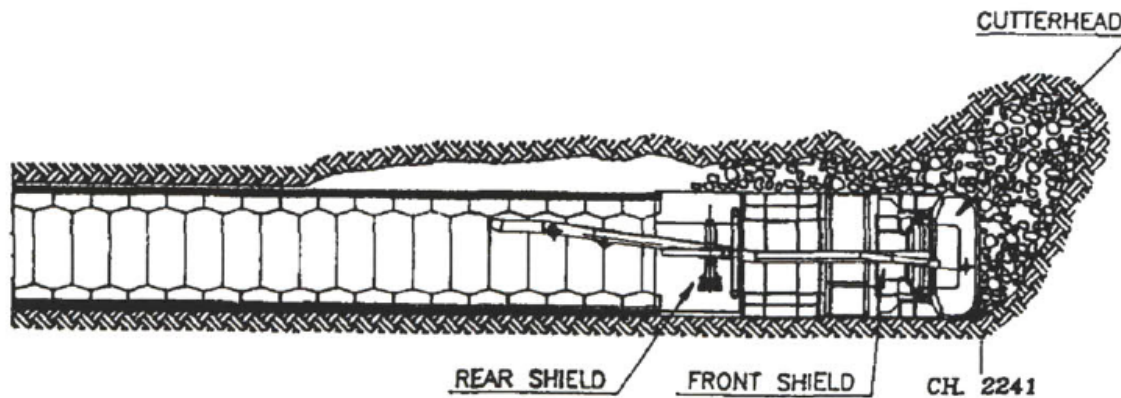
Πτώση τεμαχίων βράχου

Ως πτώση βράχου ορίζεται κάθε είδους μεμονωμένη κατάπτωση κομματιού που αποκολλάται μέσω ολίσθησης ή πτώσης. Οι δύο μηχανισμοί δυνητικής αστοχίας που εμπλέκονται είναι η αστοχία σφήνας και η αστοχία επιπέδου. Οι σφήνες δημιουργούνται από αλληλοτεμνόμενες ασυνέχειες (διακλάσεις, ρήγματα). Κατά τη εκσκαφή μορφώνονται ελεύθερες επιφάνειες οι οποίες αναιρούν τα εμπόδια της περιβάλλουσας βραχώμαζας και επιτρέπουν την ολίσθηση των σφηνών. Χωρίς την απαραίτητη υποστήριξη επηρεάζεται η ευστάθεια της οροφής και των πλευρών της σήραγγας. Η ολίσθηση μιας σφήνας δύναται να οδηγήσει σε ολίσθηση νέων σφηνών και κατ' επέκταση αποδιοργάνωση του πετρώματος και αστοχία της σήραγγας εάν το επιτρέπει ο προσανατολισμός των ασυνεχειών της βραχώμαζας. Όσον αφορά τις δομικές αστοχίες μορφής αστοχίας επιπέδου, αυτές αποτελούν ειδική περίπτωση αστοχίας σφήνας, όταν τα δύο επίπεδα ολίσθησης παραλληλίζονται ή ταυτίζονται.

Κατάρρευση/ κατάπτωση μετώπου - οροφής

Πρόκειται για καταρρεύσεις που συμβαίνουν σε υπό κατασκευή σήραγγες, που όμως δεν γίνονται αντιληπτές στην επιφάνεια. Η πλειοψηφία τους σημειώνεται στο μέτωπο της σήραγγας.

Ένα γνωστό παράδειγμα στον ελλαδικό χώρο είναι η κατάρρευση μετώπου κατά την κατασκευή της υδραυλικής σήραγγας Ευήνου – Μόρνου. Μια μεγάλη κατάρρευση που προέκυψε μπροστά από το μέτωπο σταμάτησε την περιστροφική κίνηση του συστήματος κεφαλών κοπής, και δημιούργησε ένα σπήλαιο πάνω από 10m πάνω από το TBM (Grandori et al., 1995).



Σχήμα 2.7 - Κατάρρευση στο μέτωπο του TBM , Ευήνο – Μόρνος (Grandori et al., 1995).

Το πιο συχνό κομμάτι της υπό κατασκευή σήραγγας στο οποίο μπορεί να συμβεί μια κατάρρευση είναι όπως στην εικονιζόμενη περίπτωση (Σχήμα 2.7) στο μέτωπο και την οροφή. Άλλες πιθανές τοποθεσίες περιλαμβάνουν τα τοιχώματα της σήραγγας πλησίον του μετώπου πριν ή κατά τα πρώτα στάδια υποστήριξης.

Επιφανειακές καθιζήσεις/ καταπτώσεις

Ως επιφανειακές καθιζήσεις/ καταπτώσεις ορίζουμε τις περιορισμένες ή μαζικές καταρρεύσεις που φθάνουν ως την επιφάνεια, ενίοτε δημιουργώντας κρατήρα. Συνιστά τον τύπο ανεπιθύμητου συμβάντος με τις πιο σφοδρές συνέπειες, ιδιαιτέρως όταν αφορά έργα που γίνονται εντός αστικών ορίων. Πέρα από τον προφανή κίνδυνο για το έργο και τις απώλειες σε υλικά, χρόνο και αποζημιώσεις, είναι ο τύπος συμβάντος που βλάπτει περισσότερο το έργο σε επικοινωνιακό επίπεδο. Αυτό συμβαίνει γιατί συνήθως τέτοιου είδους καταρρεύσεις συμβαίνουν ακαριαία και χωρίς σημαντικές πρότερες ενδείξεις (όπως π.χ. σημαντικές επιφανειακές καθιζήσεις), και λόγω αυτού αρκετές φορές υπάρχουν ανθρώπινες απώλειες στην περίπτωση του σταθμού Pinheiros στο Σάο Πάολο της Βραζιλίας το 2007 (Εικόνα 2.1), με 7 θύματα (Barton, 2007). Γνωστές άλλωστε είναι και οι διάφορες επιφανειακές καταρρεύσεις που συνέβησαν κατά την κατασκευή του Αττικό

Μετρό, μέσα από την κάλυψη των ελληνικών και ξένων Μ.Μ.Ε με τίτλους όπως 'Η τρύπα της Δουκίσσης Πλακεντίας' και 'Underground swallows kiosk (βλ. Εικόνα 2.2)'.



Εικόνα 2.1 - Κατάρρευση οροφής σήραγγας, Σάο Πάολο, Βραζιλία, 2007 (Barton 2007).

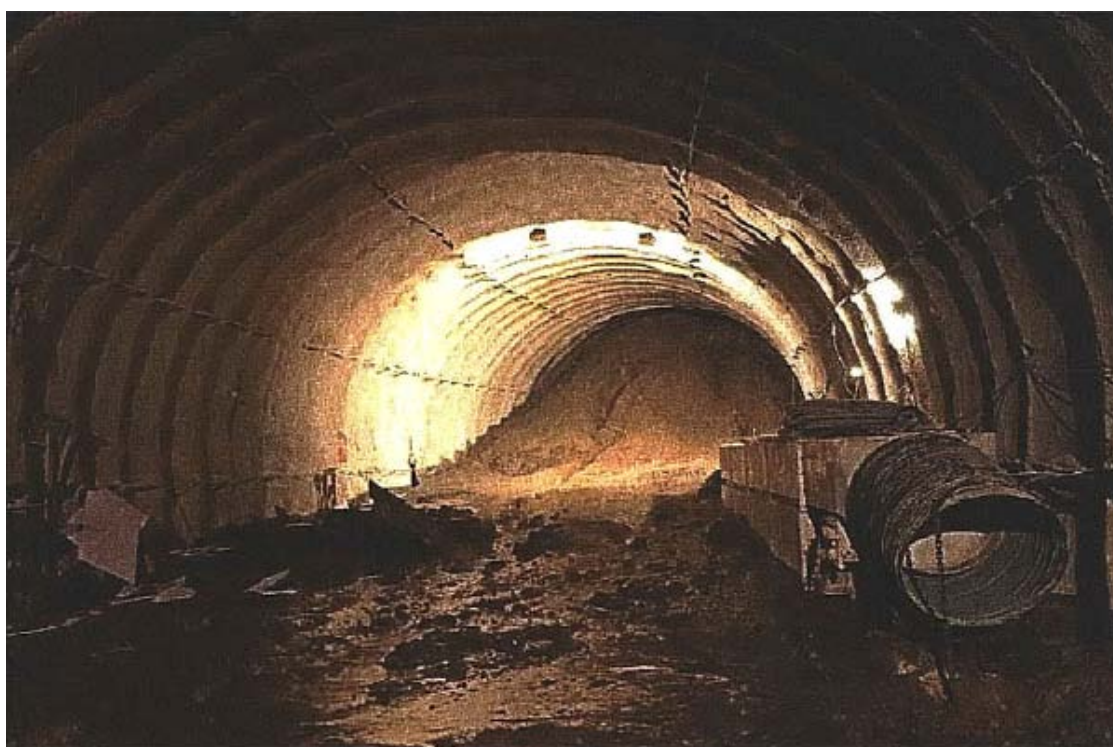


Εικόνα 2.2 - Εικόνες από τίτλους ειδήσεων για διάφορες καταρρεύσεις οροφής σήραγγας του Αττικό Μετρό (On-line αρχείο ελληνικού και ξένου τύπου).

Εισροή υδάτων

Υπάρχουν καταγεγραμμένες περιπτώσεις όπου σήραγγες προσβλήθηκαν από μεγάλες ποσότητες υπογείου νερού, κυριολεκτικά πλημμυρίζοντας τις (Εικόνα 2.3). Στις περισσότερες περιπτώσεις

αυτό συνέβη κατά την κατασκευή υποβρυχίων σήραγγων. Το έδαφος κάτω από ποτάμια, κανάλια και κόλπους είναι συνήθως ασθενές και κάτω από υψηλή πίεση υπερκειμένων υδάτων, στις οποίες περιπτώσεις απαιτούνται τόσο ιδιαίτερα μέτρα ασφαλείας όσο και ειδική μελέτη για την προστασία από την εισροή υδάτων. Πέρα από τέτοιες ιδιαίτερες περιπτώσεις, όμως, η εισροή υπογείων υδάτων αποτελεί κλασσικό τύπο κινδύνου ο οποίος μάλιστα αποτελεί και προπομπό άλλων τύπων προβλημάτων, καθώς θέτει σε κίνδυνο την κατασκευαστική διαδικασία και την σταθερότητα της υποστήριξης. Οι συνέπειες πλημμυρισμού της σήραγγας ποικίλουν από καθυστερήσεις στον κύκλο εργασιών έως καταρρεύσεις, υπόγειες και επιφανειακές. Αντιστρόφως, αρκετές καταρρεύσεις συνοδεύονται από εισροή υδάτων.



Εικόνα 2.3 – Άποψη του μετώπου σήραγγας μετά από κατάρρευση συνοδευόμενη από εισροή υδάτων, Λωζάνη, Σουηδία. (Stallmann, 2005).

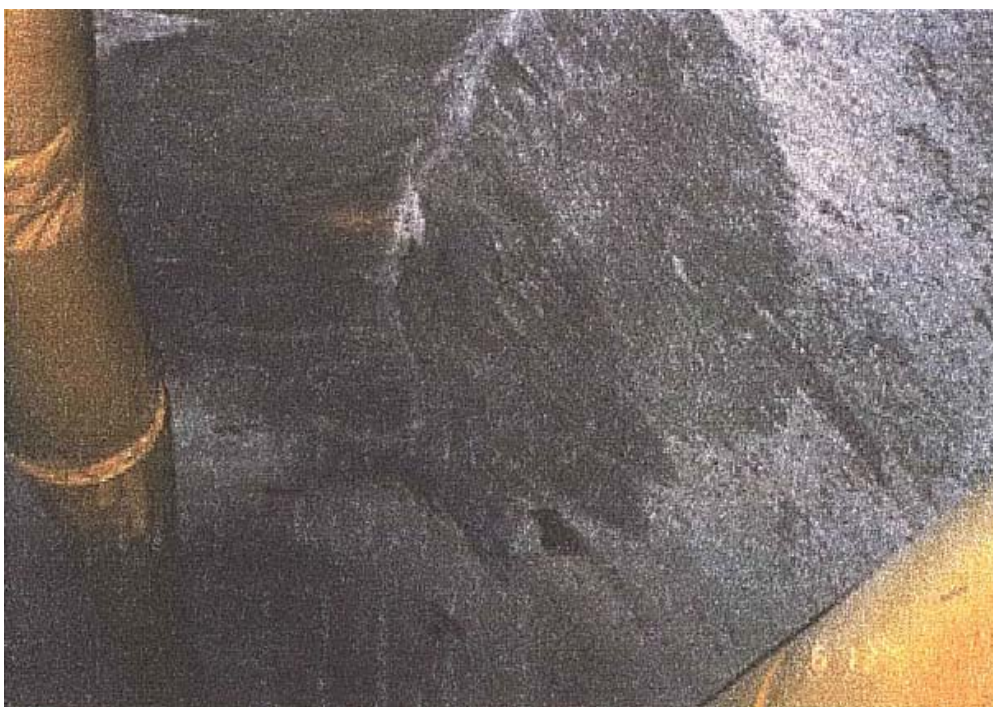
Ειδικευμένη περίπτωση θεωρείται η υπό πίεση εισροή νερού στη σήραγγα (Εικόνα 2.4):



Εικόνα 2.4 - Εισροή νερού υπό πίεση σε σήραγγα, Κίνα. (Sousa et al., 2010).

Ακαριαία διάρρηξη (απότομη εκτόνωση τάσης) / Θρυμματισμός

Η ακαριαία διάρρηξη παρατηρείται σε πετρώματα με πολύ υψηλή αντοχή και κάτω από πολύ υψηλές τάσεις (Εικόνα 2.5). Η βραχώμαζα έχει λίγες ασυνέχειες, αντοχή μεγαλύτερη από 100 MPa και υψηλό μέτρο ελαστικότητας ενώ η θραύση είναι ιδιαίτερα βίαιη και ψαθυρή. Μέσω της υπέρβαση της αντοχής της βραχώμαζας, παρατηρούνται φαινόμενα που κυμαίνονται από θρυμματισμούς πετρώματος και υπερεκσκαφές, έως περιπτώσεις ξαφνικής και σφοδρής μαζικής αστοχίας της βραχώμαζας. Αυτού του τύπου οι διαρρήξεις είναι δυνατό να προκαλέσουν (συνήθως) θανάσιμους τραυματισμούς και μεγάλες ζημίες λόγω των δυνάμεων που ασκούνται, και ο κίνδυνος εμφάνισης τους ως φαινόμενο αυξάνει με το βάθος της κατασκευής. Παρ' όλα αυτά, η τεχνογνωσία από την μεταλλευτική δραστηριότητα σε μεγάλα βάθη και η ανάπτυξη της βραχομηχανικής έχουν συμβάλλει στην κατανόηση των διαδικασιών που σχετίζονται με τη δημιουργία τέτοιων προβλημάτων και την ανάπτυξη μεθόδων πρόβλεψης πιθανών προβλημάτων που σχετίζονται με την ανάπτυξη υψηλών τάσεων.



Εικόνα 2.5 - Ακαριαία διάρρηξη της στέψης σε σήραγγα ύδρευσης στην Κορέα (Lee et al., 2004).

Εκτενής παραμόρφωση

Ως περιπτώσεις εκτενούς παραμόρφωσης κατηγοριοποιούνται περιπτώσεις στις οποίες υπήρξε έντονη παραμόρφωση μέσα στη σήραγγα ή στην επιφάνεια χωρίς όμως να υπάρξει κατάρρευση (Εικόνα 2.6). Μπορεί να προκύψουν λόγω ανεπαρκούς σχεδιασμού, κατασκευαστικών αστοχιών και/ή λόγω συγκεκριμένων τύπων εδαφών (διογκούμενων και θλιβόμενων) που δεν έχουν προβλεφθεί. Τα προβλήματα παραμορφώσεων με φαινόμενα ισχυρής σύνθλιψης παρουσιάζονται σε βραχώμαζες πτωχών μηχανικών χαρακτηριστικών όταν η αντοχή της βραχώμαζας είναι μικρότερη από το 30% της επιβαλλόμενης τάσης (Καββαδάς, 2005). Η κύρια ενέργεια που απαιτείται είναι ο έλεγχος και η συγκράτηση των παραμορφώσεων. Οι παραμορφώσεις μπορεί να ολοκληρωθούν κατά την κατασκευή ή να συνεχίζονται και μετά το τέλος της. Η υπερφόρτιση που προκαλείται δεν οφείλεται στη χαλάρωση αλλά στον συνδυασμό τάσεων και ιδιοτήτων της βραχώμαζας. Η συμβολή του υπογείου νερού είναι ιδιαίτερα αρνητική ενώ το μέγεθος των φαινομένων σύνθλιψης εξαρτάται από την αλληλουχία της εκσκαφής και την τεχνική της υποστήριξης.



Εικόνα 2.6 - Παραμορφωμένη υποστήριξη λόγω διογκούμενων αργίλων, Νάπολη, Ιταλία (Wallis, 1991).

2.2.2 Τεχνικά Προβλήματα Κατά Την Πορεία Εργασιών Του Αττικού Μετρό

Παρακάτω δίνεται ένας σύντομος απολογισμός τεχνικών προβλημάτων/ατυχημάτων που προέκυψαν, αλλά και τα μέτρα που ελήφθησαν για την αντιμετώπισή τους, κατά τη διάρκεια της διάνοιξης του δικτύου του Αττικού Μετρό για την περίοδο 1994 – 2001, από το Ενημερωτικό Δελτίο του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (Τεύχος 2156 - Δευτέρα 25 Ιουνίου 2001). Τα χαλαρά εδάφη, οι σοβαρές διαρροές από διαρρηγμένους αγωγούς λυμάτων, τα κτίρια ποικίλης αντοχής, η ύπαρξη αρχαίων δεξαμενών ύδατος και πηγαδιών, οι μετακινήσεις εδαφών και σε μερικά σημεία η παρουσία κατακερματισμένου, αποσαθρωμένου και πτυχωμένου αθηναϊκού σχιστόλιθου, ήταν τα βασικότερα προβλήματα που αντιμετώπισαν τα δύο TBMs (Tunnel Boring Machines - Μηχανήματα Διάνοιξης Σηράγγων) για την κατασκευή του Μετρό της Αθήνας (Ενημερωτικό Δελτίο ΤΕΕ, Τεύχος 2051 - Δευτέρα 17 Μαΐου 1999). Τα προβλήματα αυτά καταδεικνύουν την ανάγκη για εφαρμογή μίας μεθοδολογίας εκτίμησης κινδύνων με σκοπό την καλύτερη διαχείριση της προβληματικής συμπεριφοράς των μηχανημάτων TBM στο Αθηναϊκό υπέδαφος. Μέσα από την επαναληπτική

εμφάνιση των ίδιων ανεπιθύμητων συμβάντων διαγράφεται επίσης η απτή ανάγκη για την εκτίμηση της τρωτότητας του γεωλογικού μέσου, με στόχο τον περιορισμό και την πρόληψη των διαφόρων κινδύνων, έναντι της αντιμετώπισης των συνεπειών τους.

Κατασκευαστικά προβλήματα κατά τη διάνοιξη σηράγγων με χρήση των μηχανημάτων ολομέτωπης κοπής.

Παρά την διεξαγωγή της προκαταρκτικής μελέτης του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου κατά μήκος των γραμμών του Μετρό της Αθήνας, κατά την διαδικασία της εκσκαφής των σηράγγων παρουσιάστηκαν κατά τόπους προβλήματα σχετικά με το γεωλογικό υπόβαθρο.

Οι εδαφικές μετακινήσεις γύρω και πάνω από την κοπτική κεφαλή του TBM ήταν ένα από τα κρισιμότερα προβλήματα του έργου. Οι κύριοι λόγοι ήταν οι φτωχές εδαφικές συνθήκες πάνω από το επίπεδο της στέψης του TBM, η προβληματική επιλογή του μηχανήματος, το μικρό εύρος υπερκείμενων προς την επιφάνεια, η ύπαρξη παλιών περιοχών διέλευσης ύδατος, η παρουσία υπονόμων, αρχαίων πηγαδιών και άλλων ανθρωπογενών παραγόντων. Οι σχηματιζόμενες υπερεκσκαφές, σαν άμεσο μέτρο συνήθως υποστηρίζονταν και γεμίζονταν με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, μέσα από την κοπτική κεφαλή του μηχανήματος ή σκυροδετούνταν από την επιφάνεια.

Διάνοιξη Τμήματος Σήραγγας Σταθμός Λαρίσης - Άγιος Ιωάννης -Γραμμή 2

Το TBM άρχισε τις εργασίες εκσκαφής από τον σταθμό Λαρίσης στις 25 Απριλίου 1994 και έφθασε στις 21 Δεκεμβρίου 1998 στο σταθμό του Αγίου Ιωάννη. Κατά την προώθηση του TBM προέκυψαν συνολικά 412 περιπτώσεις υπερεκσκαφών, οι οποίες παρουσιάστηκαν γύρω και πάνω από την κεφαλή. Η ποσότητα από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα που εφαρμόστηκε από την κοπτική κεφαλή του μηχανήματος για την προστασία και ενίσχυση του εδάφους ήταν 5.500m³.

- Διάνοιξη Τμήματος Σήραγγας Σταθμός Λαρίσης - Μεταξουργείο

Το TBM έφθασε στο σταθμό Μεταξουργείο στις 13 Μαΐου 1995 κατασκευάζοντας 526m σήραγγας

σε διάστημα 383 ημερών. Το TBM πλημμύρισε δύο φορές στις 31 Μαΐου 1994 και στις 21 Οκτωβρίου 1994, λόγω μεγάλων βροχοπτώσεων, στο Σταθμό Λαρίσης πριν την ολική προώθησή του στη σήραγγα. Έγινε κατάρρευση τμήματος επιφανείας επί της Οδού Δεληγιάννη στις 6 Μαΐου 1995 λόγω δημιουργίας υπερεκσκαφής ύψους 5m, όπου καλύφθηκε η τρύπα από την επιφάνεια με 104m^3 σκυροδέματος τύπου B160. Η πρόοδος του TBM ήταν μικρή με ρυθμό 1,8m, ανά ημερολογιακή ημέρα με πολλές υπερεκσκαφές (σύνολο 103), επάνω και εμπρός από την κοπτική κεφαλή λόγω των φτωχών εδαφικών συνθηκών. Εφαρμόσθηκε εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μέσα από την κοπτική κεφαλή του μηχανήματος TBM για την προστασία του εδάφους. Τα μέτρα που ελήφθησαν για τη βελτίωση του εδάφους προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι υπερεκσκαφές κατά την προώθηση του TBM ήταν η εφαρμογή έκχυσης ενέματος, τοποθέτηση μικροπασσάλων και αγκυρίων σε ορισμένα τμήματα της επιφανείας.

- Διάνοιξη Τμήματος Σήραγγας Σταθμός Μεταξουργείο - Ομόνοια

Το TBM άρχισε τη διάνοιξη της σήραγγας στις 16 Ιουνίου 1995 από τον σταθμό Μεταξουργείο και έφθασε στην Ομόνοια στις 30 Ιουλίου 1997, κατασκευάζοντας σήραγγα μήκους 621 m. Κατά τα πρώτα 3m. της πορείας του TBM το έδαφος που συνάντησε ήταν σκληρός βράχος. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε υπερεκσκαφή ύψους 7m, πλάτους 11m, σε απόσταση προώθησης του TBM 19,5m λόγω των αντίξων εδαφικών συνθηκών, όπου για την προστασία του εδάφους εφαρμόσθηκε εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μέσα από την κοπτική κεφαλή του μηχανήματος. Το υπερκείμενο έδαφος ήταν στα 10m. Κατά το τέλος αυτής της διαδρομής κατέρρευσε ο υφιστάμενος υπόγειος αγωγός λημμάτων κυκλοβόρος H1 που βρισκόταν σε βάθος 5m από την επιφάνεια. Την ίδια ημέρα ακολούθησε πλημμύρα, λόγω βροχοπτώσεων, η οποία προκάλεσε κατάπτωση του οδοστρώματος στην πλατεία Καραϊσκάκη πάνω από το TBM και τη δημιουργία μεγάλου ανοίγματος στην επιφάνεια. Τα μέτρα που ελήφθησαν ήταν η ενίσχυση του εδάφους, εφαρμόζοντας ένεμα υπό πίεση, τοποθέτηση μικροπασσάλων και αγκύρια από την επιφάνεια. Κατασκευάσθηκε όρυγμα ώστε να αποφευχθούν συνεχείς καταρρεύσεις του εδάφους και να επιταχυνθεί η πρόοδος του TBM. Το όρυγμα είχε πλάτος 24m στο υψηλότερο σημείο του και 11m στο χαμηλότερο, πάνω από το TBM, και υποστηρίχθηκε με αντηρίδες, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, πλέγμα και αγκύρια. Αποφασίσθηκε η εκκένωση καθώς και η κατεδάφιση τριών κτιρίων επί της οδού Αγίου Κωνσταντίνου, δίπλα στην πλατεία Καραϊσκάκη. Κατασκευάσθηκε πιλοτική σήραγγα μήκους 18m από την Ομόνοια προς το Μεταξουργείο για την έρευνα και ενίσχυση του εδάφους, μέσω

διερευνητικών οπών σκυροδέτησης, της στέψης της σήραγγας. Αυτή η εργασία εξασφάλισε την προώθηση του TBM στα αντίξοα εδάφη. Τέλος κατασκευάστηκε προσωρινό φρέαρ πρόσβασης στην πλατεία Καραϊσκάκη για την εκσκαφή της υπόγειας σήραγγας NATM μήκους 42m που χρησιμοποιήθηκε για την ολίσθηση και στήριξη της κεφαλής του TBM πριν την επανέναρξη εργασίας εκσκαφής.

- Διάνοιξη Τμήματος Σήραγγας Σταθμός Ομόνοια - Πανεπιστήμιο

Το TBM άρχισε την διάνοιξη της σήραγγας στις 19 Αυγούστου 1997 και έφθασε στις 25 Οκτωβρίου 1997 στο Σταθμό Πανεπιστήμιο κατασκευάζοντας 524 m σήραγγας. Κατά τη διέλευση του TBM στη διασταύρωση της Χαριλάου Τρικούπη και Πανεπιστημίου έγινε υπερεκσκαφή με αποτέλεσμα την κατάρρευση μέρους του οδοστρώματος επί της οδού Πανεπιστημίου, του φρεατίου επίσκεψης, μέρους του αγωγού ακαθάρτων (Φ300, μήκος 30m) και μέρους του αγωγού όμβριων (Ωοειδούς διατομής διαστάσεων 1,2x1,9 m). Στην έρευνα που ακολούθησε διαπιστώθηκε η φθορά του δαπέδου του αγωγού των όμβριων καθώς και παράνομες συνδέσεις αγωγών ακαθάρτων των παρακείμενων κτιρίων με τον παλιό αγωγό όμβριων καθώς και η διάχυση των λυμάτων στο έδαφος. Συνεχίστηκε η προώθηση του TBM, παρουσία συνεχών υπερεκσκαφών που είχαν σαν αποτέλεσμα την κατάρρευση του οδοστρώματος (7mX7m) επί της οδού Πανεπιστημίου, στο σημείο του Περιπτέρου, στις 3 Οκτωβρίου 1997 στις 08: 30 μ.μ. έγινε πλήρωση των κενών της κατάρρευσης από την επιφάνεια, χρησιμοποιώντας 200m³ υλικού πλήρωσης τσιμεντένεμα και 27m³ εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Εφαρμόστηκαν επίσης τσιμεντενέσεις διάχυσης ενέματος (Tube-a-Manchette) από την επιφάνεια για την προστασία και βελτίωση του εδάφους κατά την προώθηση του TBM. Μετά την ολοκλήρωση κατασκευής της σήραγγας και την άφιξη του TBM στον σταθμό Πανεπιστήμιο έγινε η αντικατάσταση του αγωγού όμβριων και αποχέτευσης.

- Διάνοιξη Τμήματος Σήραγγας Σταθμός Σύνταγμα - Ακρόπολη

Το TBM άρχισε τη διάνοιξη της σήραγγας στις 15 Δεκεμβρίου 1997 και έφθασε στις 5 Μαρτίου 1998 στον Σταθμό Ακρόπολη κατασκευάζοντας σήραγγα μήκους 795m. Η διέλευση του TBM ήταν κάτω από κτίρια και την παλαιά πόλη όπου συναντήθηκαν αρχαία πηγάδια και πολλά αρχαιολογικά ευρήματα. Για την ασφαλή προώθηση και επιτάχυνση του TBM κατασκευάστηκε πιλοτική σήραγγα μήκους 654 m από όπου έγινε η βελτίωση του εδάφους στην στέψη της

σήραγγας. Επίσης έγινε ενίσχυση του εδάφους με τσιμεντενέσεις διάχυσης ενέματος (Tube-a-Manchette), από την επιφάνεια για την προώθηση του TBM.

- Διάνοιξη Τμήματος Σήραγγας Σταθμός Συγγρού - Ν. Κόσμος

Το TBM άρχισε τη διάνοιξη της σήραγγας στις 18 Μαΐου 1998 και έφθασε στις 15 Οκτωβρίου 1998 στον Σταθμό του Νέου Κόσμου, κατασκευάζοντας 935 m σήραγγας. Κατά την προώθηση του TBM δημιουργήθηκαν εκτεταμένες υπερεκκαφές λόγω φτωχών εδαφικών συνθηκών, όπου εφαρμόστηκε το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα 477 m³ από την κεφαλή κοπής, για την προστασία του εδάφους. Έγινε η διέλευση του Μηχανήματος κάτω από τον ποταμό Ιλισό και τον ανισόπεδο κόμβο της οδού Καλλιρρόης. Τα μέτρα που ελήφθησαν ήταν η κατασκευή πιλοτικής σήραγγας μήκους 764m για τη βελτίωση του εδάφους από τη στέψη της σήραγγας. Ενίσχυση της επιφανείας έγινε με τσιμεντενέσεις διάχυσης ενέματος (Tube-a-Manchette) και διερευνητικές οπές.

Διάνοιξη Τμήματος Σήραγγας Σταθμός Κατεχάκη – Σύνταγμα - Γραμμή 3

Η πρώτη εκσκαφή με το TBM 2, Γραμμή 3, άρχισε στις 10 Οκτωβρίου 1994 από το Σταθμό Κατεχάκη και έφθασε στο σταθμό του Συντάγματος κάτω από την οδό Νίκης στις 3 Αυγούστου 1996. Ο συνολικός αριθμός των υπερεκκαφών ήταν 38, που παρουσιάστηκαν γύρω και πάνω από την κεφαλή κοπής κατά την προώθηση του TBM με διαστάσεις 1,5x0,5x3 m. Η ποσότητα από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα που εφαρμόστηκε από την κεφαλή κοπής για την ενίσχυση του εδάφους ήταν 2800 m³.

- Διάνοιξη Τμήματος Σήραγγας Σταθμός Κατεχάκη – Πανόρμου

Το σημαντικότερο πρόβλημα που αντιμετώπισε το TBM σε αυτό το μεσοδιάστημα ήταν το Αδριάνειο Υδραγωγείο δίπλα στο σταθμό Πανόρμου όπου πριν την άφιξη του μηχανήματος έγινε η κατασκευή και εκτροπή του Αδριάνειου αγωγού. Στην Εικόνα 2.7 φαίνεται επίσης η υποστήριξη του TBM στο σταθμό της Κατεχάκη πριν την έναρξη των εργασιών.



Εικόνα 2.7 - Πανοραμική εικόνα της υποστήριξης του TBM στο σταθμό της Κατεχάκη, πριν την έναρξη των εργασιών

- Διάνοιξη Τμήματος Σήραγγας Σταθμός Ευαγγελισμός - Σύνταγμα

Το TBM άρχισε τη διάνοιξη της σήραγγας στις 24 Φεβρουαρίου 1996 και έφθασε στις 22 Ιουνίου 1996 στο Σταθμό του Συντάγματος, κατασκευάζοντας 858m σήραγγας. Κατά την πορεία του το TBM διασταυρώθηκε με το Αδριάνειο Υδραγωγείο κάτω από την οδό Βασιλίσσης Σοφίας. Στις 16 Απριλίου 1996, μετά τις Διακοπές του Πάσχα σημειώθηκε κατάρρευση της επιφάνειας στον Εθνικό Κήπο. Οι λόγοι ήταν οι φτωχές εδαφικές συνθήκες, η παρουσία υπογείων υδάτων και αρχαίων πηγαδιών. Η κοιλότητα είχε διάμετρο 15m και βάθος 20m. Τα μέτρα που ελήφθησαν ήταν η πλήρωση της κοιλότητας με 318m³ σκυρόδεμα τύπου B160, με 32m³ εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και με 1360m³ υλικό επίχωσης.

- Διάνοιξη Τμήματος Σήραγγας Σταθμός Σύνταγμα - Νίκης

Το TBM άρχισε τις εργασίες εκσκαφής στις 11 Ιουλίου 1996 και σταμάτησε στις 03 Αυγούστου 1996, κάτω από την οδό Νίκης, διανύοντας 181m σήραγγας. Κατά την πορεία του TBM σχηματίστηκαν 7 υπερεκσκαφές από την παρουσία αρχαίων πηγαδιών άνω όπου οι 4 σχηματίστηκαν κάτω από το υπουργείο Εθνικής Οικονομίας. Τα αρχαία πηγάδια βρίσκονται σε βάθος 20m και ήταν γεμάτα με νερό. Η κατάρρευση των πηγαδιών δημιούργησε υπερεκσκαφές

ύψους μέχρι και 6m. Το ύψος του υπερκείμενου ήταν 11m. Οι εργασίες σταμάτησαν και έγινε προστασία μετώπου εκσκαφής με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα από την κεφαλή κοπής. Οι υπερεκσκαφές προκάλεσαν μερική κατάρρευση οδοστρώματος επί της οδού Νίκης όπου έγινε πλήρωση της κοιλότητας με σκυρόδεμα, από την επιφάνεια. Εφαρμόστηκαν τιμεντενέσεις διάχυσης ενέματος (Tube-a-Manchette) επί της οδού Νίκης. Αποφασίσθηκε από την Διοίκηση του έργου για λόγους ασφαλείας το υπόλοιπο κομμάτι της σήραγγας μήκους 1.100m που διέρχεται κάτω από την οδό Ερμού να κατασκευασθεί με τη συμβατική μέθοδο NATM. Τέλος αποσυναρμολογήθηκε το TBM και απομακρύνθηκε από τη σήραγγα. Η ασπίδα του TBM παραμένει στη σήραγγα.

Σημαντικότερα κατασκευαστικά προβλήματα κατά την διάνοιξη της σήραγγας με το Μηχάνημα Σημειακής Κοπής Ανοικτής Ασπίδας (OFS)

- Διάνοιξη Τμήματος Σήραγγας Σταθμός Δάφνη - Άγιος Ιωάννης

Η διάνοιξη με ασπίδα ανοιχτού μετώπου (OFS – Εικόνα 2.8) ξεκίνησε την εκσκαφή του τμήματος σήραγγας Δάφνη-Άγιος Ιωάννης (μήκους 765m) στις 02 Σεπτεμβρίου 1998.



Εικόνα 2.8 - Πανοραμική εικόνα κατά τη συναρμολόγηση της Ασπίδας Ανοικτού Μετώπου (OFS), στο σταθμό "Δάφνη", για την εκσκαφή του μεσοδιαστήματος Δάφνη - Άγιος Ιωάννης.

Ο μέσος ρυθμός προόδου ήταν 8,5m ανά ημέρα. Η μέγιστη πρόοδος που επιτεύχθηκε ήταν 16m/ημέρα. Η άφιξη του TBM στο σταθμό του Αγίου Ιωάννη, σημειώθηκε στις 25 Μαρτίου 1999. Κατά την πορεία του TBM παρουσιάσθηκαν εκτεταμένες καθιζήσεις επιφανείας λόγω των φτωχών εδαφικών συνθηκών που προκάλεσαν ζημιές σε ορισμένα κτίρια (ρωγμές). Τα μέτρα που ελήφθησαν ήταν η κατασκευή πιλοτικής σήραγγας μήκους 238m για τη βελτίωση του εδάφους από τη στέψη της σήραγγας από το Σταθμό Άγιος Ιωάννη Εφαρμόσθηκαν τσιμεντενέσεις διάχυσης ενέματος και τένοντες από ίνες ύαλου (fiberglass) από την πιλοτική σήραγγα.

Μηχάνημα Διάνοιξης Μικροσηράγγων (MTBM)

Μία τέταρτη μέθοδος που εφαρμόσθηκε στο Μετρό της Αθήνας στα υπόγεια έργα είναι η διάνοιξη μικροσηράγγων με τα Micro TBM. Ο Σταθμός Μοναστηράκι κατασκευάστηκε με τη χρήση της συμβατικής μεθόδου NATM. Λόγω των φτωχών εδαφικών συνθηκών, την παρουσία πολλών αρχαίων ευρημάτων σε βάθος μέχρι 6m, των αρχαίων πηγαδιών και λαμβάνοντας υπόψη ότι το υπερκείμενο είναι στα 16m, εφαρμόσθηκε η μέθοδος διάνοιξης μικροσηράγγων για την προσωρινή υποστήριξη του θόλου του Τα σημαντικά προβλήματα κατά την κατασκευή ήταν οι καθιζήσεις που σταθεροποιήθηκαν στο μέγιστο των 65mm στην επιφάνεια της οδού, με ρυθμό 1,5mm ανά ημέρα κατά τη διάνοιξη της μικροσήραγγας.

Δύο πιλοτικές σήραγγες (3m διάμετρο) κατασκευάσθηκαν στην κορυφή της αψίδας με τη χρήση της συμβατικής μεθόδου καθώς και δύο στοές αφίξεως σε κάθε μία πλευρά του σταθμού για να δώσουν πρόσβαση στην κεφαλή εκσκαφής του micro-TBM. Στην κορυφή του πετάλου συναντήθηκαν 14 αρχαία πηγάδια κατά την εκσκαφή. Τα πηγάδια αυτά πληρώθηκαν με σκυρόδεμα από τις στοές και από την επιφάνεια.

2.3 Εκτίμηση κινδύνου

Η ύπαρξη του παράγοντα κινδύνου σε όλες τις εκφράσεις της ανθρώπινης δραστηριότητας έχει ως λογικό επακόλουθο την προσπάθεια ορισμού του ως ένα μετρήσιμο μέγεθος. Συνεπώς με την πάροδο του χρόνου έχει αναπτυχθεί μια επιστήμη αφοσιωμένη στον κίνδυνο και την εκτίμηση αυτού.

Η εκτίμηση (ή ανάλυση) κινδύνου είναι η επιστήμη που ασχολείται με την έννοια του κινδύνου, και την προσπάθεια ερμηνείας και υπολογισμού του. Η διαδικασία εκτίμησης κινδύνου περιλαμβάνει, τον καθορισμό των ορίων αβεβαιότητας, τη διερεύνηση των πιθανοτήτων που αφορούν την εμφάνιση δυσμενών γεγονότων και την αξιολόγηση του αντίκτυπου των γεγονότων.

2.3.1 Εκτίμηση Κινδύνου στα Υπόγεια Έργα

Παραδοσιακά, η διαχείριση των κινδύνων στα υπόγεια έργα, όπως και στα περισσότερα τεχνικά έργα, γίνεται εμμέσως, μέσα από τις διάφορες αποφάσεις που παίρνονται από τους μηχανικούς κατά την εξέλιξη του έργου. Σύμφωνα με οδηγίες που έχουν εκδοθεί από την ITA (International Tunnel Association, 2002), οι διαδικασίες που σχετίζονται με την διαχείριση του κινδύνου στα υπόγεια έργα μπορούν να βελτιωθούν σημαντικά μέσω της χρήσης συστηματικών μεθόδων εκτίμησης κινδύνου κατά το στάδιο της ανάπτυξης τέτοιων έργων. Με τη χρήση αυτών των τεχνικών είναι δυνατή η αναγνώριση διαφόρων πιθανών προβλημάτων εκ των προτέρων, αλλά και η λήψη ανάλογων προληπτικών μέτρων για την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας εμφάνισής τους. Μάλιστα, η εκτίμηση του κινδύνου από τα πρώτα στάδια ενός τέτοιου έργου θεωρείται απαραίτητη, καθώς κατά τη διάρκεια αυτών των πρώτων σταδίων οι εκτιμήσεις σχετικά με την ύπαρξη κινδύνων μπορούν να επηρεάσουν σοβαρές αποφάσεις, όπως η επιλογή της διεύθυνσης μίας σήραγγας ή η επιλογή κατασκευαστικών μεθόδων που θα ακολουθηθούν σε κάποιο έργο.

2.3.2 Πιθανολογική Εκτίμηση Κινδύνου

Η Πιθανολογική Ανάλυση Κινδύνου (Probabilistic Risk Assessment - PRA) είναι η τεχνική που θεωρεί ότι δεν υφίσταται μια ντετερμινιστική μεμονωμένη μέση τιμή γεγονότων ή συμβάντων, αλλά κάθε πράγμα δομείται από πιθανές εκβάσεις οι οποίες έχουν ή λαμβάνουν μία πιθανότητα να συμβούν. Δηλαδή κάθε μεταβλητή ορίζεται όχι από μία τιμή, αλλά από μια κατανομή πιθανότητας.

Η Πιθανολογική Εκτίμηση Κινδύνων χρησιμοποιεί κατανομές πιθανότητας για να χαρακτηρίσει την μεταβλητότητα στην εκτίμηση των κινδύνων. Σε μια PRA, μία ή περισσότερες μεταβλητές ορίζονται

ως κατανομές πιθανοτήτων, σύμφωνα με την εξίσωση κινδύνου (βλ. Κεφάλαιο 2.1). Ομοίως, τα αποτελέσματα μίας τέτοιας εκτίμησης παρουσιάζονται συνήθως ως εύρη τιμών ή κατανομές πιθανοτήτων των κινδύνων που αντιμετωπίζονται. Η πιθανολογική ανάλυση κινδύνου συνήθως απαντά τρία βασικά ερωτήματα:

1. Τι μπορεί να πάει λάθος με τη μελετώμενη τεχνολογική οντότητα ή ποια είναι τα εφελκυστικά συμβάντα που οδηγούν σε ανεπιθύμητες συνέπειες;
2. Ποιες και πόσο σοβαρές είναι οι πιθανές συνέπειες ή ενδεχόμενες δυσλειτουργίες τις οποίες μπορεί να υποστεί η τεχνολογική οντότητα ως αποτέλεσμα της εμφάνισης του εφελκυστικού συμβάντος;
3. Ποία είναι η πιθανότητα να συμβούν είναι αυτές οι ανεπιθύμητες συνέπειες ή ποιά είναι η συχνότητα εμφάνισης τους;

Η απαντήσεις στα ερωτήματα αυτά δίδονται μέσα από την χρήση διαφόρων εργαλείων εκτίμησης κινδύνου σε συνδυασμό με προϋπάρχουσα τεχνογνωσία.

Εργαλεία Εκτίμησης Κινδύνου

Η εκτίμηση του κινδύνου κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού και κατά τις διάφορες φάσεις υλοποίησης ενός υπογείου έργου απαιτεί κατάλληλα εργαλεία. Τα ακόλουθα είδη των προβλημάτων που επιλύονται με τη χρησιμοποίηση μέσων ανάλυσης του κινδύνου είναι:

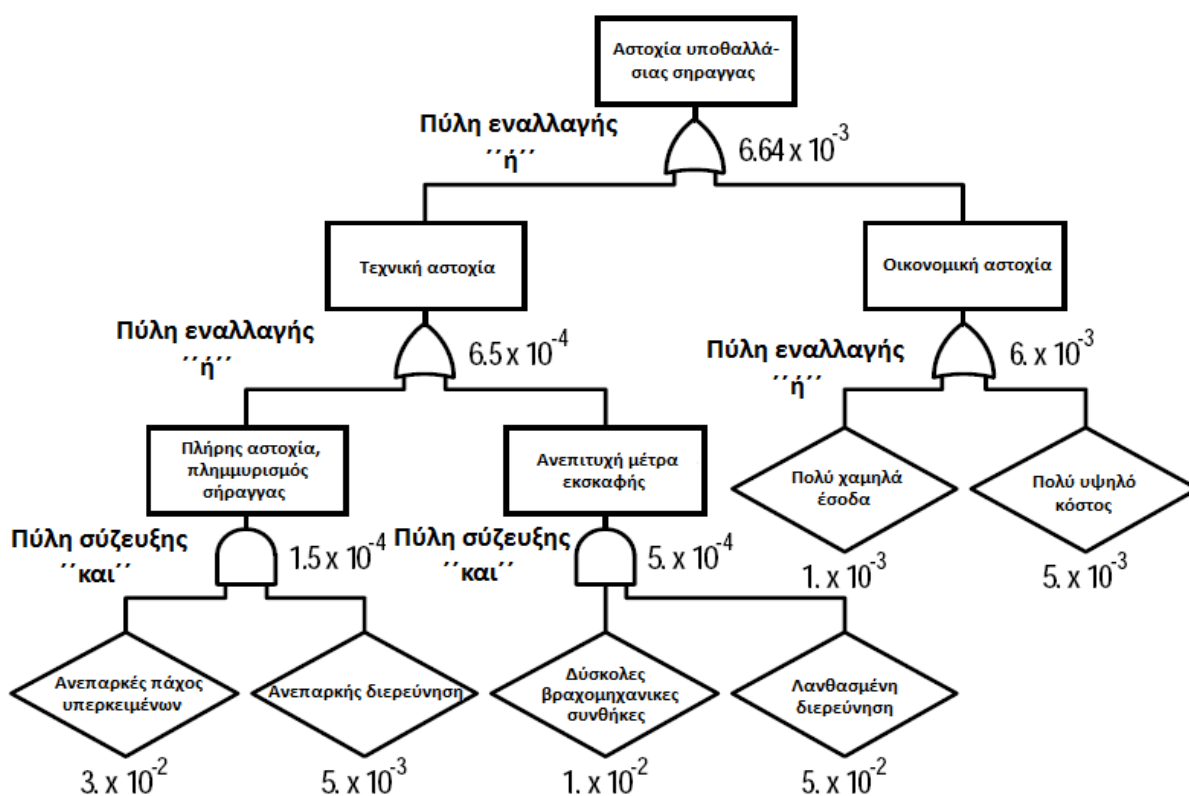
- Ο προσδιορισμός του κινδύνου,
- Η ποσοτικοποίηση τον κίνδυνου,
- Η οπτικοποίηση αιτίων και αποτελεσμάτων, καθώς και της αλληλουχίας των γεγονότων που οδηγούν σε ένα ανεπιθύμητο συμβάν

Τα περισσότερα εργαλεία εκτίμησης κινδύνου έχουν αναπτυχθεί για εφαρμογές έξω από πεδίο των υπογείων κατασκευών. Ωστόσο, κάποια από αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τους κινδύνους που προκύπτουν στα υπόγεια έργα χωρίς σημαντικές προσαρμογές (International Tunnel Association, 2002). Πρέπει να σημειωθεί ότι, πέρα από τη χρήση τους στην πιθανολογική

ανάλυση κινδύνου, τα εργαλεία αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτοτελώς ως τεχνικές εκτίμησης κινδύνου.

- Δενδροειδή Διαγράμματα Ανάλυσης Σφάλματος - Fault Tree Analysis

Τα Δενδροειδή Διαγράμματα Ανάλυσης Σφάλματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναλύσουν μία αιτιοκρατική σχέση ή ένα συνδυασμό αιτιοκρατικών σχέσεων που προηγούνται ενός αρνητικού συμβάντος. Ως εργαλείο ανάλυσης χρησιμοποιείται είτε με (Σχήμα 2.8) είτε χωρίς την ποσοτικοποίηση των πιθανοτήτων για τα συμβάντα. Με τη χρήση αυτού του εργαλείου, σύνθετα προβλήματα, με πολλούς παράγοντες που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μπορούν να δομηθούν.

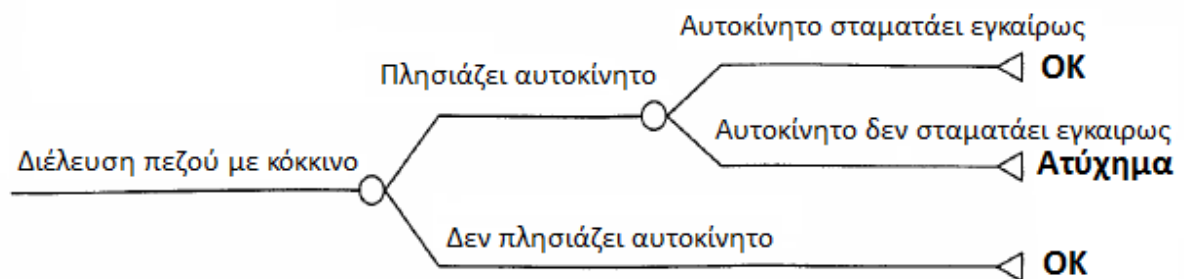


Σχήμα 2.8 - Δενδροειδές Διάγραμμα Ανάλυσης Σφάλματος με ποσοτικοποίηση πιθανοτήτων (ITA, 2002).

- Δενδροειδή Διαγράμματα Ανάλυσης Συμβάντος - Event Tree Analysis

Η περιγραφή της εξέλιξης μίας αλληλουχίας γεγονότων, ξεκινώντας από ένα εφαλτήριο γεγονός, μέσα από διάφορες πιθανές ακολουθίες έως μία καθορισμένη τελική κατάσταση γίνεται με την χρήση Δενδροειδών Διαγραμμάτων Ανάλυσης Συμβάντος (Σχήμα 2.9). Περαιτέρω ανάλυση μέσα

από την εκτίμηση πιθανοτήτων για τα διαφορετικά πιθανά αποτελέσματα μπορεί να γίνει για ανάγκες ποσοτικής ανάλυσης .

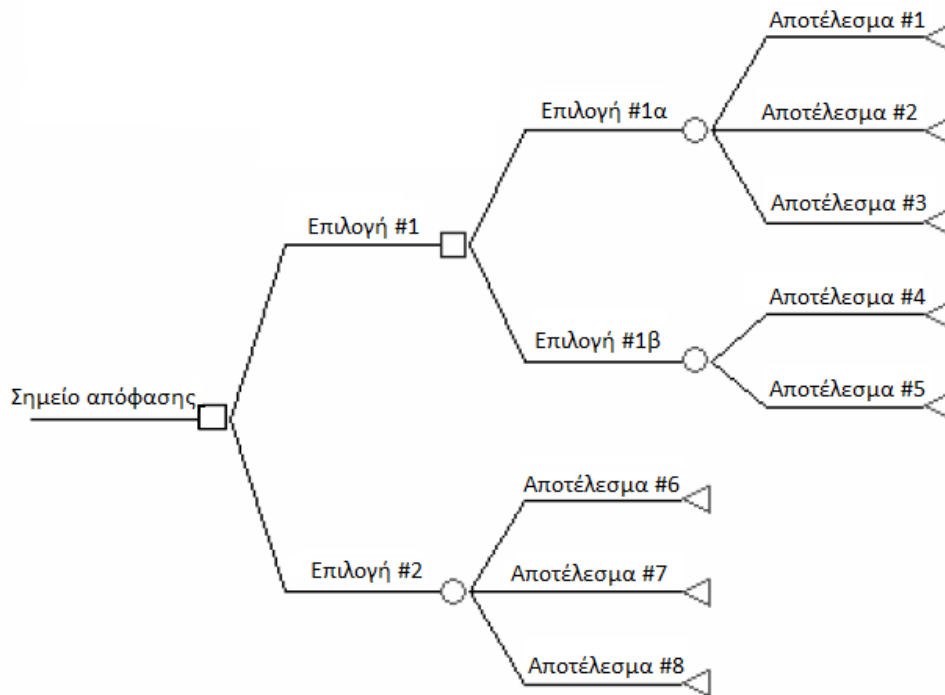


Σχήμα 2.9- Δενδροειδές Διάγραμμα Ανάλυσης Συμβάντος για την περίπτωση: Διέλευση πεζού που αγνοεί το κόκκινο φανάρι απο διάβαση. Κύκλοι: Κόμβοι πιθανών σεναρίων Τρίγωνα: Κόμβοι αποτελεσμάτων (ΙΤΑ, 2002).

- Δενδροειδή Διαγράμματα Ανάλυσης Αποφάσεων - Decision Tree Analysis

Τα Δενδροειδή Διαγράμματα Ανάλυσης Αποφάσεων χρησιμοποιούνται για να αναλύσουν τις βέλτιστες αποφάσεις με βάση τις διαθέσιμες πληροφορίες. Πολλές από τις αποφάσεις σε υπόγειες κατασκευές εμπεριέχουν σημαντικούς κινδύνους, και με τη χρήση Δενδροειδών Διαγραμμάτων Ανάλυσης Αποφάσεων αυτοί παρουσιάζονται σε δομημένη μορφή. Μία τέτοια ανάλυση μπορεί να αποτελέσει μια καλύτερη βάση για την λήψη αποφάσεων από ότι σε διαφορετική περίπτωση (Σχήμα 2.10).

Τα Δενδροειδή Διαγράμματα Αποφάσεων δομούνται από τα αριστερά προς τα δεξιά, όπως τα Δενδροειδή Διαγράμματα Ανάλυσης Συμβάντος. Ένα Δενδροειδές Διάγραμμα Αποφάσεων μπορεί να εκφραστεί ως πολλαπλά Δενδροειδή Διαγράμματα Ανάλυσης Συμβάντος.



Σχήμα 2.10 - Δενδροειδές Διάγραμμα Ανάλυσης Αποφάσεων Τετράγωνα: Κόμβοι αποφάσεων Κύκλοι: Κόμβοι πιθανών σεναρίων Τρίγωνα: Κόμβοι αποτελεσμάτων (ITA, 2002).

- Μέθοδος Ανάλυσης Πολλαπλών Κινδύνων - Multirisk

Αυτή η μέθοδος, χρησιμοποιούμενη κυρίως για τον υπολογισμό κόστους και χρόνους ολοκλήρωσης εργασιών, είναι μία προσεγγιστική μέθοδος με στόχο τον υπολογισμό λειτουργιών με στοχαστικές μεταβλητές. Η Μέθοδος Ανάλυσης Πολλαπλών Κινδύνων έχει μέγιστη χρηστικότητα όταν επικρατούν συνθήκες υψηλής αβεβαιότητας. Η μέθοδος είναι βασισμένη στην χρήση υπολογιστή και για τον υπολογισμό του κόστους δομείται σε 7 διαδοχικά βήματα:

1. Προσδιορισμός ενός συνόλου (λίγων σχετικά) ανεξάρτητων κύριων στοιχείων που συνιστούν το συνολικό κόστος.
2. Υπολογισμός του κόστους κάθε στοιχείου από τρεις τιμές: ελάχιστη, πιο συχνά εμφανίσιμη, και μέγιστη.
3. Η αναμενόμενη αξία και το εύρος αβεβαιότητας υπολογίζεται για κάθε κόστος στοιχείου.
4. Το συνολικό ποσό και οι διακυμάνσεις του κόστους υπολογίζονται.

5. Αν η συνολική διακύμανση είναι πολύ μεγάλη, το στοιχείο που έχει τη μεγαλύτερη επιρροή επί της αβεβαιότητας χωρίζεται σε ανεξάρτητα υποστοιχεία.
6. Τα βήματα 2-5 επαναλαμβάνονται μέχρι να επιτευχθεί μία αποδεκτή συνολική διακύμανση.
7. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται ως ένα μέσο κόστος και η τυπική του απόκλιση.

Ο σχεδιασμός για χρόνους ολοκλήρωσης εργασιών ακολουθεί τις ίδιες αρχές.

Η μέθοδος βασίζεται σε στατιστικά ανεξάρτητα είδη. Εάν αυτό δεν είναι δυνατό να ισχύσει για κάποια περίπτωση ανάλυσης, τότε τα χρονικά πλαίσια και το κόστος χαρακτηρίζονται ως "αντικείμενα γενικής αντιμετώπισης" για το σύνολο της εν λόγω ανάλυσης.

- Μέθοδος Monte Carlo

Ο τύπος της εκτίμησης που επιζητείται στα υπόγεια έργα συχνά περιλαμβάνει εξισώσεις με πολλές στοχαστικές μεταβλητές. Οι αναλυτικές εκτιμήσεις για αυτόν τον τύπο των προβλημάτων είναι πολύ περίπλοκες, ακόμα και αν είναι δυνατή εξαρχής η θέσπιση μιας αναλυτικής έκφρασης που θα οδηγήσει σε τέτοιου είδους εκτιμήσεις. Με τη χρήση προσομοίωσης, μια κατά προσέγγιση λύση μπορεί πολύ πιο εύκολα να υπολογιστεί. Ένα παράδειγμα τέτοιας προσομοίωσης είναι η μέθοδος Monte Carlo, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορους κλάδους μηχανικής.

Ο βασικός άξονας της προσομοίωσης, η εξίσωση εκτίμησης, γίνεται με τη χρήση στοχαστικών μεταβλητών και σταθερών. Επίσης υπολογίζονται οι κατανομές των αντίστοιχων μεταβλητών και ορίζονται συσχετισμοί μεταξύ των προσδιορισθέντων μεταβλητών. Στη συνέχεια μπορεί να προσομοιωθεί το κατά προσέγγιση αποτέλεσμα της εξίσωσης. Σε κάθε βήμα προσομοίωσης η εξίσωση υπολογίζεται από τυχαία επιλεγμένα δείγματα κάθε στοχαστικής μεταβλητής ανάλογα με την κατανομή της μεταβλητής και τους συσχετισμούς. Όσο αυξάνεται ο αριθμός των προσομοιώσεων, τόσο πιο ακριβές είναι το αποτέλεσμα. Μετά από προσομοίωση της τάξεως των 1.000, 10.000, 100.000 κύκλων ή ότι αριθμό κύκλων προσομοίωσης επιλεγεί, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως κατανομές συνοδευόμενες από αβεβαιότητα, από τις οποίες μπορούν να εξαχθούν ιστογράμματα, μέσες τιμές, τυπικές αποκλίσεις και άλλες στατιστικές παράμετροι.

Η προσομοίωση Monte Carlo χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση της πιθανολογικής εκτίμησης κινδύνου στα πλαίσια της παρούσης διπλωματικής εργασίας. Αναλυτικά, τα χαρακτηριστικά της και ο τρόπος υλοποίησης της δίνονται στο Κεφάλαιο 5.

Κεφάλαιο 3 – Ανάλυση Βασικών Στοιχείων Περιοχής Ενδιαφέροντος και Κατασκευαστικών Δεδομένων Έργου

3.1 Βασικά Χαρακτηριστικά της Επέκτασης της Γραμμής 2 του Μετρό των Αθηνών

«Περιστέρι – Ανθούπολη»

3.1.1 Η Εταιρία ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.

Η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. είναι μια σύγχρονη εταιρεία δημοσίου συμφέροντος, με προσωπικό υψηλής επιστημονικής κατάρτισης, η οποία με υπεύθυνο σχεδιασμό και συστηματική δουλειά υλοποιεί την ανάπτυξη του δικτύου του Μετρό της Αθήνας. Σήμερα, οι δύο Γραμμές του Μετρό της Αθήνας έχουν συνολικό μήκος περίπου 51,1 χλμ (συμπεριλαμβανομένων των 20,7 χλμ γραμμής του προαστιακού από τον σταθμό Δουκίσσης Πλακεντίας προς Αεροδρόμιο), διαθέτουν 28 σύγχρονους σταθμούς και εξυπηρετούν 650.000 επιβάτες.

Παράλληλα, η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. προχωρά στην υλοποίηση νέων επεκτάσεων του δικτύου και ήδη σε εξέλιξη βρίσκεται ο διαγωνισμός για την περαιτέρω επέκταση της Γραμμής 3 από το Χαϊδάρι μέχρι τον Πειραιά, προκειμένου ο Δήμος Πειραιά να αποκτήσει 3 Σταθμούς Μετρό και να συνδεθεί με το Αεροδρόμιο. Επίσης, σχεδιάζεται η κατασκευή μιας νέας Γραμμής μήκους 20,9 km με 20 Σταθμούς (προϋπολογισμού 2,1 δισ. €), η οποία θα καλύψει την διαδρομή Άλσος Βεΐκου – Πανεπιστήμιο – Ευαγγελισμός – Άνω Ιλίσια – Κατεχάκη – Μαρούσι.

3.1.2 Πρόδος επέκτασης Γραμμής 2 από τον Αγ. Αντώνιο προς την Ανθούπολη

Στις 11 Απριλίου του 2006 ολοκληρώθηκε ο διαγωνισμός για την επέκταση της Γραμμής 2 από τον Αγ. Αντώνιο προς την Ανθούπολη (1,5 χλμ.) με 2 νέους Σταθμούς: Περιστέρι και Ανθούπολη και τον Σεπτέμβριο του ίδιου έτους ξεκίνησαν οι κατασκευαστικές εργασίες του έργου. Με την επέκταση αυτή, ο μεγαλύτερος δήμος της Δυτικής Αθήνας, ο Δήμος Περιστερίου, θα διαθέτει πλέον τρεις σταθμούς Μετρό (Αγ. Αντώνιος, Περιστέρι, Ανθούπολη) που προβλέπεται - βάσει των μελετών - να εξυπηρετούν συνολικά 75.000 άτομα ημερησίως. Αξίζει να σημειωθεί ότι η απόσταση

Ανθούπολη-Σύνταγμα θα διανύεται μόλις σε 11 λεπτά ενώ σήμερα τα επιβατικά αυτοκίνητα, σε ώρες αιχμής, κάνουν τουλάχιστον 45 λεπτά (Ιστοσελίδα Αττικό Μετρό).

Ειδικότερα, σε ό,τι αφορά τους νέους σταθμούς:

- Ο Σταθμός Περιστερί κατασκευάζεται κυρίως με τη μέθοδο του ανοικτού ορύγματος στη Λεωφόρο Παναγή Τσαλδάρη στο ύψος του Δημαρχείου Περιστερίου (Εικόνα 3.1). Ποσοστό περίπου 30% του Σταθμού κατασκευάζεται με την μέθοδο της υπόγειας διάνοιξης προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η όχληση στην κυκλοφορία των οχημάτων καθώς στο συγκεκριμένο σημείο υπάρχει διασταύρωση 6 δρόμων. Επισημαίνεται ότι στην νότια πλευρά του Σταθμού θα πραγματοποιηθούν όλες οι απαραίτητες κατασκευές για σύνδεση μελλοντικά με γειτονικό υπόγειο χώρο στάθμευσης. Ο Σταθμός Περιστερί θα αποτελείται από 3 επίπεδα με ίδιο περίπου περίγραμμα συνολικής επιφάνειας 11.000 m².
- Ο Σταθμός Ανθούπολη κατασκευάζεται με την μέθοδο του ανοικτού ορύγματος υπογείως της οδού Αναπαύσεως ανάμεσα στις οδούς Δωδεκανήσου και Θηβών. Η νέα θέση του Σταθμού ήταν αποτέλεσμα των γεωτεχνικών ερευνών στην περιοχή της παλαιάς του θέσης, απέναντι από το γήπεδο του Αγίου Ιερόθεου, όπου διαπιστώθηκε ότι το έδαφος είναι εντελώς ακατάλληλο. Δηλαδή, η κατασκευή του Σταθμού στη θέση αυτή εγκυμονούσε σοβαρούς κινδύνους, τόσο για το ίδιο το έργο, όσο και για τις παρακείμενες κατοικίες, ενώ δεν θα επέτρεπε και την περαιτέρω επέκταση της Γραμμής 2 προς Κηπούπολη, Πετρούπολη και Ίλιον. Για τους παραπάνω λόγους, το ΥΠΕΧΩΔΕ αποφάσισε να μετατοπίσει τελικώς τον Σταθμό Ανθούπολη κατά 350m περίπου νοτιότερα. Η κατασκευή θα πραγματοποιηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε σε επόμενη φάση να είναι δυνατή η επέκταση της Γραμμής 2 τόσο προς την περιοχή του Αγίου Ιερόθεου, όσο και προς την Πετρούπολη και το Ίλιον.



Εικόνα 3.1- Δίκτυο Αττικό Μετρό και Αναγνώρισης Περιοχής ενδιαφέροντος.

3.2 Η Περιοχή Ενδιαφέροντος – Γεωλογικά και Γεωτεχνικά Δεδομένα

3.2.1 Αναγνώριση Περιοχής

Η θέση κατασκευής της σήραγγας διπλής τροχιάς βρίσκεται κατά μήκος της οδού Παναγή Τσαλδάρη και εκτείνεται από την Χ.Θ. 1+392.50 (αρχή εργολαβίας) έως την Χ.Θ. 1+681.29 (αρχή Σταθμού «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ»). Η θέση κατασκευής του σταθμού Περιστερί εκτείνεται από την Χ.Θ. 1+681.29 έως την Χ.Θ. 1+736.29.

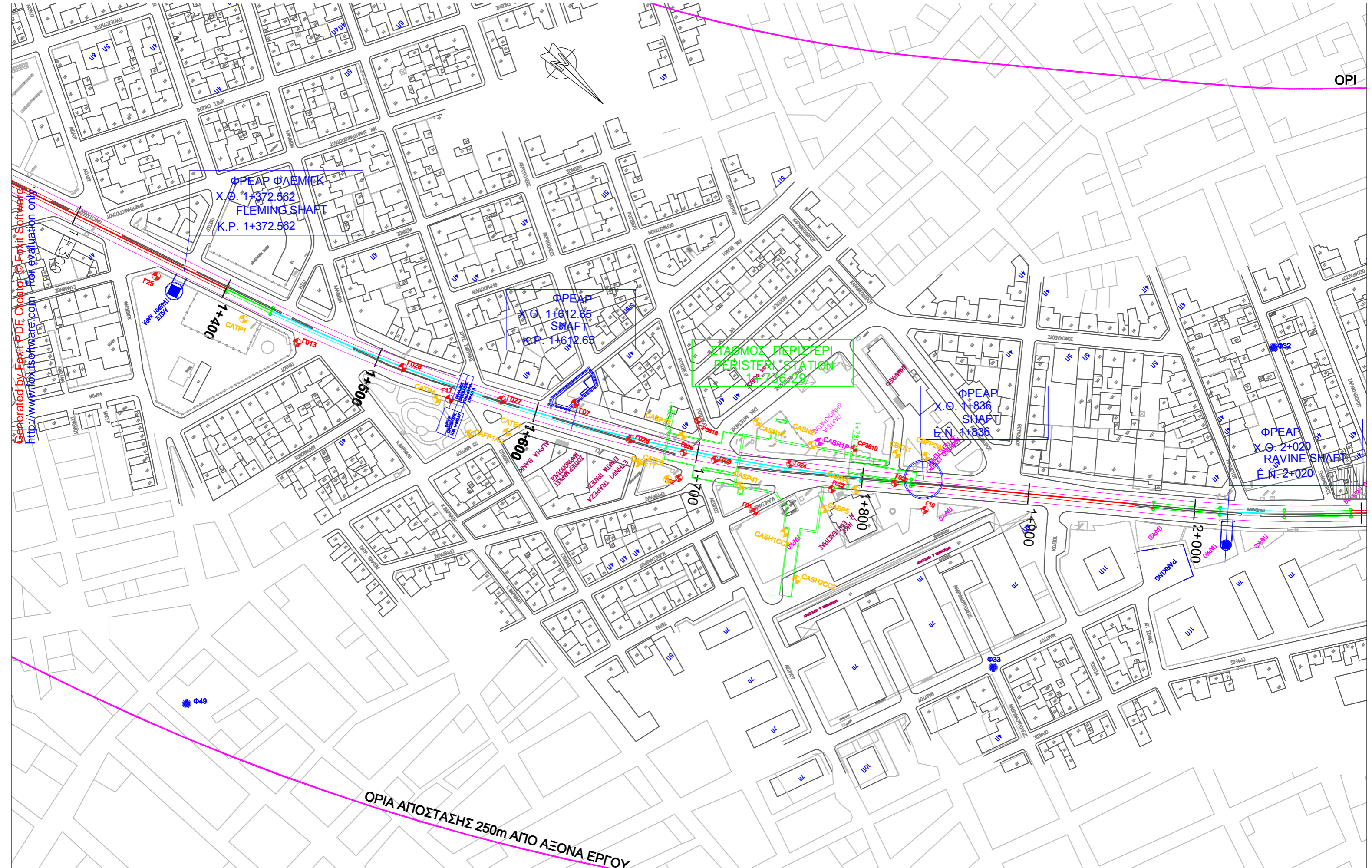
Η περιοχή μελέτης είναι επίπεδη, χωρίς ιδιαίτερα μορφολογικά χαρακτηριστικά (πρόκειται για μία τυπική αστική περιοχή). Το πάχος των υπερκειμένων της σήραγγας εδαφικών σχηματισμών, από την στέψη αυτής έως την επιφάνεια του εδάφους, κυμαίνεται από 11.45 m, στην Χ.Θ. 1+681.29, έως 13.75 m, στην Χ.Θ. 1+392.50. Ακολουθούν αεροφωτογραφίες της περιοχής από το Google Earth (Εικόνες 3.2 και 3.3) καθώς και ο χάρτης με την οριζοντιογραφία της περιοχής και τις θέσεις των γεωτρήσεων(Χάρτης 3.1).



Εικόνα 3.2 - Αεροφωτογραφία της περιοχής κατασκευής της σήραγγας και του Φρέατος Πρόσβασης έως τον σταθμό ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ



Εικόνα 3.3 - Αεροφωτογραφία της περιοχής κατασκευής του σταθμού ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ.



Χάτης 3.1 - Γενική Οριζοντιογραφία - Θέσεις Γεωτρήσεων (κλίμακα 1:50)

3.2.2 Γεωλογικές συνθήκες ευρύτερης περιοχής μελέτης - Μορφολογία

Το λεκανοπέδιο της Αθήνας έχει σχήμα επίμηκες με άξονα διεύθυνσης ΒΑ - ΝΔ και καλύπτει το κεντρικό τμήμα του νομού Αττικής.

Ορίζεται στα νοτιοανατολικά από τη νότια απόληξη του Υμηττού (ακρωτήριο «Ζωστήρ» - Βουλιαγμένη), στα βόρεια, βορειοδυτικά και δυτικά από την οροσειρά της Πάρνηθας και το όρος Αιγάλεω, με δυτική κατάληξη το ακρωτήριο Περάματος και ανατολικά από τον Υμηττό και τον αυχένα Σταυρού - Γαργητού.

Το μήκος του είναι 22km και το μέσο πλάτος του 11km περίπου. Μορφολογικά χωρίζεται σε ανατολικό και δυτικό τμήμα από μία σειρά λόφων που αναπτύσσονται πλησίον του κεντρικού του άξονα. Η σειρά αυτή απαρτίζεται από τα Τουρκοβούνια, τον Λυκαβηττό, την Ακρόπολη και του Φιλοπάππου. Το δυτικό τμήμα, όπου και η περιοχή μελέτης, αποστραγγίζεται από τον Κηφισό ποταμό, ο οποίος πηγάζει από τον αυχένα του Μπογιατίου και εκβάλλει στον όρμο του Φαλήρου.

Το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης είναι ομαλό με ήπιες κλίσεις πρηνών γενικής διεύθυνσης ΒΔ - ΝΑ. Λοφώδεις εξάρσεις παρατηρούνται σε θέσεις ανάδυσης του γεωλογικού υποβάθρου. Ο κύριος ορεινός όγκος (όρος Αιγάλεω) ευρίσκεται σε απόσταση 3km περίπου από την περιοχή του έργου με υψόμετρο που ανέρχεται στα 450m και ανάπτυγμα ΝΔ - ΒΑ διεύθυνσης. Το υψόμετρο στη θέση της σήραγγας προς τον σταθμό «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» κυμαίνεται μεταξύ +48m και +55m. Το χαμηλότερο υψομετρικά μορφολογικό στοιχείο της περιοχής είναι ο ποταμός Κηφισός, ο οποίος, στο «ύψος» της οδού Παναγή Τσαλδάρη, έχει υψόμετρο περί τα +44m.

3.2.3 Γεωλογική Δομή Αθηνών

Η γεωλογική δομή του λεκανοπεδίου της Αθήνας παρουσιάζει πολυπλοκότητα όσον αφορά στο γεωτεκτονικό της πλαίσιο.

Το βορειοδυτικό του τμήμα καταλαμβάνεται από τους ορεινούς όγκους του Αιγάλεω και της Πάρνηθας, που συνίστανται σχεδόν εξ ολοκλήρου από ιζηματογενείς ανθρακικούς μη μεταμορφωμένους σχηματισμούς. Το βορειοανατολικό και το νοτιοανατολικό του τμήμα, που καταλαμβάνεται από τους ορεινούς όγκους της Πεντέλης και του Υμηττού, συνίστανται από μεταμορφωμένους σχηματισμούς (Χάρτης 3.2).

Το βορειοδυτικό τμήμα του λεκανοπεδίου των Αθηνών ανήκει στη Πελαγονική γεωτεκτονική ζώνη, που δομείται από μη μεταμορφωμένους σχηματισμούς με την κατωτέρω διάρθρωση:

- Στην βάση ευρίσκεται το ελαφρά μεταμορφωμένο Νεοπαλαιοζωϊκό υπόβαθρο μετακλαστικών σχηματισμών με ανθρακικές ενστρώσεις.
- Ακολουθούν ανθρακικά πετρώματα, Τριαδικής - Ιουρασικής ηλικίας, με μέγιστο πάχος περί τα 700 μέτρα.

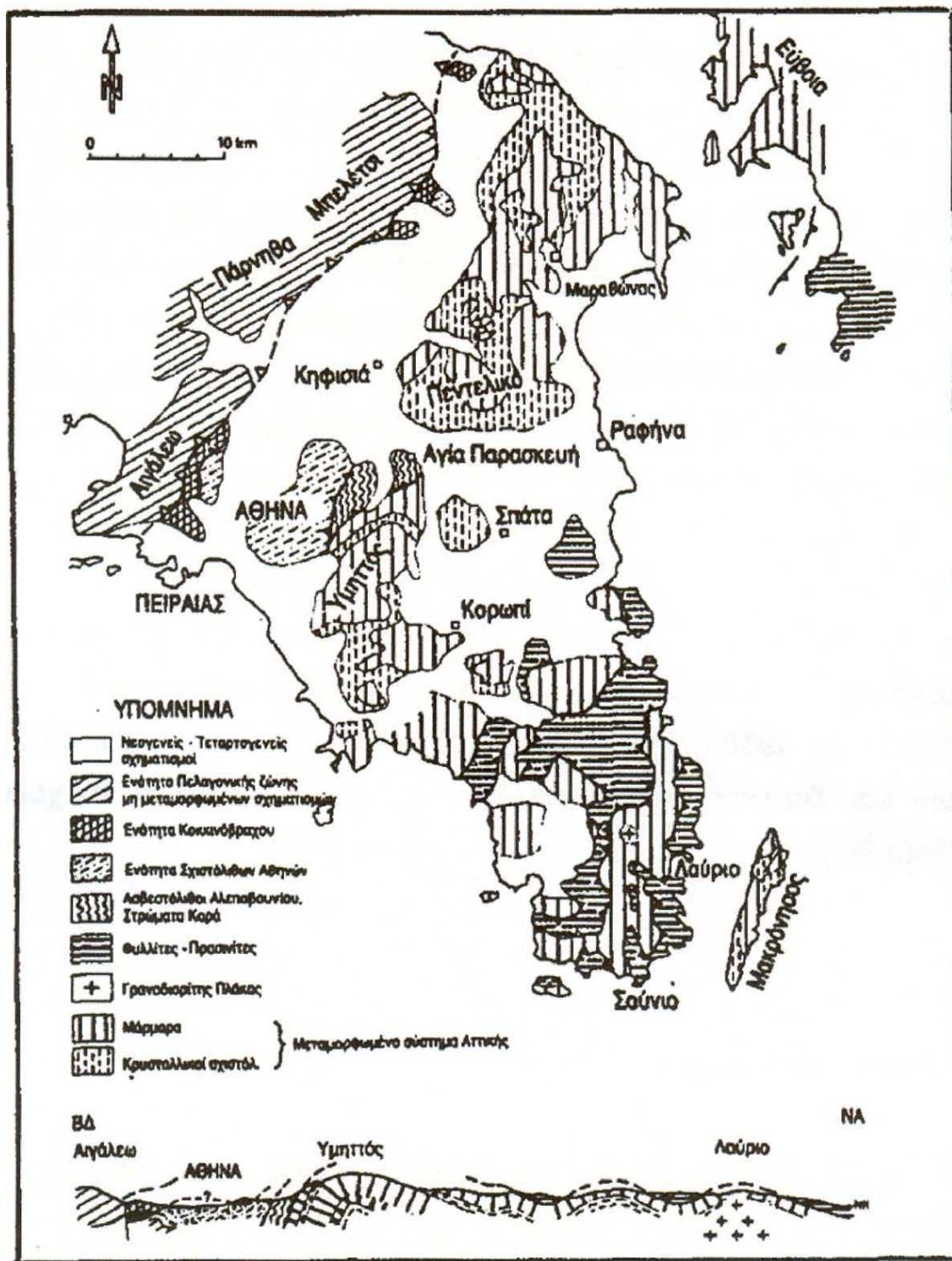
Στους ανωτέρω σχηματισμούς έχουν αποθεθεί οφιολιθικά πετρώματα λόγω παλαιοαλπικών πτυχώσεων.

- Η στρωματογραφική στήλη καταλήγει με τους επικλυσιογενείς ασβεστόλιθους του Μέσου - Ανώτερου Κρητιδικού, που έχουν αποθεθεί ασύμφωνα στους προηγούμενους σχηματισμούς, με πάχος που ανέρχεται σε 300 μέτρα.

Η στρωματογραφική στήλη του όρους Αιγάλεω είναι η ακόλουθη (Δούνα και Γαϊτανάκη, 1981):

- Νεοπαλαιοζωϊκό - Μέσο Τριαδικό : Τεφροπράσινοι αργιλικοί σχιστόλιθοι, ψαμμίτες, βασικά εκρηξιγενή και κροκαλοπαγή με ενστρώσεις και φακούς μελανότεφρων ασβεστόλιθων.
- Μέσο Τριαδικό - Κατώτερο Ιουρασικό : Ανοικτότεφροι, μέσο - παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι δολομίτες που αποτελούν τον κύριο όγκο του όρους.
- Κενομάνιο - Σενώνιο: Επικλυσιογενείς. Λεπτοστρωματώδεις ή μεσοπαχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι, που κατά θέσεις καλύπτουν τα βωξιτικά και σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα.

Στο βορειοανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα του λεκανοπεδίου αναπτύσσονται οι ορεινοί όγκοι του Υμηττού και της Πεντέλης. Η στρωματογραφική διάρθρωση που ισχύει σε γενικές γραμμές σε αυτή την περιοχή από τους παλαιότερους προς του νεώτερους σχηματισμούς είναι η ακόλουθη (Lepsius, 1893) :



Χάρτης 3.2 - Γεωλογικός Χάρτης της Νοτιοανατολικής Αττικής και Γεωλογική Τομή των Σχηματισμών της Περιοχής (Αττικό Μετρό, 2007).

- Ασβεστομιγείς και μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι με λεπτοστρωματώδεις κρυσταλλικούς δολομιτικούς ασβεστόλιθους (Σχιστόλιθοι Βάρης), που έχουν πάχος 100 m περίπου και συναντώνται μόνο σε περιοχές της Βάρης.
- Δολομιτικοί και ασβεστολιθικοί σχιστόλιθοι ανοιχτότεφρου, τεφρού ή μελανού χρώματος, πάχους περίπου 200 m (βαθμίδα Πιρναρής). Συναντώνται στον νότιο Υμηττό πάνω από τις περιοχές Ελληνικού - Αργυρούπολης.
- Κατώτερα μάρμαρα: ροδόχροα, υποκίτρινα ή λευκά άστρωτα μάρμαρα, κατά θέσεις κυψελώδη - λατυποπαγή. Εμφανίζουν πάχος περίπου 500 m και αποτελούν την κύρια μάζα του Υμηττού και εν μέρει της Πεντέλης.
- Μαρμαρυγιακοί και ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι με ενστρώσεις κρυσταλλικών ασβεστόλιθων ή μαρμάρων (Σχιστόλιθοι Καισαριανής). Το πάχος του σχηματισμού ανέρχεται σε 250 m περίπου και συναντάται στο Β. Υμηττό και στην Πεντέλη.

Επάνω σε αυτά τα στρώματα επικάθονται ασυμφώνως ο «κατώτερος ασβεστόλιθος» και τα «στρώματα Καρά», Κατωκρητιδικής και Ιουρασικής ηλικίας, που εμφανίζονται στους βόρειους και δυτικούς πρόποδες του Υμηττού, ενώ στη συνέχεια επικάθονται, επίσης με ασυμφωνία, οι «Σχιστόλιθοι των Αθηνών» και ο «άνωτερος ασβεστόλιθος του Λυκαβηττού» Κρητιδικής ηλικίας.

3.2.4 Γεωλογική Δομή Περιοχής Μελέτης

Το γεωλογικό υπόβαθρο της λεκάνης Περιστερίου συνίσταται από τους «Σχιστόλιθους των Αθηνών». Μεγάλα τμήματα του συστήματος των σχιστόλιθων καλύπτονται από μικρού έως μεγάλου πάχους, νεώτερης ηλικίας, σχηματισμούς του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς. Αναλυτικά, οι σχηματισμοί που συναντώνται στην ευρύτερη του έργου περιοχή είναι :

- Οι Ασβεστόλιθοι του όρους Αιγάλεω. Συναντώνται βόρεια και βορειοδυτικά της θέσης του έργου, έχουν λευκό έως τεφρό χρώμα και είναι συμπαγείς και ανακρυσταλλωμένοι.
- Οι Σχιστόλιθοι των Αθηνών. Αποτελούν το άμεσο υπόβαθρο στην περιοχή του έργου. Συνίστανται από τεφρούς, κυανότεφρους ή υποπράσινους αργιλικούς, ψαμμιτικούς σχιστόλιθους, ασβεστιτικούς ψαμμίτες και γραουβάκες, με ενστρώσεις ασβεστόλιθων και σχιστωδών μαργών

και με μικρά σώματα εκρηξιγενών πετρωμάτων, κυρίως σπλιτών. Δυτικά του σταθμού «ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ» παρατηρείται ανάδυση των σχιστόλιθων έως την επιφάνεια του εδάφους.

- Τα Νεογενή ιζήματα. Έχουν σημαντική επιφανειακή εμφάνιση δυτικά της θέσης του έργου. Συνίσταται από εναλλασσόμενα στρώματα λιμναίας φάσης, μαργών, αργίλων και ψαμμιτών, με παρεμβολές κροκαλοπαγών και κοιτάσματα λιγνιτών. Προς τα πάνω εξελίσσονται σε χερσαίους σχηματισμούς, κυρίως από ερυθροπηλούς και κροκαλοπαγή. Επικάθονται των «Αθηναϊκών Σχιστόλιθων».

- Τεταρτογενείς αποθέσεις. Ριπίδια χειμάρρων, πλευρικά κορήματα και προσχωσιγενή υλικά κοιλάδων, αποτελούμενα από ασβεστολιθικά λατυποπαγή - κροκαλοπαγή, ισχυρώς συγκολλημένα με ψαμμιτομαργαϊκό συνδετικό υλικό.

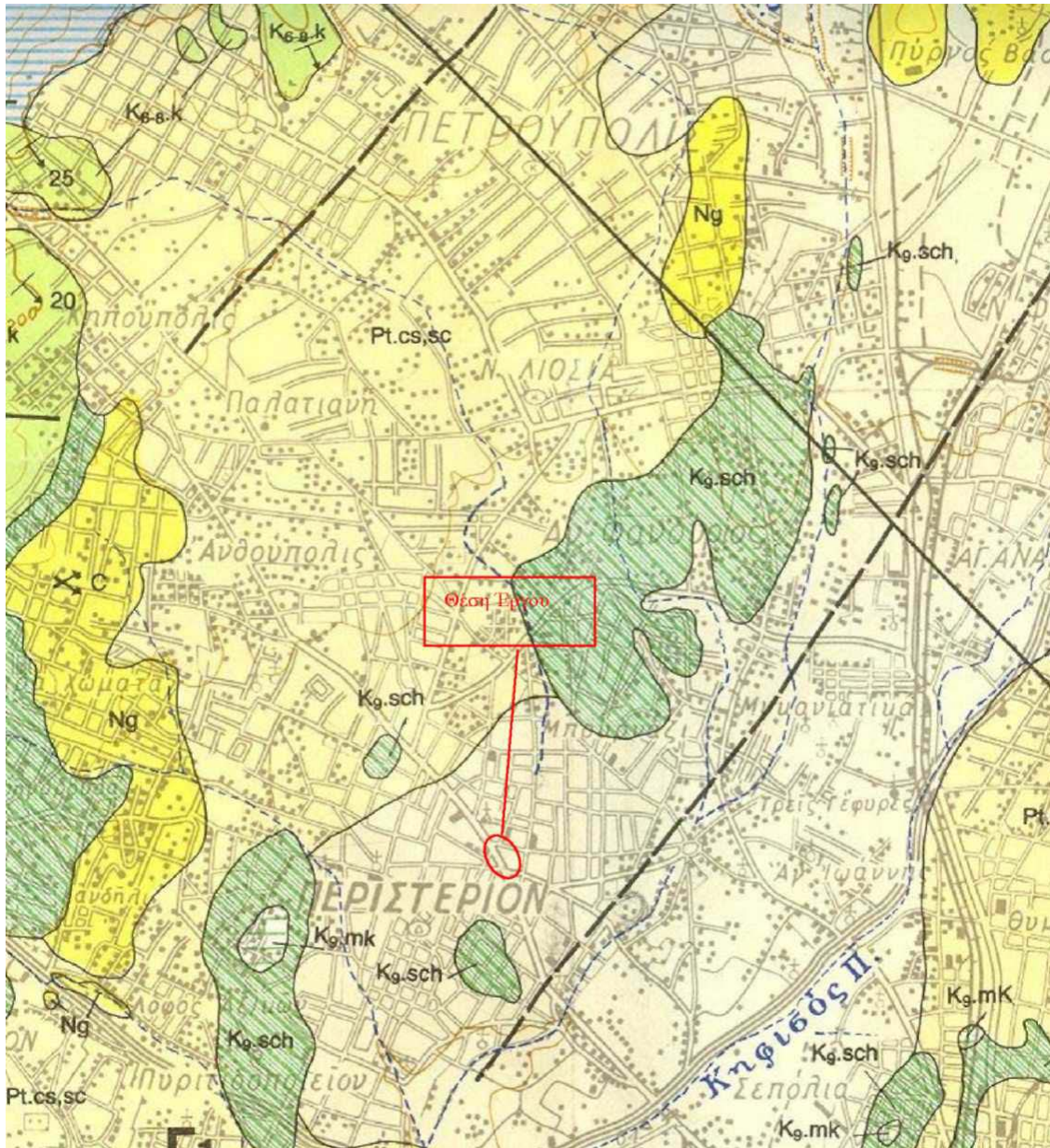
- Αλλουβιακές αποθέσεις, χαλαρών αργιλοαμμωδών υλικών με κροκαλολατύπες και ερυθρογή.

Ο γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του έργου δίνεται στον Χάρτη 3.3.

Η γεωλογική δομή της εγγύς περιοχής του έργου προκύπτει αφ' ενός μεν από την αξιολόγηση των στοιχείων των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, αφ' ετέρου από τις παρατηρήσεις κατά την διάρκεια κατασκευής της σήραγγας (με OFS) έως τη Χ.Θ. 1+829, ως ακολούθως.

- Επιφανειακά συναντώνται ανθρωπογενείς αποθέσεις, οι οποίες έχουν αναμιχθεί με τις ολοκαινικές αλλουβιακές προσχώσεις, δημιουργώντας ένα στρώμα, το πάχος του οποίου στις ανορυχθείσες γεωτρήσεις δεν ξεπερνά τα 3,00 m. Αποτελούν λεπτομερείς προσχώσεις, οι οποίες συνίστανται από χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά, ερυθρούς πηλούς, αμμώδεις αργίλους και λεπτόκοκκες άμμους.

- Υποκείμενος σχηματισμός, χωρίς όμως επιφανειακή εμφάνιση στην περιοχή του έργου, είναι το Νεογενές. Συνίσταται από καστανά έως καστανέρυθρα ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή και λατυποπαγή, μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένα, τα οποία, κατά θέσεις, απαντώνται με την μορφή «αμμοχάλικων». Το πάχος του σχηματισμού στις γεωτρήσεις δεν ξεπερνά τα 6,00 m, ενώ συναντώνται μέχρι βάθους 7,20 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.



Χάρτης 3.3 - Γεωλογικός Χάρτης Ευρύτερης Περιοχής Μελέτης με την Θέση του Έργου (απόσπασμα του Γεωλογικού Χάρτη Ελλάδος / ΦΥΛΛΟ ΑΘΗΝΑΙ - ΕΛΕΥΣΙΣ, ΙΓΜΕ 1986 - Κλίμακα 1:50.000).

- Τέλος, το υπόβαθρο της περιοχής μελέτης αποτελεί ο σχηματισμός των «Αθηναϊκών Σχιστόλιθων». Οι «Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι» αποτελούν ένα πολύπλοκο σύστημα πετρωμάτων, το οποίο συνίσταται από φλυσχοειδή ιζήματα τεφρών, κυανοπράσινων και φαιοπράσινων αργιλικών και ψαμμιτικών σχιστόλιθων με παρεμβολές και περιστρώσεις ασβεστιτικών ψαμμιτών, ασβεστόλιθων και σχιστωδών μαργών, με μικρά σώματα εκρηξιγενών πετρωμάτων, κυρίως σπηλιτών.

3.2.5 Υδρογεωλογικά Στοιχεία Περιοχής

Ο σχηματισμός του «Αθηναϊκού Σχιστόλιθου» παρουσιάζει μεγάλη ανισοτροπία όσον αφορά στην υδροπερατότητά του. Κατά κανόνα αποτελεί υδατοστεγανό σχηματισμό, λόγω της παρουσίας μεταίλυολίθων, σχιστόλιθων και αργιλοποιημένων ζωνών αποσάθρωσης, τεκτονισμού και διάτμησης στη μάζα του. Η παρουσία, όμως, μεταψαμμιτών και μεταβατικών ζωνών εναλλαγής μεταψαμμιτών / μεταίλυολίθων, όπως επίσης και στρώσεων κερματισμού διαμορφώνει επιλεκτικές διόδους κυκλοφορίας για το υπόγειο νερό. Κατά αυτόν τον τρόπο μπορούν, επίσης, να αναπτύσσονται μεμονωμένοι υδροφορείς, μικρής έως μέτριας δυναμικότητας, μέσα στη μάζα του σχηματισμού.

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών κατάταξης αλλά κι από την μακροσκοπική εξέταση των δειγμάτων και τις αντίστοιχες περιγραφές του σχηματισμού, που παρατίθενται στα μητρώα των γεωτρήσεων της περιοχής της σήραγγας διπλής τροχιάς, ο «Αθηναϊκός Σχιστόλιθος» περιέχει υψηλό ποσοστό λεπτόκοκκων (της τάξης του 30%). Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι από «υδραυλική» άποψη ο σχηματισμός αναμένεται να συμπεριφέρεται ως «ημιπερατός» - «αδιαπέρατος» σχηματισμός. Στους σχηματισμούς αυτούς ισχύει, ως έννοια, ο «βαθμός κορεσμού» (π.χ. πλήρως κορεσμένος σχηματισμός) και όχι ο «υδροφόρος ορίζοντας» καθώς το υπόγειο νερό πληρώνει τα κενά και συγκρατείται μέσα σε αυτά, ανάμεσα στους κόκκους του εδάφους. Επίσης, λόγω της μικρής, θεωρητικά, περατότητας, δεν δύναται να κυκλοφορεί με την ίδια ευκολία όπως σε πιο περατούς σχηματισμούς (π.χ. «άμμους»).

Εξαίρεση αποτελούν οι προαναφερθείσες, επιλεκτικές δίοδοι κυκλοφορίας του υπόγειου νερού, που δύναται να αναπτύσσονται μέσα σε ενδιαστρώσεις μεταψαμμιτών ή/και σχιστόλιθου με μικρότερο βαθμό αποσάθρωσης, δομή βράχου (ιδιαίτερα δε αν είναι κερματισμένες).

Βάσει των παραπάνω και με δεδομένο ότι του «Αθηναϊκού Σχιστόλιθου» υπέρκειται δύο (2), σχετικά, πιο περατοί σχηματισμοί (επιφανειακές αποθέσεις και κροκαλοπαγές), μπορεί να θεωρείται ότι ο παρατηρηθείς υδροφόρος ορίζοντας στην συγκεκριμένη, τουλάχιστον, θέση αναπτύσσεται ως «επικρεμμάμενος» του «Αθηναϊκού Σχιστόλιθου», ο οποίος, με τη σειρά του, θα πρέπει να θεωρείται, επί το δυσμενέστερο, ως «πλήρως κορεσμένος».

Με άλλα λόγια στον «Αθηναϊκό Σχιστόλιθο», δηλαδή στους μεταψαμμίτες (καλός και αποσαθρωμένος), στον μεταίλυολίθο και στον αργιλικό σχιστόλιθο η παρουσία του υπογείου

νερού λαμβάνει την έννοια του «κορεσμού» (μερικού ή πλήρους) του πορώδους κι όχι της παρουσίας ενός υδροφόρου ορίζοντα με διακριτή στάθμη και κυκλοφορία νερού, όπως γίνεται στην περίπτωση των «περατών - κοκκωδών» εδαφών.

Αντίθετα, στην περίπτωση του κροκαλοπαγούς και του ασβεστιτικού μεταψαμμίτη (ισχυρού και έντονα αποσαθρωμένου) η παρουσία του υπογείου νερού λαμβάνει την έννοια του φρεατίου υδροφόρου ορίζοντα με διακριτή στάθμη και κυκλοφορία νερού.

3.3 Στοιχεία δικτύων και υπογείων κατασκευών που υπάρχουν στην περιοχή

Τα στοιχεία σχετικά με τα υπόγεια δίκτυα των Οργανισμών Κοινής Ωφελείας (Ο.Κ.Ω.) έχουν ληφθεί από τα αντίστοιχα συμβατικά σχέδια. Τα βάθη των δικτύων, όσον αφορά στη ΔΕΗ και στον ΟΤΕ, δεν ξεπερνούν τα 2 m και αυτά των υδρευτικών και αποχετευτικών αγωγών τα 5 m.

3.3.1 Τερματικό Φρέαρ

Στην θέση κατασκευής του Τερματικού Φρέατος δεν απαντώνται δίκτυα Ο.Κ.Ω., καθώς αυτό θα διαμορφωθεί σε ήδη κατασκευασμένο και επιχωμένο όρυγμα πολύ μεγαλύτερων διαστάσεων (το οποίο φέρει προσωρινή αντιστήριξη και είχε χρησιμοποιηθεί ως φρέαρ εκκίνησης του μηχανήματος OFS στα πλαίσια προηγούμενης εργολαβίας της ΑΜ). Το Τερματικό Φρέαρ θα έχει συνολικό ύψος 23,0 m περίπου.

3.3.2 Περιοχή Σταθμού ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ

Κατά μήκος της οδού Αναπαύσεως υφίσταται αγωγός ύδρευσης Φ150 παράλληλος με τον άξονα του έργου σε απόσταση 4,50 m στο τέλος του σταθμού και 5,65 m στην αρχή του σταθμού αριστερά από αυτόν. Στον αγωγό ύδρευσης της οδού Αναπαύσεως διασταυρώνονται αγωγοί ύδρευσης Φ100 από τις οδούς Μενάνδρου - Αμφιλοχίας - Αριστείδου και Θηβών (Θηβών εκατέρωθεν του άξονα). Κατά μήκος της οδού Καρκαβίτσα διέρχεται αγωγός ύδρευσης Φ150. Κατά μήκος της οδού Αναπαύσεως υφίσταται αγωγός ακαθάρτων σε μέση απόσταση 4,00m αριστερά από τον άξονα.

Επίσης κατά μήκος της οδού Αναπαύσεως διέρχονται:

- γραμμή ΟΤΕ σε μέση απόσταση 8,00 m αριστερά του άξονα του έργου. Στην κεντρική γραμμή ΟΤΕ συνδέονται γραμμές από τις οδούς Μενάνδρου και Επαμεινώνδα. Κατά μήκος της οδού Καρκαβίτσα διέρχεται γραμμή ΟΤΕ που συνδέεται με την κεντρική γραμμή (Αναπαύσεως) και σταματά στη Θηβών.
- αγωγός αποχέτευσης (4,98m δεξιά από τον άξονα της σήραγγας). Ο αγωγός αυτός διασταυρώνεται με έτερους αγωγούς από τη Θηβών (εκατέρωθεν του άξονα του έργου). Διακόπτεται από τρία φρεάτια τα οποία βρίσκονται επί των Χ.Θ. 2+335,43 Χ.Θ. 2+376,58 και Χ.Θ. 2+484,86.
- γραμμή ΔΕΗ σε απόσταση 5,91m αριστερά από τον άξονα του έργου.

3.3.3 Περιοχή Σταθμού ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ

Κατά μήκος της Λεωφόρου Παναγή Τσαλδάρη υφίσταται αγωγός ύδρευσης Φ180 ο οποίος απέχει από τον άξονα της σήραγγας 6,60 m στη αρχή έως 8,09 m στο τέλος του σταθμού.

Επίσης κατά μήκος της Λεωφόρου Παναγή Τσαλδάρη διέρχονται:

- καταργημένος αγωγός όμβριων παράλληλα στον άξονα του έργου. Βρίσκεται δεξιά από τον άξονα του έργου και απέχει από 6,20 έως 7,70 m.
- ο κεντρικός αγωγός αποχέτευσης, παράλληλα και σε απόσταση 5,20 m δεξιά από τον άξονα της σήραγγας.
- δίκτυο της ΔΕΗ σε απόσταση μικρότερη των 2,20 m δεξιά από τον άξονα της σήραγγας και γραμμή ΟΤΕ σε απόσταση μικρότερη του 1m δεξιά από τον άξονα του έργου.

Επίσης υφίσταται ο εν λειτουργίας αγωγός όμβριων σε απόσταση 4,20 έως 6,20 m δεξιά από τον άξονα του έργου. Κατά μήκος της οδού Ρούσβελτ διέρχεται αγωγός ύδρευσης ο οποίος συνδέεται με τον κεντρικό αγωγό επί της Λεωφόρου Παναγή Τσαλδάρη. Από την οδό Ρούσβελτ διασταυρώνεται αγωγός ύδρευσης με τον κεντρικό της Λ. Παναγή Τσαλδάρη. Από την οδό Βεάκη διέρχεται επίσης δίκτυο ΔΕΗ και ΟΤΕ το οποίο διασταυρώνεται με τα κεντρικά της Π. Τσαλδάρη στην συμβολή των οδών. Τέλος από την οδό Αισώπου διέρχονται δίκτυα ΔΕΗ και ΟΤΕ καθώς και αγωγοί ύδρευσης και αποχέτευσης οι οποίοι διασταυρώνονται με τους αντίστοιχους κεντρικούς αγωγούς της Λ. Παναγή Τσαλδάρη.

3.3.4 Περιοχή Κατασκευής Σήραγγας

Λόγω έλλειψης στοιχείων για το τμήμα από την αρχή της επέκτασης έως και το φρέαρ πρόσβασης θεωρείται ότι τα δίκτυα Ο.Κ.Ω. της Π. Τσαλδάρη συνεχίζονται και σε αυτό το τμήμα με την ίδια διάταξη όπως αυτής του σταθμού Περιστερίου. Η διάταξή τους δεν έχει ιδιαίτερη σημασία για το έργο. Ούτε η κατασκευή του φρέατος πρόσβασης θα εμπλακεί με τα υφιστάμενα δίκτυα Ο.Κ.Ω.

3.4 Γεωτρήσεις

Ο κύριος όγκος γεωλογικών δεδομένων για την εκπόνηση αυτής της εργασίας αντλήθηκε από τα δεδομένα ερευνητικών γεωτρήσεων στην περιοχή του έργου, οι οποίες έχουν γίνει στο χρονικό διάστημα 1997-2006. Από την οριζοντιογραφία της περιοχής (Χάρτης 3.1.) φαίνεται ότι έχουν γίνει αρκετές γεωτρήσεις ως μέρος διάφορων γεωλογικών ερευνών. Ωστόσο αποφασίστηκε η χρησιμοποίηση 23 από αυτές.

Η επιλογή των συγκεκριμένων γεωτρήσεων έγινε με διάφορα κριτήρια όπως την κατανομή τους στην περιοχή ενδιαφέροντος, το βάθος στο οποίο έφτασαν, το πλήθος και το είδος των γεωλογικών στοιχείων που πάρθηκαν από τα μητρώα των γεωτρήσεων και το χρονικό εύρος στο οποίο ανορύχθηκαν. Σε όλο το μήκος του υπογείου τμήματος που εξετάζεται οι γεωτρήσεις ακολουθούν τη χάραξη της σήραγγας και παρουσιάζουν μια διασπορά στην περιοχή του σταθμού.

Στον Πίνακα 3.1 εμφανίζονται τα τοπογραφικά στοιχεία των γεωτρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και το βάθος στο οποίο έφτασαν.

Πίνακας 3.1 - Οριζοντιογραφία περιοχής γεωτρήσεων

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Χ.Θ.	Χ	Υ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ	ΒΑΘΟΣ(m)
CASN1T	1+732.25	96497,175	104050,909	56,36	35,0
CASP4T	1+728.48	96531,729	104069,937	56,09	35,0
CASE1T	1+685.85	96559,040	104036,046	55,58	29,5
CP3818	1+696.35	96521,286	104024,514	55,70	30,0
Γ025	1+691.92	96540,869	104031,721	55,80	20,8
Γ023	1+711.27	96530,985	104048,174	55,90	20,0
Γ05	1+739.76	96536,809	104087,050	56,84	30,8
Γ024	1+755.98	96501,690	104082,470	56,98	20,5
Γ022	1+782.84	96495,140	104110,980	57,40	25,0
CATP1	1+416.91	96666,373	103786,406	49,65	27,0
CATP4	1+541.45	96620,316	103902,968	52,51	25,0
CAFP1AC	1+566.32	96621,868	103931,586	52,62	27,1
CATE1	1+587.11	96605,646	103947,193	53,16	27,3
CATP5	1+666.19	96564,533	104016,034	55,18	25,0
CASP3T	1+688.99	96534,225	104024,349	55,85	29,0
CASE1T	1+685.85	96559,040	104036,046	55,58	29,5
Γ17	1+548.63	96615,104	103908,556	52,34	30,0
Γ25	1+359.07	96684,048	103730,874	48,65	30,0
Γ013	1+451.60	96654,209	103819,243	50,63	20,6
Γ027	1+578.38	96593,807	103931,469	53,34	21,0
Γ028	1+515.83	96621,100	103875,208	52,00	20,0
Γ07	1+621.12	96564,885	103964,542	54,26	29,8
Γ026	1+658.90	96557,456	10400,314	54,90	20,0

Η γεώτρηση Γ17 διεξήχθη κατά το χρονικό διάστημα από 10.09.1997 έως 17.10.1997 στα πλαίσια της μελέτης «Εδαφοτεχνικό Ερευνητικό Πρόγραμμα για την Επέκταση της Γραμμής 2 προς Περιστερί. Γεωτεχνική Έρευνα Α΄ Φάσης», Οκτώβριος 1997.

Η γεώτρηση Γ25 ανορύχθηκε το διάστημα από 04.03.1998 έως 16.04.1998 στα πλαίσια της μελέτης «Εδαφοτεχνικό Ερευνητικό Πρόγραμμα για την Επέκταση της Γραμμής 2 προς Περιστερί. Γεωλογική και Υδρογεωλογική Μελέτη - ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ Π. ΤΣΑΛΔΑΡΗ - ΛΥΣΗ II», Ιούλιος 1998.

Τον Ιούνιο του 2001 η εταιρεία «ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΙΟΥ» Α. Ε. αξιολόγησε τα στοιχεία των γεωτρήσεων Γ17 και Γ25 μεταξύ άλλων στο τεύχος «Αξιολόγηση Γεωτεχνικών Στοιχείων από την Περιοχή Φρέατος Παπανδρέου έως το Φρέαρ Εκκίνησης, Τεχνική Έκθεση», Γραφείο Μάλιου Α.Ε., Ιούνιος 2001.

Από τον Ιούλιο έως τον Σεπτέμβριο 2002 η εταιρεία «ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΙΟΥ» Α. Ε. ανόρυξε μεταξύ άλλων τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις Γ05 και Γ07 βάθους περί τα 30m κατά μήκος της χάραξης του OFS. Τα αποτελέσματά τους δίδονται στην έκθεση «Παρουσίαση και Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Πρόσθετων Δειγματοληπτικών Γεωτρήσεων Γ05, Γ06, Γ07 Κατά μήκος της Χάραξης του OFS», Γραφείο Μάλιου Α.Ε., Σεπτέμβριος 2002.

Το «ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΙΟΥ» Α. Ε. πραγματοποίησε πρόσθετες δειγματοληπτικές γεωτρήσεις (Γ012-A - Γ036), βάθους 20 - 25m, κατά το χρονικό διάστημα από 26.11.2002 έως 27.01.2003. Από αυτές χρησιμοποιήθηκαν για αυτή την εργασία δεδομένα από τις: Γ013, Γ022, Γ023, Γ024, Γ025, Γ026, Γ027 και Γ028. Τα αποτελέσματα και η αξιολόγηση των γεωτρήσεων αυτών παρουσιάζονται στα τεύχη:

«Παρουσίαση και Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Πρόσθετων Δειγματοληπτικών Γεωτρήσεων Γ012-A, Γ013, Γ014, Γ015 και Γ016 Κατά μήκος της Χάραξης του OFS», Γραφείο Μάλιου Α.Ε., Δεκέμβριος 2002.

«Παρουσίαση και Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Πρόσθετων Δειγματοληπτικών Γεωτρήσεων Γ017, Γ018, Γ019, Γ020, Γ021 και Γ022 Κατά μήκος της Χάραξης του OFS», Γραφείο Μάλιου Α.Ε., Ιανουάριος 2003.

«Παρουσίαση και Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Πρόσθετων Δειγματοληπτικών Γεωτρήσεων Γ023, Γ024, Γ025, Γ026, Γ027 και Γ028, Γ032, Γ034 και Γ035 Κατά μήκος της Χάραξης του OFS», Γραφείο Μάλιου Α.Ε., Φεβρουάριος 2003.

Από τον Οκτώβριο του 2005 έως τον Δεκέμβριο του 2006 έγινε η ανόρυξη των γεωτρήσεων CASN1T, CASP4T, CASE1T, CP3818, CATP1, CATP4, CAFP1AC, CATE1, CATP5, CASP3T, CASE1T από την ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Τ.Ε. Τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων αυτών δίδονται στο τεύχος:

«Τελική έκθεση παρουσίασης αποτελεσμάτων γεωτεχνικών ερευνών - Νέοι σταθμοί του υπό κατασκευή δικτύου - σταθμός Ανθούπολη και σταθμός Περιστέρι. Έκθεση Παρουσίασης Αποτελεσμάτων Γεωτεχνικών Ερευνών. Εδαφομηχανική Α. Τ.Ε., Οκτώβριος 2005.

3.5 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων γεωτεχνικών ερευνών

Κατά το στάδιο της έρευνας από την Αττικό Μετρό, τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων και των επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών οδήγησαν στην ομαδοποίηση / ενοποίηση των σχηματισμών, με βάση τα γεωτεχνικά τους χαρακτηριστικά, σε σύνολο έξι (6) γεωτεχνικών ενοτήτων οι οποίες συναντώνται κατά μήκος της χάραξης της σήραγγας:

- α. Επιφανειακές Αποθέσεις (αλλούβια) και Τεχνητές Επιχώσεις
- β. Κροκαλοπαγές και (κατά θέσεις) Λατυποπαγές / Ψηφιδοπαγές
- γ. Έντονα αποσαθρωμένος ασβεστιτικός Μεταψαμμίτης
- δ. Ισχυρός, μέτρια τεκτονισμένος, ασβεστιτικός Μεταψαμμίτης
- ε. Τεκτονισμένο Λατυποπαγές Μεταψαμμίτη (Εναλλαγές Μεταψαμμίτη - Μεταϊλυολίθου)
- στ. Μεταϊλυόλιθος - Αργιλικός Σχιστόλιθος

Οι «Τεχνητές Επιχώσεις» και οι «Επιφανειακές Αποθέσεις», μολονότι από γεωλογική άποψη ανήκουν σε διαφορετική ενότητα, καθώς η προέλευσή τους είναι διαφορετική, γεωτεχνικά περιλαμβάνονται στην ίδια ενότητα, καθώς μοιράζονται κοινά φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά.

Απαντώνται, κυρίως, με τη μορφή «καστανής - καστανοκίτρινης, πυκνής άμμου με χάλικες» σε όλο το μήκος της χάραξης. Το πάχος του σχηματισμού κυμαίνεται από 1,60m (στη γεώτρηση ΓΟ27) έως 3,20m (στη γεώτρηση CATP5).

Το «κροκαλοπαγές - λατυποπαγές», που εμφανίζεται από την Χ.Θ. 1+580 περίπου και μετά, υπόκειται των ανωτέρω επιφανειακών αποθέσεων, έχει χρώμα, κυρίως, τεφρό - καστανότεφρο και απαντάται σε ελαφρά έως έντονα αποσαθρωμένη μορφή. Το πάχος του σχηματισμού κυμαίνεται από 1,20m (στην γεώτρηση CATE1) έως 2,00m (στο τέλος περίπου της χάραξης, στην Χ.Θ. 1+680).

Ο έντονα αποσαθρωμένος ασβεστιτικός μεταψαμμίτης απαντάται κάτω από τις επιφανειακές αποθέσεις από την αρχή της εργολαβίας (Χ.Θ. 1+392,50) έως και την Χ.Θ. 1+580 περίπου, στην οποία αρχίζει να εμφανίζεται το κροκαλοπαγές. Ο σχηματισμός αυτός, που έχει τεφρό χρώμα κυρίως, εμφανίζει ένα μέγιστο πάχος της τάξεως των 5,80m στην Χ.Θ. 1+392,50, ενώ το ελάχιστο αυτού είναι περίπου 1,30m στην γεώτρηση CAFP1AC στην Χ.Θ. 1+566,33.

Ο ισχυρός, μέτρια τεκτονισμένος ασβεστιτικός μεταψαμμίτης υπόκειται του έντονα αποσαθρωμένου ασβεστιτικού μεταψαμμίτη. Ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται έως το τέλος των γεωτρήσεων από την περιοχή της αρχής και εργολαβίας έως και την Χ.Θ. 1+570 περίπου. Στην συνέχεια το πάχος του αρχίζει και φθίνει και τελικά παύει να εμφανίζεται μετά την γεώτρηση CATP5 (Χ.Θ. 1+666,19 έως Χ.Θ. 1+672,00).

Το τεκτονικό λατυποπαγές μεταψαμμίτη αρχίζει και αναδύεται από την Χ.Θ. 1+570 περίπου. Έχει τεφροπράσινο χρώμα και το μέσο πάχος του κυμαίνεται περί τα 14,50m. Ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται και με τη μορφή ισχυρού και του αποσαθρωμένου μεταψαμμίτη στα τελευταία μέτρα της χάραξης και συγκεκριμένα από την Χ.Θ. 1+672 περίπου έως το τέλος αυτής (Χ.Θ. 1+681.29), ενώ έχουν πράσινο έως τεφροπράσινο χρώμα.

Ο αργιλικός σχιστόλιθος υπόκειται του τεκτονικού λατυποπαγούς μεταψαμμίτη. Συναντάται στο τέλος των γεωτρήσεων ΓΟ7, ΓΟ26 και CATP5 και έχει σκουρότεφρο χρώμα.

Οι ετερογενείς ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τους γεωλογικούς σχηματισμούς που συμμετέχουν σε μια ή περισσότερες γεωλογικές ενότητες είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες της μεθοδολογίας που ακολουθείται στα πλαίσια αυτής της εργασίας. Συνεπώς πριν τη μοντελοποίηση της περιοχής ενδιαφέροντος (Κεφ. 4) και στη συνέχεια την πιθανολογική εκτίμηση των ιδιοτήτων

των διαφόρων σχηματισμών (Κεφ. 5), θεωρήθηκε απαραίτητο να διακριθούν οι διάφοροι σχηματισμοί που συμμετέχουν στις προαναφερθείσες γεωλογικές ενότητες. Η διακριτοποίηση τους έγινε σύμφωνα με τα καρότα των γεωτρήσεων σε 11 πλέον σχηματισμούς που παρουσιάζονται παρακάτω:

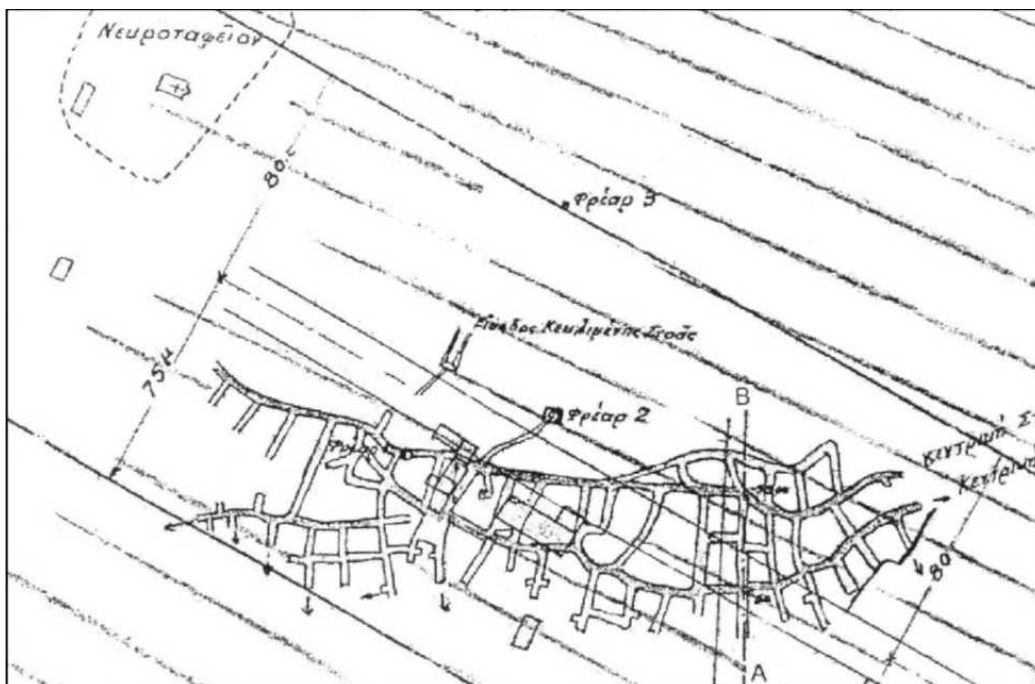
1. Άμμος
2. Μetailυόλιθος
3. Ασβστόλιθος
4. Ψηφιδοπαγές
5. Σχιστόλιθος
6. Χάλικες
7. Λατυποπαγές
8. Κροκαλοπαγές
9. Χαλαζίας
10. Μεταψαμμίτης
11. Άργιλος

Να σημειωθεί ότι σε αυτό το στάδιο δεν έχει γίνει κάποια ταξινόμηση ούτε με βάση τις ιδιότητες ούτε με βάση τη στρωματογραφία.

3.6 Στοιχεία ορυχείων, λατομείων, επιχώσεων, βιομηχανικών και λοιπών χρήσεων στην περιοχή

3.6.1 Λιγνιτωρυχεία Περιστερίου - Στοιχεία εκμεταλλεύσεων

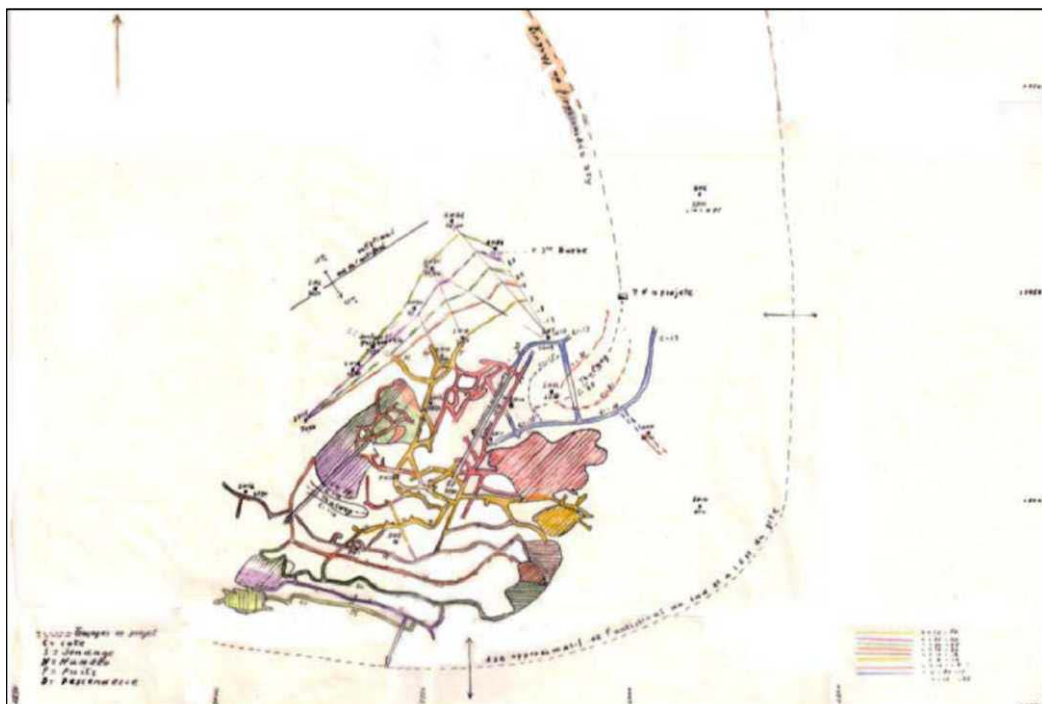
Μέχρι τον 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο, οι εργασίες εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων του λιγνιτωρυχείου του Περιστερίου γίνονταν στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης, περί της οδού Αγίου Βασιλείου (νότια και νοτιοδυτικά του γηπέδου του Αγίου Ιερόθεου) και καμία υπόγεια εκμετάλλευση δεν είχε πραγματοποιηθεί προς βορρά. Η εκμετάλλευση γινόταν στους ανώτερους λιγνιτικούς ορίζοντες, δηλαδή αυτούς που βρίσκονταν πιο κοντά στην επιφάνεια, και έρευνες για αναζήτηση και άλλων κοιτασμάτων σε μεγαλύτερα βάθη δεν γίνονταν. Ο τρόπος εκμετάλλευσης ήταν τέτοιος (μερική εξόρυξη) που σημαντικό μέρος του κοιτάσματος έμενε ανεκμετάλλευτο και όπως παρατηρεί ο Βορεάδης (1940) είχε «χαρακτήρα προσωρινής εκμεταλλεύσεως».



Εικόνα 3.4 - Σχέδιο υπογείων εργασιών εξόρυξης στο λιγνιτωρυχείο Περιστερίου το 1940 (Βορεάδης, 1940).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι πληροφορίες από χάρτες της εποχής, σχετικά με τη γεωμετρία των στοών, ενέχουν κάποια αβεβαιότητα ως προς την ακρίβειά τους.

Σε γενικές γραμμές, λόγω της μη συστηματικής εκμετάλλευσης κατά την περίοδο αυτή, δεν υπήρχαν ακριβή στοιχεία για την εξάπλωση και ανάπτυξη των υπογείων στοών. Ενδεχομένως να αφαιρέθηκε και κοίτασμα κατά ληστρικό τρόπο από τους στύλους που είχαν αφεθεί. Κάτι τέτοιο θα έχει επιφέρει περαιτέρω «αδυνάτισμα» του υπογείου χώρου. Πρέπει να σημειωθεί ότι τον Ιούνιο του 1942 εκδηλώθηκε πυρκαγιά σε τμήμα των στοών, που σύμφωνα με χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε., επεκτάθηκε κυρίως στο ΝΔ τμήμα των εργασιών. Η πυρκαγιά έχει προφανώς προκαλέσει αύξηση των κενών, η έκταση της οποίας δε μπορεί να είναι ακριβώς γνωστή. Κατά τα τέλη της δεκαετίας του 1940 έγινε μία προσπάθεια εντατικοποίησης της εκμετάλλευσης. Η υπόγεια εκμετάλλευση γινόταν σε 4 επίπεδα (-8, -13, -15, -21) και το δίκτυο στοών είχε συνολικό μήκος περίπου 1 km (Τρικκαληνός Μούσουλος 1949). Οι στοές ακολουθούσαν το ανώτερο μέρος του λιγνιτικού ορίζοντα ο οποίος σε αυτό το τμήμα είχε πάχος περίπου 5 m από τα οποία 3.75 m περίπου ήταν λιγνίτης και 1.25 m αργλικές ενστρώσεις. Την περίοδο αυτή γίνεται εξόρυξη και στο βόρειο τμήμα της περιοχής με τη λειτουργία του φρέατος Αγίας Βαρβάρας. Η εξόρυξη εντατικοποιήθηκε και ακολουθήθηκε και η μέθοδος του επιμήκους μετώπου με λιθογόμωση ή ελεγχόμενη κατακρήμνιση της οροφής. Συχνά γινόταν και απόληψη των στύλων που είχαν αφεθεί από τις προηγούμενες φάσεις εξόρυξης στο νότιο τμήμα.



Εικόνα 3.5 - Σχέδιο των υπογείων στοών και απόλυτο υψόμετρο αυτών (De Pian, 1949).

Κατά το 1958, όπως αναφέρεται από το Ι.Γ.Μ.Ε. (1999), επιτροπή συσταθείσα για τον σκοπό αυτό αποφαινεται ότι δεν είναι δυνατή πλέον η συνύπαρξη οικισμών και ορυχείων και έτσι αποφασίζεται να εφαρμοστεί ένα πρόγραμμα λιθογομώσεων των στοών το οποίο και ολοκληρώνεται τον Ιανουάριο του 1959. Με το πέρας των εργασιών λιθογόμωσης, η επιτροπή διαχώρισε το λιγνιτωρυχείο σε τρεις τομείς. Στον πρώτο τομέα, σε βάθος από την επιφάνεια 47 - 70 m, που έχει κατακλυσθεί από νερά από τον Μάιο του 1956, στον δεύτερο τομέα, σε βάθος 32 - 47 m, με μερική λιθογόμωση και μερική κατακρήμνιση των στοών του και στον τρίτο τομέα σε βάθος 20 - 32 m, όπου όλα τα έργα έχουν λιθογομωθεί. Η λιθογόμωση αυτή βοήθησε στο να αποφευχθεί εκτεταμένη καθίζηση. Η ακριβής περιοχή στην οποία έχει γίνει πλήρωση των υπογείων στοών και η πληρότητα των εργασιών πλήρωσης δεν είναι δυνατόν να είναι γνωστή με ακρίβεια.

Επόμενη επιτροπή στις 7/6/59 καταλήγει πράγματι στο συμπέρασμα ότι η λιθογόμωση έχει σε γενικές γραμμές επιτύχει στο να υποστηρίξει «όσον το δυνατόν καλύτερον» την οροφή των στοών χωρίς όμως να αποκλείει την πιθανότητα καταπτώσεων ή πυρκαγιών λόγω αυταναφλέξεως.

3.6.2 Γεωμετρία του κοιτάσματος

Όσον αφορά στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης, ο Βορεάδης (1940) αναφέρει ότι εκμετάλλευση γινόταν στο κοιτάσμα του λιγνίτη σε βάθος 50 m το οποίο και ήταν το πρώτο από την επιφάνεια του λιγνιτωρυχείου Περιστερίου με διεύθυνση ANA-ΔΒΔ και μικρή κλίση 14-16° προς τα ΒΒΑ. Σε όλη την έκταση των υπόγειων εργασιών στο λιγνιτωρυχείο το πάχος του υπό εκμετάλλευση κοιτάσματος ήταν σταθερό και κατά θέσεις υπερέβαινε τα 4 m.

Οι Τρικκαληνός, Μούσουλος (1949) σημειώνουν ότι συνολικά στην περιοχή των υπόγειων εργασιών παρατηρήθηκαν 48 μεταπτώσεις (από ρήγματα). Κατά μήκος μιας κεκλιμένης στοάς παρατηρήθηκαν 14 μεταπτώσεις που όλες εκτός από μία έχουν προκαλέσει μικρή μετακίνηση των στρωμάτων. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από την παρουσία δυο διασταυρωμένων συστημάτων διαρρήξεων με διεύθυνση Β75Α και Β75Δ αντίστοιχα. Τα στρώματα γενικώς έχουν διεύθυνση σχεδόν ανατολή προς δύση και παρουσιάζουν επιπλέον ελαφρά πτύχωση.

Ο De Pian (1949) αναφέρει ότι το πάχος του κυρίου στρώματος ξεπέρνα κατά θέσεις τα 7 - 8m με μέση τιμή 2,5 - 3m. Η γεωμετρία του λιγνιτικού κοιτάσματος έχει διερευνηθεί από τις υπόγειες

εργασίες και τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις του λιγνιτωρυχείου σε ζώνη μήκους 1km (από Βορρά προς Νότο) και πλάτους 600m. Οι γεωτρήσεις αυτές (SN) παρουσιάζονται και στην εργασία των Τρικκαληνού - Μούσουλου και δίνουν στοιχεία μόνο για τους λιγνιτικούς οριζόντες και όχι για τους άλλους γεωλογικούς σχηματισμούς.

Η λιγνιτοφόρος λεκάνη είναι επιμηκυμένη σε διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ, είναι ανοιχτή προς Βορρά και περιβάλλεται στα νότια (στην περιοχή Άλσους του δήμου) και στα ανατολικά (στην περιοχή των οδών Αριστοφάνους και Αροανίας) από αντικλινική δομή.

3.6.3 Σύγχρονες έρευνες Λιγνιτωρυχείων

Τον Ιανουάριο του 2000 η εταιρεία μελετών «ΓΕΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΩΝ ΕΠΕ - ΙΣΤΡΙΑ» ανέλαβε την ανόρυξη οκτώ (8) δειγματοληπτικών γεωτρήσεων (ΤΗΡ1 έως ΤΗΡ8) και δεκαεπτά (17) καταστροφικών - άνευ δειγματοληψίας (μέσου βάθους 100m). Σκοπός της έρευνας ήταν ο εντοπισμός λιγνιτικών οριζόντων καθώς και υπόγειων στοών εκμετάλλευσης.

Από τις γεωτρήσεις αυτές η ΤΗΡ18 βρίσκεται περί τη Χ.Θ. 2+490 στο όριο του σταθμού Ανθούπολης, ενώ οι γεωτρήσεις ΤΗΡ1, ΤΗΡ1Α, ΤΗΡ13 και ΤΗΡ15 βρίσκονται περιμετρικά από τα όρια του Τερματικού Φρέατος.

Η γεώτρηση ΤΗΡ18 ήταν δειγματοληπτική και ανορύχθηκε μέχρι βάθους 54,00. Από την επιφάνεια έως το βάθος των 31,00 m διατηρήθηκε μαργαϊκός ασβεστόλιθος σε εναλλαγές με αργιλώδη μάργα. Στη συνέχεια από τα 31,00 m έως τα 38,00 m αργιλώδης μάργα με ψαμμιτικές ενδιαστρώσεις. Από τα 38,00 m έως τα 49,00 m κυανότεφρη αργιλώδης μάργα με ενδιαστρώσεις λιγνίτη. Τέλος, από τα 49,00 m έως τα 54,00 m σχιστόλιθος και μάρμαρα σε εναλλαγές. Δηλαδή οι πρώτοι λιγνιτικοί οριζόντες εμφανίζονται σε βάθος που ξεπερνά τα 38,00 m. Οι οριζόντες αυτοί δεν ήταν εκμεταλλεύσιμοι σε αυτό το βάθος, καθώς δεν συναντήθηκε κάποια υπόγειο άνοιγμα κατά την διάτρηση της γεώτρησης στην συγκεκριμένη θέση.

Η γεώτρηση διέτρησε από την επιφάνεια έως το βάθος των 22,30 m μαργαϊκό ασβεστόλιθο σε εναλλαγές με αργιλώδη μάργα. Στη συνέχεια από τα 22,30 m έως τα 86,10 m αργιλική μάργα με ψαμμιτικές ενδιαστρώσεις. Από τα 86,10m έως τα 88,10m στοά παλαιού λιγνιτωρυχείου. Από τα 88,10m έως τα 91,80m λιγνίτη σε εναλλαγές με αργιλική και αμμώδη μάργα. Τέλος, από τα 91,80m έως τα 100,80m λιγνίτη.

Η καταστροφική γεώτρηση THP1A, ανορύχθηκε έως το βάθος των 99,00m και διέτρησε στοά ορυχείου σε βάθος από 87,00m έως 88,00m. Η καταστροφική γεώτρηση THP13 ανορύχθηκε έως το βάθος των 100,50m και διέτρησε στοά ορυχείου σε βάθος από 77,00m έως 79,50m. Η καταστροφική γεώτρηση THP15 ανορύχθηκε μέχρι βάθους 108 m και δεν συνάντησε καμία στοά.

Τα μητρώα των γεωτρήσεων THP1A, THP13 και THP15 δεν ήταν διαθέσιμα στα πληροφοριακά στοιχεία, αλλά περιγράφονται στο τεύχος «Πρόδρομη έκθεση παρουσίασης και αξιολόγησης αποτελεσμάτων στην περιοχή του Shaft», ΓΕΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΩΝ Ε.Π.Ε. ΙΣΤΡΙΑ, Αθήνα, Φεβρουάριος 2001.

Από όλες τις γεωτρήσεις με κωδική ονομασία THP διαπιστώθηκε η ύπαρξη λιγνιτικών οριζόντων καθώς επίσης και υπόγειων στοών σε βάθος μεγαλύτερο των 65m σε ένα εύρος από 65m έως 88m, πολύ βαθύτερα από τα έργα κατασκευής της συγκεκριμένης επέκτασης.

Συγκεκριμένα, στοές παλαιών λιγνιτωρυχείων απαντώνται στη Γεώτρηση THP1 από τα 86.10m έως τα 88,10m, στη Γεώτρηση THP1A από τα 87,00m έως τα 88,00m, στη Γεώτρηση THP3 από τα 78,40m έως τα 80,90m, στη Γεώτρηση THP4 από τα 66,40m έως τα 69,00m και στη Γεώτρηση THP13 από 77,00m έως 79,50m.

3.7 Κατασκευαστικά Στοιχεία του Έργου – Διάνοιξη με τη Μέθοδο NATM στην επέκταση «Άγιος Αντώνιος – Ανθούπολη»

Τα τεχνικά στοιχεία που αφορούν τις φάσεις εκσκαφής, τα βήματα και τα χρησιμοποιούμενα μέτρα υποστήριξης παρουσίασαν μεταβολές ως σύνολο κατά την πρόοδο των εργασιών. Η ομαδοποίηση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών σε διαφορετικά κομμάτια της ίδιας σήραγγας εκφράστηκε με τη διαφοροποίηση τριών βασικών τύπων διατομής (Τυπική διατομή I,II,III) (Πίνακας 3.2).

Πίνακας 3.2 - Χρησιμοποιούμενη Τυπική Διατομή ανά Χ.Θ.

Τυπική Διατομή	Yellow			Green			Red		Green		Red	Yellow	
Χ.Θ.	1394,0	1445,0	1471,0	1473,00	1523,00	1547,00	1548,00	1560,0	1561,0	1563,0	1565,0	1566,0	1588,5
Τυπική Διατομή I													
Τυπική Διατομή II													
Τυπική Διατομή III													

3.7.1 Εκσκαφή

Οι Τυπικές Διατομές I και II χρησιμοποιήθηκαν στα κομμάτια της σήραγγας με την καλύτερη συμπεριφορά και εκφράζουν μεγαλύτερο βήμα προχώρησης. Αντίστοιχα η Τυπική Διατομή III ως επιλεγμένη διατομή στα κομμάτια με τις δυσμενέστερες συνθήκες παρουσιάζει μικρότερο βήμα προχώρησης.

Συγκεκριμένα, η Τυπική Διατομή I εφαρμόστηκε όπου επικρατούσαν ευνοϊκότερες γεωτεχνικές συνθήκες. Η εκσκαφή του θόλου έγινε σε πέντε φάσεις με βήμα προχώρησης 2m. Η εκσκαφή της βαθμίδας πραγματοποιήθηκε σε τρεις φάσεις και βήμα προχώρησης 4m. Η Τυπική Διατομή II εφαρμόστηκε στις περιοχές της σήραγγας που επικρατούσαν μέτριες γεωτεχνικές συνθήκες. Κατασκευαστικά συγγενεύει πιο πολύ με την Τυπική Διατομή I και κατά το στάδιο της διάνοιξης δεν παρατηρείται καμία διαφορά. Η Τυπική Διατομή III εμφανίζεται σε τρεις παραλλαγές ως IIIα, IIIβ και IIIγ, οι οποίες όμως ουσιαστικά αποτελούν τον ίδιο τρόπο διάνοιξης. Η εφαρμογή της Τυπικής Διατομής III έγινε σε περιοχές με φτωχότερη ποιότητα βραχώμαζας. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι συνήθης η εμφάνιση φαινομένων αστάθειας του μετώπου της εκσκαφής (face instability). Τα φαινόμενα αυτά προκαλούν αύξηση της σύγκλισης και αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας με πιθανή κατάληξη την κατάρρευση της σήραγγας. Βέβαια δεν επιλέχθηκε αύξηση του αριθμού των φάσεων εκσκαφής αλλά το βήμα προχώρησης υποδιπλασιάστηκε σε σχέση με αυτό των Τυπικών Διατομών I και II.

3.7.2 Υποστήριξη

Οι Τυπικές Διατομές I και II έχουν τους ελαφρύτερους τύπους υποστήριξης. Η μόνη διαφορά της Τυπικής Διατομής II από την I είναι ότι γίνεται εφαρμογή χαλύβδινων πλασιών σαν ένα πρόσθετο μέτρο υποστήριξης. Στην εφαρμογή της Τυπικής Διατομής III πάρθηκαν πρόσθετα μέτρα όπως

βελτίωση της ευστάθειας του μετώπου, διαμόρφωση του μετώπου με κλίση ως προς την κατακόρυφο (δηλαδή αφήνοντας έναν εδαφικό τάκο στο πόδι του μετώπου), ο τύπος της άμεσης υποστήριξης έγινε πιο βαρύς.

Πιο συγκεκριμένα στα τμήματα όπου χρησιμοποιήθηκε η τυπική Διατομή I, έγινε υποστήριξη του θόλου της σήραγγας ακολουθώντας το βήμα της εκσκαφής στα εξής στάδια:

- Εφαρμογή 1ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος μετώπου με 40kg/m^3 μεταλλικές ίνες. Η εφαρμογή έγινε όπου και εάν ήταν απαραίτητο. Το πάχος στρώσης ήταν $d=5\text{cm}$.
- Τοποθέτηση αγκυρίων οροφής και παρειών. Στην οροφή τοποθετήθηκαν παθητικές αγκυρώσεις ολόσωμης πάκτωσης $\Phi 25$ (S500s), φέρουσας ικανότητας 15t ή αγκυρώσεις τύπου Swellex (ελάχιστου φορτίου θραύσης 100KN) φέρουσας ικανότητας 10t, μήκους $L=4,00\text{m}$, σε κάρναβο $1,50\text{m} \times 2,00\text{m}$. Στις παρειές της σήραγγας τοποθετήθηκαν παθητικές αγκυρώσεις ολόσωμης πάκτωσης $\Phi 25$ (S500s), φέρουσας ικανότητας 20t μήκους $L=6,00\text{m}$, σε κάρναβο ανά $2,00\text{m}$. Στην κάτω παρειά τοποθετήθηκαν παθητικές αγκυρώσεις ολόσωμης πάκτωσης $\Phi 25$ (S500s), φέρουσας ικανότητας 20t μήκους $L=8,00\text{m}$, σε κάρναβο ανά $2,00\text{m}$.
- Διάτρηση αποστραγγιστικών και ανακουφιστικών οπών. Οι αποστραγγιστικές οπές είχαν διάμετρο $\varnothing 46\text{mm}$ και μήκος $L=4,00\text{m}$ και τοποθετήθηκαν όπου απαιτήθηκε. Οι ανακουφιστικές οπές είχαν επίσης διάμετρο $\varnothing 46\text{mm}$, μήκος $L=0,50\text{m}$ σε κάρναβο $4,0 \times 4,0\text{m}$.
- Εφαρμογή 2ης στρώσης οπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος οροφής και παρειών. Είχε πάχος $d=15\text{cm}$ και ήταν οπλισμένο με πλέγμα T188 στην κάτω παρειά.

Η υποστήριξη της βαθμίδας έγινε σε δύο στάδια:

- Εφαρμογή 1ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος με 40kg/m^3 μεταλλικές ίνες.
- Εφαρμογή 2ης στρώσης οπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος τελικού πυθμένα ανάστροφου τόξου πάχους $d=15\text{cm}$, οπλισμένα με πλέγμα T188 στην άνω παρειά

Όπου χρησιμοποιήθηκε η Τυπική Διατομή II τα μέτρα υποστήριξης του θόλου της σήραγγας ήταν:

- Εφαρμογή 1ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος μετώπου με 40kg/m^3 μεταλλικές ίνες. Η εφαρμογή έγινε όπου και εάν ήταν απαραίτητο. Το πάχος στρώσης ήταν $d=5\text{cm}$.
- Τοποθέτηση χαλύβδινων δικτυωτών πλαισίων τεσσάρων ράβδων τύπου Pantex H1 180/32 ανά 1m
- Τοποθέτηση αγκυρίων οροφής και παρειών. Στην οροφή τοποθετήθηκαν παθητικές αγκυρώσεις ολόσωμης πάκτωσης $\Phi 25$ (S500s), φέρουσας ικανότητας 15t ή αγκυρώσεις τύπου Swellex (ελάχιστου φορτίου θραύσης 100KN) φέρουσας ικανότητας 10t, μήκους $L=4,00\text{m}$, σε κάρναβο $1,50\text{m} \times 2,00\text{m}$. Στις παρειές της σήραγγας τοποθετήθηκαν παθητικές αγκυρώσεις ολόσωμης πάκτωσης $\Phi 25$ (S500s), φέρουσας ικανότητας 20t μήκους $L=6,00\text{m}$, σε κάρναβο ανά $2,00\text{m}$. Στην κάτω παρειά τοποθετήθηκαν παθητικές αγκυρώσεις ολόσωμης πάκτωσης $\Phi 25$ (S500s), φέρουσας ικανότητας 20t μήκους $L=8,00\text{m}$, σε κάρναβο ανά $2,00\text{m}$.
- Διάτρηση αποστραγγιστικών και ανακουφιστικών οπών. Οι αποστραγγιστικές οπές είχαν διάμετρο $\varnothing 46\text{mm}$ και μήκος $L=4,00\text{m}$ και τοποθετήθηκαν όπου απαιτήθηκε. Οι ανακουφιστικές οπές είχαν επίσης διάμετρο $\varnothing 46\text{mm}$, μήκος $L=0,50\text{m}$ σε κάρναβο $4,0 \times 4,0\text{m}$.
- Εφαρμογή 2ης στρώσης οπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος οροφής και παρειών. Είχε πάχος $d=15\text{cm}$ και ήταν οπλισμένο με πλέγμα T188 στην κάτω παρειά.

Και εδώ η υποστήριξη της βαθμίδας της σήραγγας έγινε σε δύο στάδια:

- Εφαρμογή 1ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος με 40kg/m^3 μεταλλικές ίνες.
- Εφαρμογή 2ης στρώσης οπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος τελικού πυθμένα ανάστροφου τόξου πάχους $d=15\text{cm}$, οπλισμένα με πλέγμα T188 στην άνω παρειά

Τέλος στα τμήματα της σήραγγας που εφαρμόστηκε η Τυπική Διατομή III τα μέτρα υποστήριξης ήταν πιο βαριά και περισσότερα στον αριθμό. Συγκεκριμένα για την υποστήριξη του θόλου της σήραγγας έγιναν οι εξής εργασίες:

- Εφαρμογή 1ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος μετώπου $d=5\text{cm}$, με 40kg/m^3 μεταλλικές ίνες.

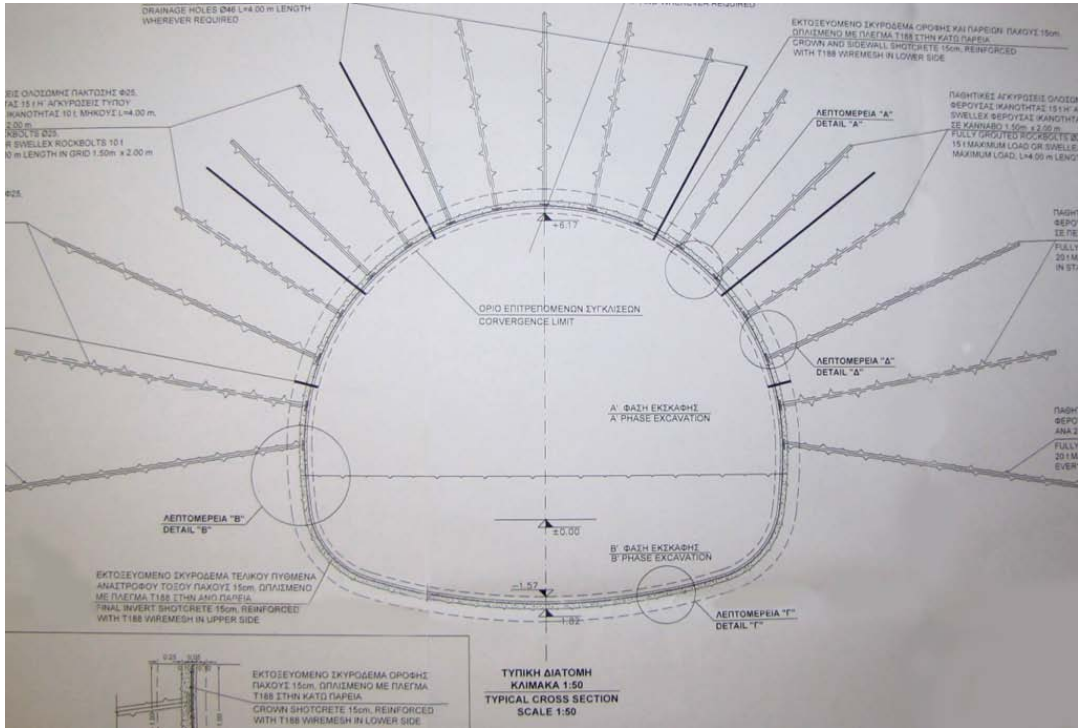
- Τοποθέτηση χαλύβδινων δικτυωτών πλαισίων τεσσάρων ράβδων τύπου Pantex H1 180/32 ανά 1m
- Εφαρμογή 2ης στρώσης οπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος οροφής και παρειών. Είχε πάχος $d=30\text{cm}$ και ήταν οπλισμένο με πλέγμα T188 στην άνω και κάτω παρειά.
- Τοποθέτηση αγκυρίων οροφής και παρειών. Πρόκειται για παθητικές αγκυρώσεις ολόσωμης πάκτωσης $\Phi 25$. Στην οροφή χρησιμοποιήθηκαν αγκυρώσεις μήκους $L=4,0\text{m}$, όπου κάποιες φορές αντικαταστήθηκαν με αγκυρώσεις τύπου Swellex $L=4,0\text{m}$, φέρουσας ικανότητας 10t, ανάλογα με τις επί τόπου συνθήκες. Στην άνω παρειά τοποθετήθηκαν αγκυρώσεις φέρουσας ικανότητας 15t, μήκους $L=6,0\text{m}$, σε πεσσοειδή κάρνα ανά 1m. Στην κάτω παρειά της σήραγγας τοποθετήθηκαν αγκυρώσεις, φέρουσας ικανότητας 20t, μήκους $L=8,0\text{m}$, ανά 1.0m.
- Διάτρηση αποστραγγιστικών και ανακουφιστικών οπών. Οι αποστραγγιστικές οπές είχαν $\varnothing 46\text{mm}$ και μήκος $L=4,0\text{m}$. η διάτρηση έγινε όπου ήταν απαραίτητο. Οι ανακουφιστικές οπές είχαν $\varnothing 46\text{mm}$ και μήκος $L=0,50\text{m}$ σε κάρνα $4,0 \times 4,0\text{m}$.
- Εφαρμογή 3ης στρώσης οπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος οροφής και παρειών. Είχε πάχος $d=10\text{cm}$ και ήταν οπλισμένο με πλέγμα T188. Η εργασία αυτή είχε βήμα προχώρησης K-1, δηλαδή πραγματοποιούνταν 1 m πίσω από την εκάστοτε θέση του μετώπου εκσκαφής.
- Τοποθέτηση προσωρινού ανεστραμμένου τόξου πυθμένα. Πρόκειται για εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στον προσωρινό πυθμένα πάχους $d=30\text{cm}$, οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188 στην άνω και κάτω παρειά.

Για την υποστήριξη της βαθμίδας οι εργασίες ήταν οι εξής:

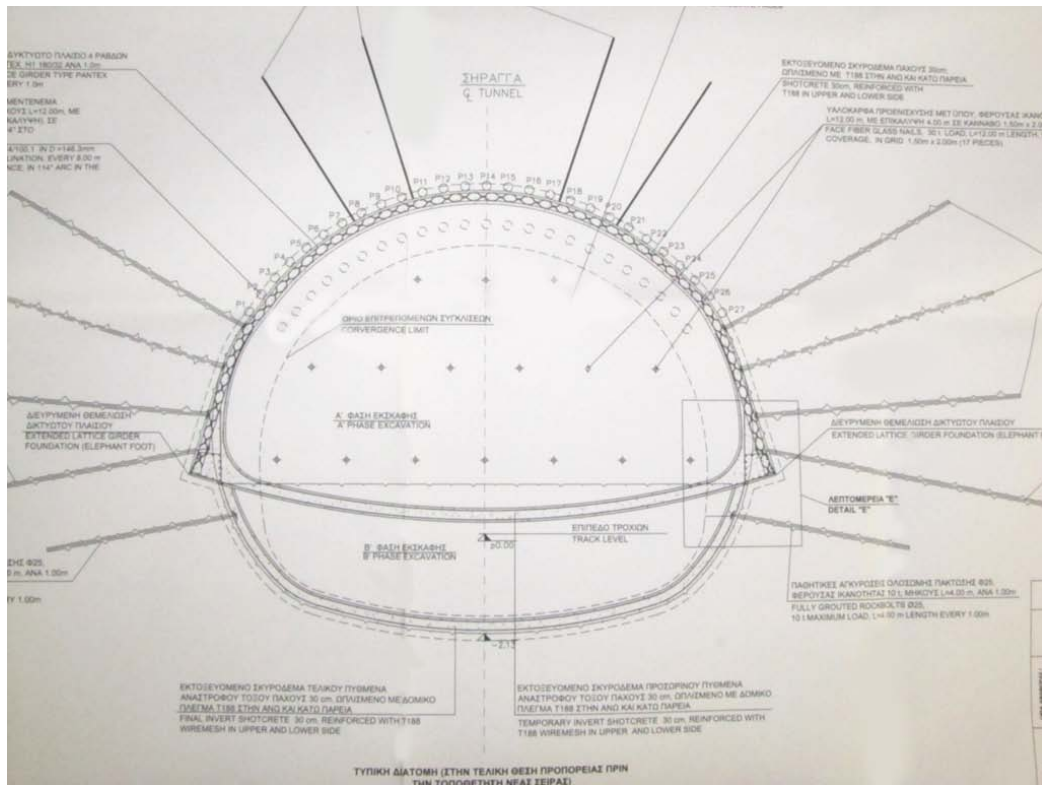
- Εφαρμογή 1ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος $d=5\text{cm}$ με 40kg/m^3 μεταλλικές ίνες.
- Εφαρμογή 2ης στρώσης οπλισμένου σκυροδέματος $d=15\text{cm}$ οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188.
- Εφαρμογή 3ης στρώσης οπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος $d=10\text{cm}$ οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188.

Όπου κρίθηκε απαραίτητο τοποθετήθηκαν παθητικές αγκυρώσεις ολόσωμης πάκτωσης $\Phi 25$, φέρουσας ικανότητας 10t, L=4,0m ανά 1,0m στις παρειές της κάτω στοάς.

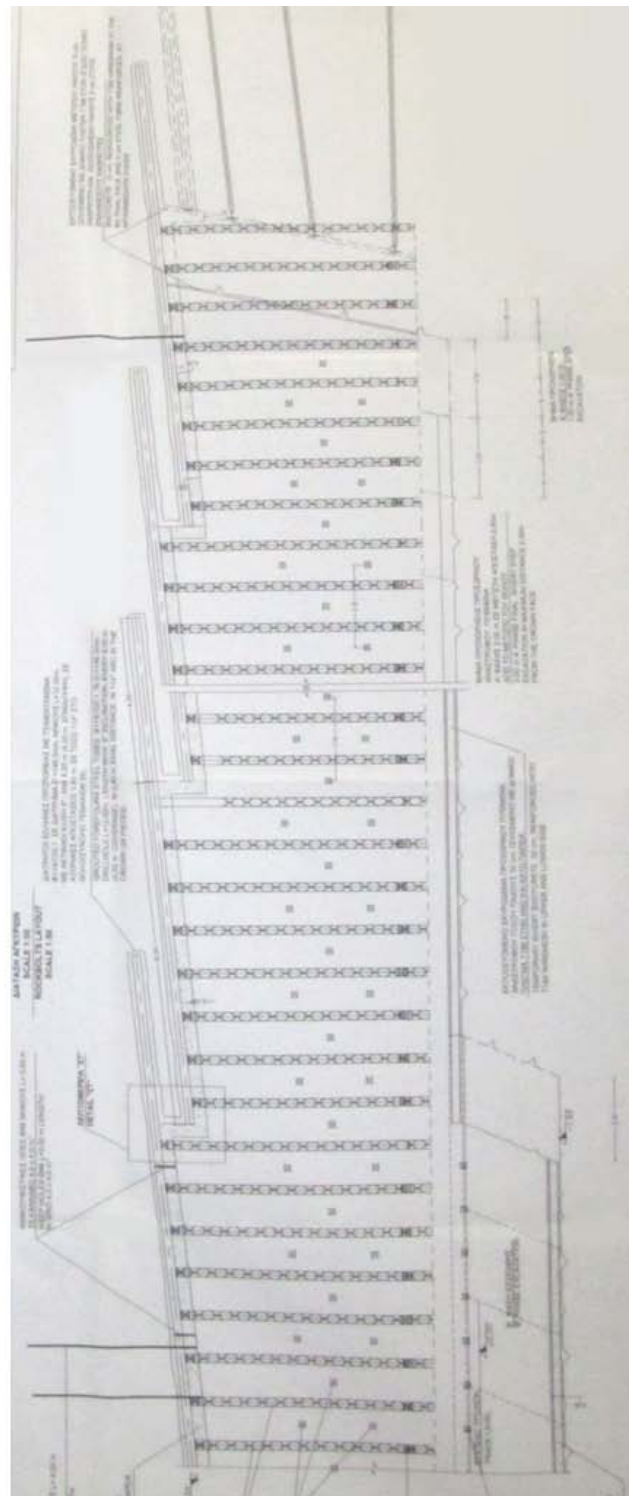
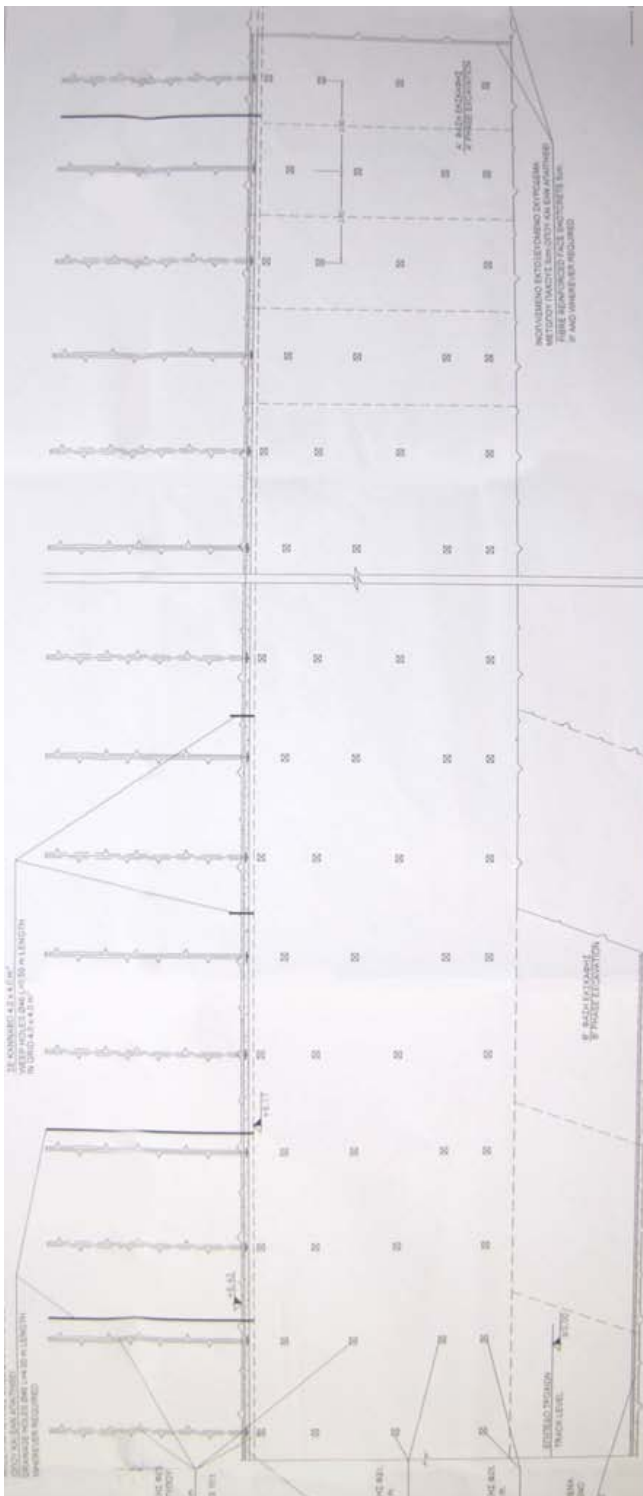
Επίσης, πραγματοποιήθηκε κατασκευή τσιμεντενέσεων βελτίωσης θεμελίωσης ανάλογα με τις επί τούτου συνθήκες της βραχώμαζας. Αυτό κυρίως απαιτήθηκε σε περιοχές με χαμηλές τιμές GSI=15-30.



Σχέδιο 3.1- Τυπική Διατομή I



Σχέδιο 3.2- Τυπική Διατομή III



Σχέδια 3.3 και 3.4 - Μηκοτομές Τυπικών Διατομών Ι και ΙΙΙ

Κεφάλαιο 4 – Μεθοδολογία Εκτίμησης Κινδύνων - Μοντελοποίηση

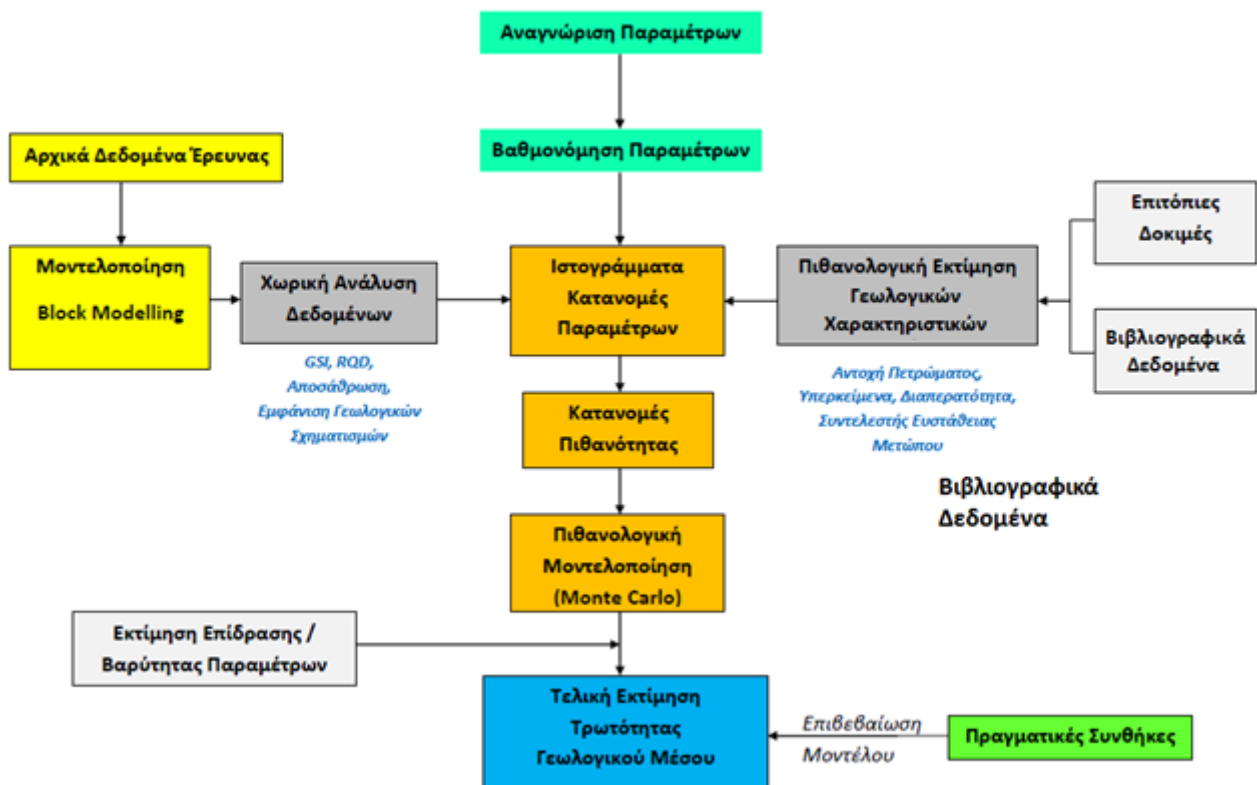
4.1 Ανάλυση της Προτεινόμενης Μεθοδολογίας

Η μεθοδολογία που ακολουθείται για την εκτίμηση της τρωτότητας του γεωλογικού μέσου (Benardos et al., 2004), επιχειρεί να αναγνωρίσει τους κύριους παράγοντες που μπορούν να οδηγήσουν σε επικίνδυνες καταστάσεις και εν συνεχεία να υπολογίσει τη σημασία τους, αλλά και τη συνδυαστική επίδρασή τους σε μια προσπάθεια εκτίμησης συγκριτικά των περιοχών οι οποίες εμφανίζουν τη μεγαλύτερη τρωτότητα, όσον αφορά την κατασκευαστική διαδικασία. Επιπλέον, απώτερος στόχος είναι να εκτιμήσει τους πιθανούς κινδύνους που μπορούν να εμφανιστούν στην κατασκευαστική ακολουθία και να εντοπίσει τις περιοχές εμφάνισής τους. Τα δεδομένα μπορούν να προέρχονται από επιτόπιες δοκιμές και μετρήσεις, από εκτιμήσεις που μπορούν να γίνουν με βάση εμπειρικά στοιχεία ή/και βιβλιογραφικά δεδομένα, ενώ παράλληλα γίνεται η συνδυαστική εκτίμηση της βαρύτητας που αυτοί έχουν στο τελικό αποτέλεσμα. Βασικό στοιχείο της, είναι η πιθανολογική μοντελοποίηση της εμφάνισης συγκεκριμένων γεωλογικών μονάδων, κάτι που σε υπόγεια έργα που κατασκευάζονται σε σχετικά μεγάλα βάθη είναι εύκολο να γίνει λόγω της μικρής γεωλογικής μεταβλητότητας απαντάται, ενώ σε αβαθείς κατασκευές η παρουσία αυτής της είναι αρκετά δύσκολο να εκτιμηθεί. Επιπλέον, η ανάλυση επεκτείνεται και στην έκφραση πιθανοτικών εκτιμήσεων για τα χαρακτηριστικά των μονάδων αυτών, σε συνδυασμό με τη μοντελοποίηση άλλων χωρικών παραμέτρων.

Τα βασικά στάδια της μεθοδολογίας (Σχήμα 4.1), είναι:

1. Αναγνώριση των κυριότερων παραμέτρων που επιδρούν στην τρωτότητα του γεωλογικού μέσου και τελική βαθμονόμησή τους.
2. Ανάλυση και συνθετική εκτίμηση της επίδρασης των παραμέτρων στην κατασκευαστική λειτουργία.

3. Προσδιορισμός των τιμών των παραμέτρων μέσω στατιστικών κατανομών που προσομοιάζουν τη συμπεριφορά τους.
4. Εκτέλεση πιθανολογικής προσομοίωσης με τεχνικές Monte-Carlo (Monte-Carlo simulation) για την τελική αξιολόγηση της τρωτότητας του γεωλογικού μέσου και της μεταβλητότητας που αυτή εμφανίζει.
5. Έλεγχος της αξιοπιστίας του μοντέλου πρόβλεψης με αντιπαραβολή πραγματικών δεδομένων.



Σχήμα 4.1 - Διάγραμμα Ροής προσαρμοσμένο από Benardos et al. 2004

4.1.1 Κατασκευή του Μοντέλου Εκτίμησης της Τρωτότητας

Η μεθοδολογία εκτίμησης της τρωτότητας υλοποιείται στο τμήμα της σήραγγας της επέκτασης της Γραμμής 2 του μετρό Αθηνών, «Άγιος Αντώνιος – Ανθούπολη» (Χ.Θ 1+264 έως Χ.Θ. 1+864) και περιλαμβάνει τμήμα της σήραγγας διπλής τροχιάς που καταλήγει στο σταθμό «Περιστέρι» καθώς και το υπόγειο τμήμα του σταθμού. Με βάση τα εργαλεία και τα στάδια εξέτασης που

περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, πραγματοποιείται ο αναλυτικός σχεδιασμός της και δίνονται πληροφορίες και λεπτομέρειες για την πραγματική διάσταση της λειτουργίας της.

Η πρώτη ενέργεια για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας είναι η λήψη, αξιολόγηση και επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων που υπάρχουν για το συγκεκριμένο μεσοδιάστημα. Γίνεται ο προσδιορισμός των τιμών των παραμέτρων εξέτασης, που έχουν εντοπιστεί και προκύπτουν τα δεδομένα για την εκτέλεση της πιθανολογικής ανάλυσης. Τα στοιχεία που λήφθηκαν από τις αρμόδιες υπηρεσίες της Αττικό Μετρό Α.Ε., περιλαμβάνουν ένα αριθμό γεωτρήσεων που έγιναν στην εν λόγω περιοχή καθώς και γεωτεχνικά και υδρογεωλογικά δεδομένα. Επιπλέον στοιχεία, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στο στάδιο της επιβεβαίωσης του μοντέλου εκτίμησης, είναι το ημερολόγιο ημερήσιας προχώρησης που αφορά ένα τμήμα της.

4.1.2 Καθορισμός περιοχής ανάλυσης και υποδιαίρεση σε υποπεριοχές ανάλυσης

Η περιοχή ανάλυσης περιλαμβάνει το τμήμα της σήραγγας στο οποίο χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος NATM, καθώς και την περιβάλλουσα περιοχή της σήραγγας σε απόσταση 50m προς κάθε κατεύθυνση στο οριζόντιο επίπεδο. Στη συνέχεια έγινε η διάκριση της περιοχής ανάλυσης σε 6 συνολικά υποπεριοχές (areas), κατά μήκος της χάραξης, διαστάσεων 100x100m, για κάθε μια από τις οποίες στην πορεία θα γίνει η εκτίμηση της τρωτότητας που εμφανίζει (Σχέδιο 4.1). Η περιοχή 1 (area 1) συμπεριλαμβάνει τμήμα της σήραγγας που διανοίχθηκε με TBM.



Σχέδιο 4.1 – Παρουσίαση της περιοχής ανάλυσης και των επιλεγμένων υποπεριοχών.

4.1.3 Αναγνώριση Υφιστάμενης Κατάστασης

Η ανάλυση στηρίζεται στη συστηματική αποδελτίωση των δεδομένων της γεωτρητικής έρευνας (Αττικό Μετρό, 2007). Για το σκοπό αυτό κατασκευάστηκε βάση δεδομένων, μέσω του ειδικού λογισμικού πακέτου Surpac, κάτι που επιτρέπει την εύκολη διαχείριση και ανάσυρση των στοιχείων, σύμφωνα με τις επιλογές του χρήστη.

Λήφθηκαν υπ' όψη στοιχεία από 23 συνολικά γεωτρήσεις, οι οποίες έγιναν στην περιοχή στο διάστημα 1997-2006 όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο. Υπήρξαν και επιπρόσθετες γεωτρήσεις, τα στοιχεία των οποίων όμως, δεν ήταν διαθέσιμα από την Αττικό Μετρό. Το κυριότερο πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε κατά την αξιολόγηση των δεδομένων ήταν η μη ύπαρξη ολοκληρωμένων γεωτεχνικών στοιχείων σε κάποιες από τις γεωτρήσεις. Γι το λόγο αυτό αποφασίστηκε η αξιολόγηση των δεδομένων που υπήρχαν να γίνει με τον πλέον αναλυτικό τρόπο, ώστε το αποτέλεσμα της ανάλυσης να αντικατοπτρίζουν όσο το δυνατό καλύτερα τις πραγματικές ιδιότητες του υπεδάφους της περιοχής.

Σύμφωνα με τα γεωτρητικά δεδομένα, εμφανίζονται πολλοί διαφορετικοί λιθολογικοί τύποι, γεγονός που κάνει την όλη αποκωδικοποίηση της γεωλογίας της περιοχής μια αρκετά πολύπλοκη

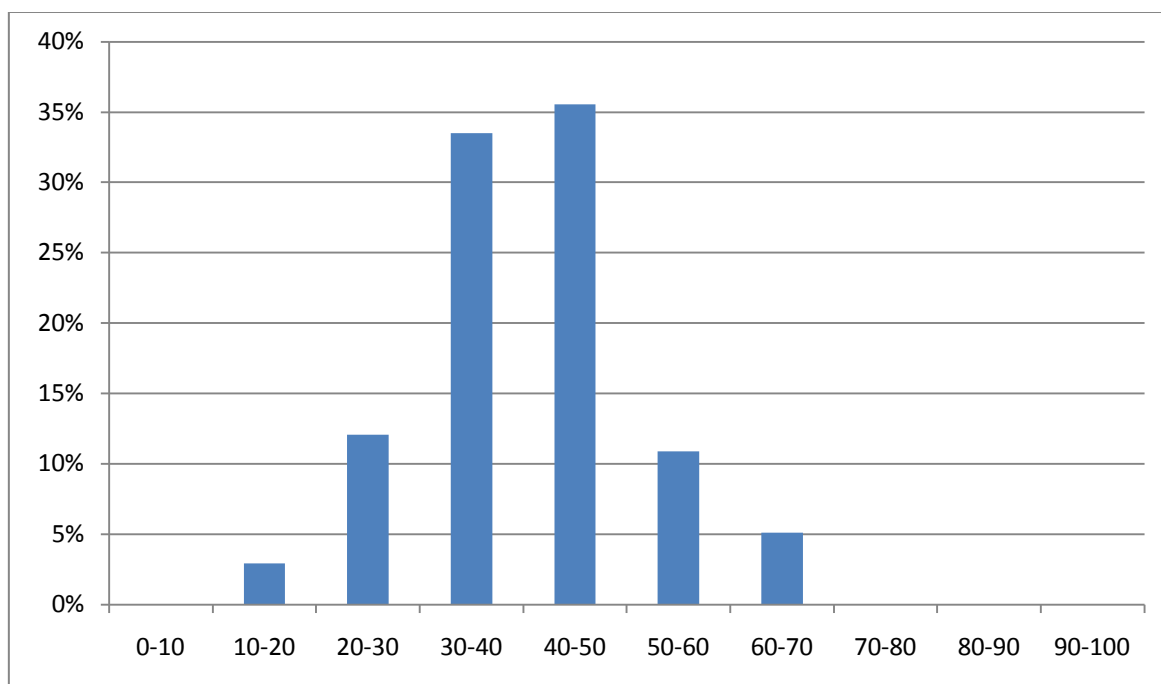
εργασία. Παρ' όλα αυτά, μπορούν να διακριθούν 11 βασικοί τύποι πετρωμάτων και λιθολογικών ενότητων, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1 - Βασικοί τύποι λιθολογικών ενότητων στην περιοχή εξέτασης.

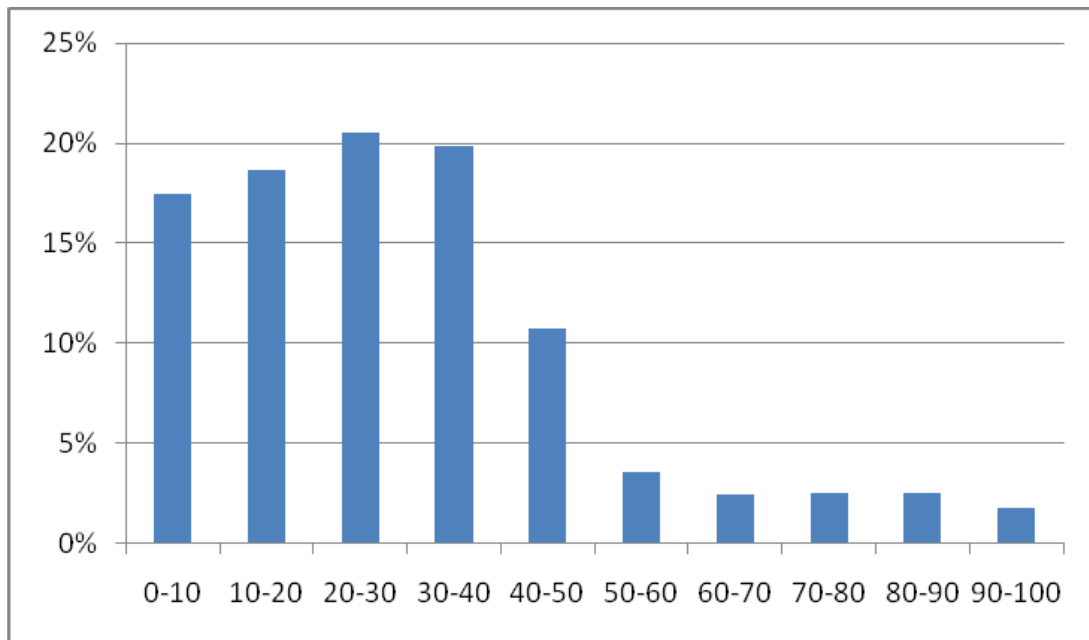
·A: Άμμος	·Mil: Μεταλυόλιθος	·As: Ασβστόλιθος
·Ps: Ψηφιδοπαγές	·Sx: Σχιστόλιθος	·Χ: Χάλικες
·L: Λατυποπαγές	·Kγ: Κροκαλοπαγές	·Χz: Χαλαζίας
·Mrs: Μεταψαμμίτης	·Ar: Άργιλος	

Οι λιθολογικές ενότητες που προαναφέρθηκαν εμπεριέχουν τα χαρακτηριστικά των πετρωμάτων. Η κατάταξη τους έγινε με βάση το κύριο γεωλογικό συστατικό τους, δηλαδή με την επικρατέστερη λιθολογική φάση που υπήρχε στην περιοχή που έγινε η δειγματοληψία.

Σε μια αρχική προσέγγιση των χαρακτηριστικών της περιοχής, δίνονται τα παρακάτω ιστογράμματα που αφορούν τις τιμές του δείκτη RQD (Διάγραμμα 4.1) και του δείκτη GSI (Διάγραμμα 4.2).



Διάγραμμα 4.1 – Αρχική εκτίμηση δείκτη GSI στην περιοχή μελέτης.



Διάγραμμα 4.2 – Αρχική εκτίμηση δείκτη RQD στην περιοχή μελέτης.

4.2 Αναγνώριση των κυρίων παραμέτρων

Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση διακριτοποιήθηκαν έτσι ώστε να καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα παραγόντων που μπορεί να επηρεάσουν την κατασκευή και σωστή λειτουργία του έργου και που περιγράφουν επαρκώς τη συμπεριφορά του γεωλογικού, γεωτεχνικού και υδρογεωλογικού περιβάλλοντος στην περιοχή κατασκευής (Benardos et al., 2004). Επίσης εκτιμάται η επίδραση που έχουν ορισμένες παράμετροι στην πιθανότητα εμφάνισης διαφόρων ανεπιθύμητων συμβάντων (Πίνακας 4.2). Τέλος γίνεται προσπάθεια σύμπτυξης σε όσο το δυνατό λιγότερες παραμέτρους, ώστε να είναι εύκολος ο έλεγχος και η χρήση της μεθοδολογίας.

Πίνακας 4.2 - Σχέση παραμέτρων / Πιθανότητα εμφάνισης ανεπιθύμητου συμβάντος (Sousa, 2010).

	Πτώση βράχων	Κατάρρευση (υπόγεια)	Κατάρρευση (επιφανείας)	Ακαριαία διάρρηξη (απότομη εκτόνωση τάσης)	Εισροή υδάτων	Υπερβολική παραμόρφωση
Τύπος Εδάφους	**	**	**	**	**	**
Ύψος υπερκειμένων (ή λόγος βάθους/διαμέτρου σήραγγας)	-	-	**	**	-	**
Διαπερατότητα	*	*	*	-	**	*
Βαθμός Αποσάθρωσης	-	*	*	-	-	-
Αντοχή σε θλίψη	-	-	-	**	-	-
Παρουσία άλλων υπογείων κατασκευών	-	*	*	-	*	-
Εντατική κατάσταση (λόγω γεωλογικής δομής)	*	*	*	**	-	**
Ορυκτολογική σύσταση σχηματισμών	-	-	-	-	*	**

-: Δεν επηρεάζει, *: Επηρεάζει, **: Επηρεάζει σημαντικά

Βάσει των ανωτέρω ορίστηκαν οι παρακάτω παράμετροι:

- Οι ασυνέχειες και ο βαθμός ρωγμάτωσης των σχηματισμών, ο οποίος μπορεί να εκτιμηθεί μέσω του δείκτη RQD.
- Ο βαθμός αποσάθρωσης των σχηματισμών.
- Ο συντελεστής ευστάθειας (stability factor), ή ο λόγος αντοχής της βραχώμαζας προς τις επικρατούσες τάσεις (σ_{cm}/σ_v)
- Η εκτίμηση της ποιότητας βραχώμαζας σύμφωνα με την κατάταξη κατά GSI.
- Η αντοχή του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη.
- Το βάθος κατασκευής ή αντίστοιχα το ύψος υπερκειμένων.
- Οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής, η ύπαρξη υδροφόρου και το ύψος του σε σχέση με την κατασκευή.
- Ο βαθμός διαπερατότητας των σχηματισμών.

4.2.1 Ασυνέχειες και βαθμός ρωγμάτωσης των σχηματισμών, RQD (Rock Quality Designation)

Η εκτίμηση του βαθμού ρωγμάτωσης, ο οποίος μπορεί να προσομοιωθεί σχετικά καλά μέσω της χρήσης του δείκτη RQD, είναι αρκετά σημαντική καθώς είναι μια από τις πιο καθοριστικές παραμέτρους για την ομαλή λειτουργία της όρυξης με μηχανικά μέσα (Wanner et al., 1979; Deere et al., 1988). Κύριο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι περιοχές υψηλού βαθμού ρωγμάτωσης ή αντίστοιχα πολύ χαμηλής τιμής RQD, στις οποίες δημιουργούνται πολυτεμαχισμένες δομές με

έντονα προβλήματα καταπτώσεων. Τα συγκεκριμένα επίπεδα αδυναμίας (weakness planes) διαφοροποιούν το τασικό πεδίο, ενώ τα προβλήματα μπορούν να γίνουν ακόμη πιο έντονα, στις περιπτώσεις κατά τις οποίες το υλικό πλήρωσης των κενών είναι αργλικής φύσης και οδηγεί έτσι στη μείωση της διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών. Επιπλέον, η ύπαρξη διακλάσεων και ρηγμάτων επιτρέπει τη ροή υπόγειων υδάτων μέσα από τις δομές αυτές (δευτερογενές πορώδες) και αυξάνουν τη δράση των παραγόντων που επιδρούν στην αποσάθρωση των λιθολογικών σχηματισμών (Κουμαντάκης, 1984).

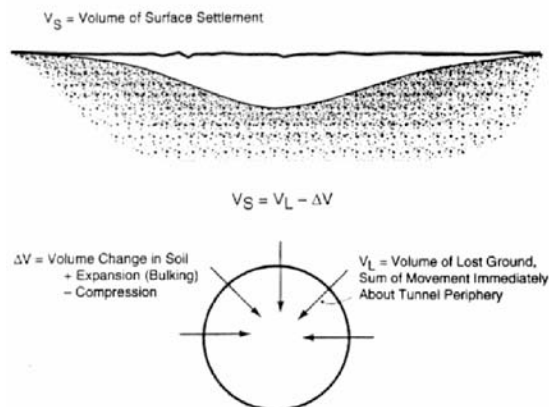
4.2.2 Βαθμός αποσάθρωσης των σχηματισμών

Η αποσάθρωση των λιθολογικών σχηματισμών είναι άμεσα συναρτώμενη με τα μηχανικά χαρακτηριστικά των μαλακών κυρίως πετρωμάτων, αφού η λύση ή μείωση της συνδέσεως μεταξύ των σωματιδίων παρακολουθείται από τη μείωση της τιμής της συνοχής c' (Βέττας, 1981). Είναι δυνατόν έτσι να υπάρχουν μεγάλες διαφοροποιήσεις στη μηχανική συμπεριφορά μέσα στον ίδιο λιθολογικό σχηματισμό, στην περίπτωση εμφάνισης διαφορετικού βαθμού αποσάθρωσης. Το γεγονός ότι πρόκειται για ένα έργο σε αβαθές σχετικά περιβάλλον, επιβαρημένο από τις δραστηριότητες της ζωής της πόλης (π.χ. μηχανικές, χημικές δράσεις), με σχετικά μικρό βαθμό διαγένεσης των σχηματισμών, αλλά και με μεγάλο ποσοστό υγρασίας, κάνει την επίδραση της παραμέτρου αυτής αρκετά σημαντική για την ακριβέστερη εκτίμηση της συνολικής συμπεριφοράς της βραχώμαζας.

4.2.3 Συντελεστής ευστάθειας (N), ή λόγος αντοχής βραχώμαζας προς τις επικρατούσες τάσεις

Το φαινόμενο των επιφανειακών καθιζήσεων που σχετίζονται με την όρυξη σήραγγων, πέρα από τις παραμορφώσεις της επένδυσης, οφείλονται σε ένα μεγάλο μέρος τους στις μετακινήσεις που συμβαίνουν τόσο στο ανυποστήρικτο τμήμα της σήραγγας όσο και στο ίδιο το μέτωπο εκσκαφής (Σχήμα 4.2).

Σε περίπτωση που λόγω της ύπαρξης της σήραγγας υποβιβαστεί η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα μπορεί να λάβουν χώρα σημαντικές καθιζήσεις.



Σχήμα 4.2 - Καθιζήσεις λόγω της εκσκαφής σήραγγας

Ο συντελεστής ευστάθειας N (stability factor) (Broms et al., 1967; Peck, 1969) αναφέρεται σε υλικά τα οποία εμφανίζουν συνοχή (cohesive materials) και μπορεί να δώσει ένα μέτρο σύγκρισης για την ευστάθεια του μετώπου. Ο ορισμός του συντελεστή γίνεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$N = \frac{\sigma_s + (\sigma_v - p_a)}{c_u} = \frac{\sigma_s + (\sigma_v - p_a)}{\sigma_{cm} / 2}$$

σ_s = επιφανειακή φόρτιση

σ_u = κατακόρυφη αρχική γεωστατική τάση στον άξονα της σήραγγας

p_a = η πίεση που ασκείται στο μέτωπο της εκσκαφής c_u = η διατμητική αντοχή της βραχώμαζας

σ_{cm} = η αντοχή της βραχώμαζας / εδάφους σε μονοαξονική θλίψη

Σύμφωνα με τον Peck (1969) και τον Phienwaja (1987), για τιμές του $N < 1$, η βραχώμαζα γύρω από τη σήραγγα παραμένει στην ελαστική περιοχή, ενώ για τιμές του $N > 5-6$ συνήθως παρουσιάζονται προβλήματα λόγω αστάθειας του μετώπου εκσκαφής, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3 - Εκτιμώμενη συμπεριφορά σήραγγας σε συνάρτηση με τον συντελεστή

Συντελεστής Ευστάθειας (N)	Συμπεριφορά
1	Σταθερή
2-3	Μικρές συνήθως καταπτώσεις
4-5	Καταπτώσεις, συνήθως όχι όμως τόσο γρήγορα ώστε να εμποδίσουν την όρυξη
6	Πιθανότητα πρόκλησης γενικής διατμητικής αστοχίας

Ο συντελεστής ευστάθειας είναι άμεσα συνδεδεμένος με τον συντελεστή εδαφικής απώλειας (V_s/V_0) (ground loss factor) και μπορούν να διατυπωθούν οι ακόλουθες εμπειρικές σχέσεις σύμφωνα με τους Clough και Schmidt (1981) :

$$\text{Για προσεκτική επιμέλεια του έργου: } \frac{V_s}{V_0} = 0,002 \cdot \exp(i(N - 1))$$

$$\text{Για συνήθη επιμέλεια του έργου: } \frac{V_s}{V_0} = 0,004 \cdot \exp(i(N - 1))$$

Ο συντελεστής εδαφικής απώλειας, ορίζεται ως ο λόγος του όγκου υποχώρησης ανά μονάδα μήκους της σήραγγας (V_s) προς το εμβαδόν της διατομής της σήραγγας (V_0), σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$\frac{V_s}{V_0} = 0,8 \left(\frac{i}{a} \right) \cdot \left(\frac{S_{\max}}{a} \right), \quad V_s = \int_{-\infty}^{+\infty} s \cdot dx = \sqrt{2 \cdot \pi} \cdot i \cdot S_{\max}$$

Όπου:

V_s = όγκος υποχώρησης ανά μονάδα μήκους σήραγγας

x = η οριζόντια απόσταση από τον άξονα της σήραγγας

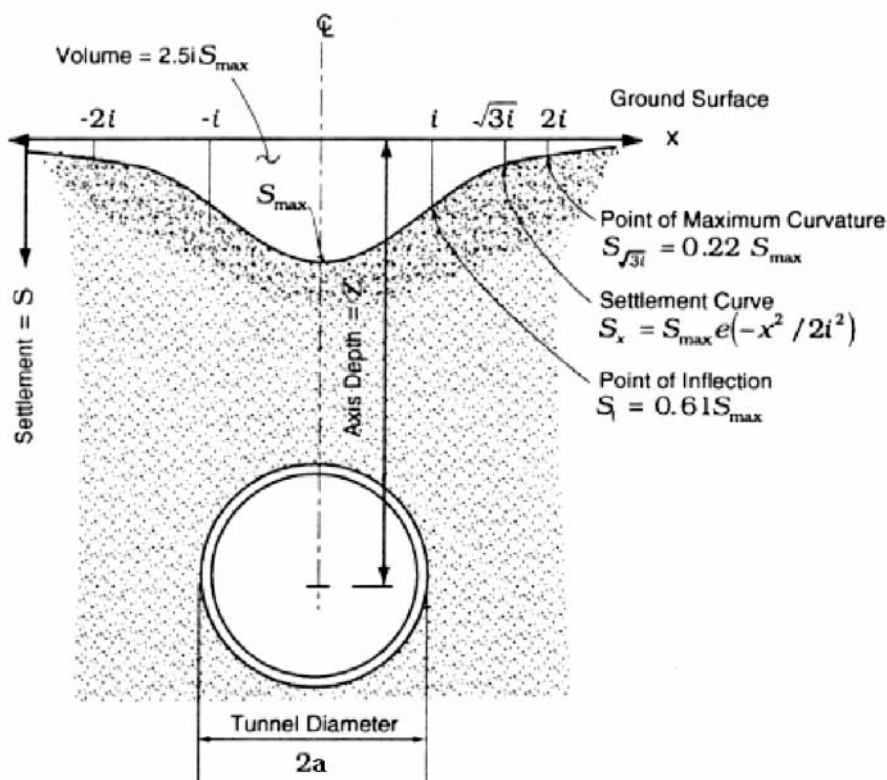
S_{\max} = η μέγιστη υποχώρηση που συμβαίνει στον άξονα της σήραγγας ($x=0$)

a = ακτίνα της σήραγγας

i = η οριζόντια απόσταση από τον άξονα της σήραγγας, όπου η καμπύλη της υποχώρησης παρουσιάζει τη μέγιστη κλίση

Ο συντελεστής ευστάθειας, μπορεί να μεταφραστεί επιπλέον ως ο λόγος της αντοχής της βραχώμαζας προς τις επικρατούσες τάσεις (σ_{cm}/σ_v), παράμετρος που ελέγχει επίσης τις παραμορφώσεις στη σήραγγα και την έκταση της δημιουργούμενης πλαστικής ζώνης (Duncan-Fama, 1993; Hoek, 1995).

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η χρήση του συγκεκριμένου συντελεστή είναι σε θέση να βοηθήσει στην εκτίμηση των προβλημάτων ευστάθειας στο μέτωπο της εκσκαφής, όπως επίσης και των επισυμβαινουσών επιφανειακών καθιζήσεων λόγω της κατασκευής του έργου (Σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3 - Χαρακτηριστικά καμπύλης υποχώρησης της επιφάνειας του εδάφους (Peck, 1969).

4.2.4 Ποιότητα βραχώμαζας, Δείκτης GSI (Geological Strength Index)

Στο σύνολο των ερευνητικών γεωτρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση, η ταξινόμηση της ποιότητας της βραχώμαζας έγινε με τη χρήση του δείκτη GSI. Η συγκεκριμένη παράμετρος δίνει μια ποιοτική εκτίμηση για τη συμπεριφορά της βραχώμαζας (Σχήμα 4.4).

Ο δείκτης GSI παρουσιάστηκε από τους Hoek και Brown το 1997, ως ένας δείκτης εκτίμησης αντοχής συνεκτικών και μη βραχομαζών. Ως δείκτης καθιερώθηκε λόγω της προτίμησης τόσο των μηχανικών όσο και των γεωλόγων για μία απλή, γρήγορη αλλά και αξιόπιστη ταξινόμηση βασισμένη σε οπτική επιθεώρηση των γεωλογικών συνθηκών. Η υπάρχουσα εμπειρία και τεχνογνωσία προτείνει πως ένα σύστημα ταξινόμησης πρέπει να είναι μη-γραμμικό για ασθενή πετρώματα καθώς η αντοχή του επιδεινώνεται τάχιστα με την αποσάθρωση.

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)		SURFACE CONDITIONS				
<p>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. <u>Note that the table does not apply to structurally controlled failures.</u> Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</p>		SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
	VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60			
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			50		
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces			40		
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes				30	
					20	
						10
		N/A	N/A			

Σχήμα 4.4 - Γεωλογικός δείκτης αντοχής για συνεκτικές βραχώμαξες (Hoek και Μαρίνος 2000).

Επίσης οι αυξημένες δυνατότητες για εφαρμογή υπολογιστικών προγραμμάτων μοντελοποίησης έχει δημιουργήσει μια ανάγκη για ένα σύστημα ταξινόμησης ειδικά σχεδιασμένο για υπολογιστική προσομοίωση βραχωδών σχηματισμών. Για να ικανοποιηθούν αυτές οι ανάγκες οι Hoek και Brown έχουν αναπτύξει και κάποιες απλές σχέσεις για την εκτίμηση του GSI βασισμένες σε κάποιες άλλες μεθόδους ταξινόμησης:

$$GSI = RMR - 5 \text{ για } GSI \geq 18, RMR \geq 23$$

$$GSI = 9 \ln Q' + 44 \text{ για } GSI < 18$$

$Q' = [RQD/J_n] \cdot [J_r/J_a]$, τροποποιημένος δείκτης ποιότητας βραχώμαζας κατά Burton (modified tunneling quality index)

RMR = Βαθμονόμηση βραχώμαζας κατά Bieniawski 1989 (Rock Mass Rating)

Η χρήση του Q' στους τύπους γίνεται γιατί συνήθως ο δείκτης RMR είναι δύσκολο υπολογιστεί για πετρώματα χαμηλής αντοχής.

4.2.5 Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη

Η εκτίμηση της αντοχής των πετρωμάτων σε μονοαξονική θλίψη αποτελεί μια βασική δοκιμή για την διαπίστωση των χαρακτηριστικών των πετρωμάτων και ένα δείκτη για την συμπεριφορά που εμφανίζει το πέτρωμα κάτω από φόρτιση. Επιπλέον, η συγκεκριμένη παράμετρος καθορίζει το όριο εφαρμοσιμότητας των τεχνικών μηχανικής εκσκαφής (McFeat-Smith, 1987).

4.2.6 Βάθος κατασκευής

Η πιο άμεση επίδραση του βάθους κατασκευής του έργου έχει να κάνει με το μέγεθος των γεωστατικών τάσεων που επικρατούν στη θέση κατασκευής, όμως επιδρά ακόμη και στην ανομοιόμορφη πολλές φορές κατανομή των κατακόρυφων τάσεων, σε σχέση με τις αντίστοιχες πλευρικές.

Ο παράγοντας βάθος, είναι σημαντικός στον έλεγχο των επιφανειακών καθιζήσεων που μπορούν να υπάρξουν, σε συνάρτηση βέβαια με το πλάτος του υπογείου έργου (overburden ratio), όπως για παράδειγμα δίνεται από τον Attewell (1976; 1981) (Σχήμα 4.5), σύμφωνα με τον οποίο ισχύει ότι:

- Για μαλακές έως στιφρές αργίλους: $\left(\frac{i}{a}\right) = \left(\frac{z}{2a}\right)^{0,8}$
- Για σκληρές αργίλους, μαλακούς βράχους, μη συνεκτικά εδάφη: $\left(\frac{i}{a}\right) = 0,6 \cdot \left(\frac{z}{2a}\right)^{0,5}$

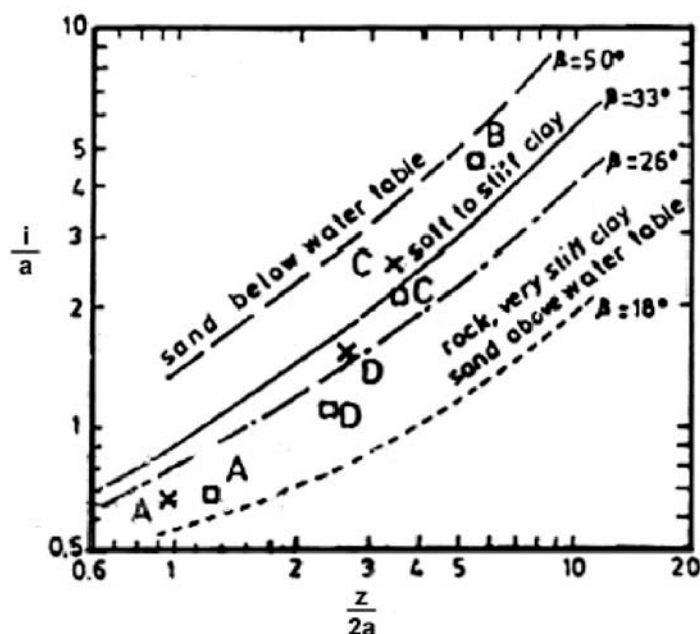
όπου,

i = η οριζόντια απόσταση από τον άξονα στις σήραγγες, όπου η καμπύλη της υποχώρησης παρουσιάζει τη μέγιστη κλίση

a = ακτίνα της σήραγγας

z = η απόσταση από την επιφάνεια έως τον άξονα της σήραγγας

Ακόμη, αβαθείς σήραγγες που κατασκευάζονται εντός αστικών περιοχών είναι πιο ευαίσθητες στην εμφάνιση προβλημάτων λόγω άλλων κτισμάτων, έργων, αγωγών ή ακόμα και αρχαιοτήτων.



Σχήμα 4.5 - Καμπύλες Attewell

4.2.7 Υδρογεωλογικές συνθήκες

Το υπόγειο νερό επιδρά σημαντικά στην ευστάθεια των υπόγειων εκσκαφών, σε μαλακά πετρώματα. Πρώτος ο Terzaghi (1950) παρατήρησε ότι: «... όλες οι σοβαρές δυσκολίες οι οποίες μπορούν να συναντηθούν κατά τη διάρκεια κατασκευής μιας σήραγγας σε μαλακά πετρώματα, είναι άμεσα ή έμμεσα συνδεδεμένες με την διείσδυση υδάτων εντός της σήραγγας». Τα άμεσα προβλήματα σχετίζονται με σημαντικές, αιφνίδιες πολλές φορές, εισροές υδάτων που μπορούν να πλημμυρίσουν τη σήραγγα και να σταματήσουν τις εργασίες για μεγάλο χρονικό διάστημα αλλά και τις επιπλέον φορτίσεις που χρειάζεται να αντιμετωπίσει η επένδυση. Οι έμμεσες επιπτώσεις προέρχονται από την αποσάθρωση των σχηματισμών, τη διεύρυνση του ανοίγματος και μείωση της διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών, ελάττωση της γωνίας εσωτερικής τριβής, πρόκληση

φαινομένων διόγκωσης, κ.α. (Κουμαντάκης, 1984; McCusker, 1996), γεγονότα που αυξάνουν τις συνθήκες αστάθειας κατά την διενέργεια της εκσκαφής.

4.2.8 Διαπερατότητα σχηματισμών

Η διαπερατότητα εκφράζει τη δυνατότητα κίνησης/ ροής του υπόγειου νερού μέσα από τους γεωλογικούς σχηματισμούς. Κάτι τέτοιο επιδρά στις εργασίες κατασκευής και στα προβλήματα που αναμένονται να υπάρξουν, όπως άλλωστε περιγράφηκε και προηγουμένως, συνεπώς ο συνυπολογισμός της συγκεκριμένης παραμέτρου στην ανάλυση είναι σε θέση να προσφέρει βασικές πληροφορίες.

4.3 Μοντελοποίηση του υπογείου χώρου της περιοχής εξέτασης (Block Modelling)

4.3.1 Στόχος μοντελοποίησης

Τα γεωτρητικά δεδομένα που έχουν συλλεχθεί και αναλυθεί στα πλαίσια αυτής της μελέτης εμπεριέχουν πολλές πληροφορίες για μεμονωμένα σημεία πάνω στην περιοχή μελέτης. Σκοπός αυτού του σταδίου της μεθοδολογίας είναι η χρήση αυτών των δεδομένων, ώστε βάση μόνο των ερευνητικών γεωτρήσεων και γεωγραφικών δεδομένων της περιοχής να δημιουργηθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο του υπόγειου χώρου, το οποίο να αποδίδει με μεγάλη ακρίβεια το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης και να προσδίδει τιμές για τις διάφορες παραμέτρους που έχουμε ορίσει στα δομικά στοιχεία (blocks) που συγκροτούν το μοντέλο. Τελικό αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η εξαγωγή λιστών με στατιστικά δεδομένα τα οποία στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθούν στο στάδιο της πιθανολογικής ανάλυσης.

4.3.2 Λογισμικό Surpac

Το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία του μοντέλου είναι το Gemcom Surpac, ένα αρκετά διαδεδομένο πακέτο λογισμικού χρησιμοποιούμενο ευρέως για γεωλογικές και

μεταλλευτικές εφαρμογές, σε ερευνητικό και βιομηχανικό επίπεδο. Το λογισμικό είναι βασισμένο στην υπόθεση ότι αφού ο πραγματικός κόσμος είναι τρισδιάστατος τότε και τα εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν για να τον αναπαραστήσουν θα πρέπει να είναι τρισδιάστατα.

Το Surpac επιτυγχάνει ακριβώς αυτό χρησιμοποιώντας, σε όλα τα modules, τα string files. Τα αρχεία αυτά αποθηκεύουν τα δεδομένα σε μορφή strings (αλληλουχίες). Ένα string file περιέχει τις συντεταγμένες X, Y, Z των σημείων, διασυνδεδεμένες με ένα κοινό δείκτη, που ονομάζεται string number. Η συνθήκη για τις συντεταγμένες που χρησιμοποιεί το Surpac, είναι: Y = η διεύθυνση του Βορρά (Northing), X = η διεύθυνση της Ανατολής (Easting). Μπορεί όμως να αποθηκεύσει και επιπλέον πληροφορίες για κάθε σημείο όπως για παράδειγμα την περιεκτικότητα, στα περιγραφικά πεδία (description fields), που ακολουθούν τις σειρές των συντεταγμένων. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να αναπαρασταθούν οποιαδήποτε χαρακτηριστικά του χώρου όπως τοπογραφικά σχέδια και γεωλογικά όρια.

Τα βασικά εργαλεία (modules) για τη δημιουργία και την επεξεργασία των string files στο Surpac είναι:

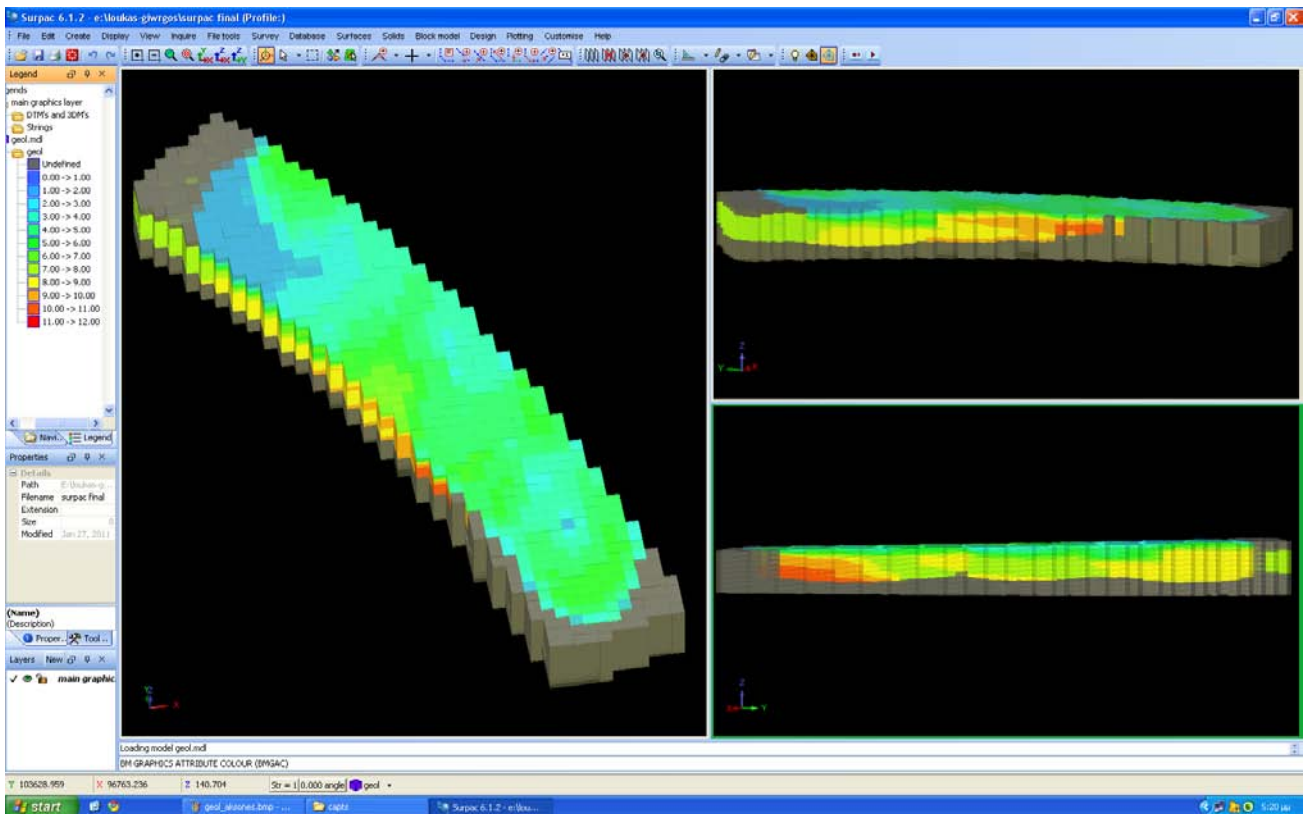
- Graphics: εργαλείο τρισδιάστατης σχεδίασης γραφικών που ενσωματώνει την δυνατότητα φωτοσκίασης (rendering) για την δημιουργία στερεών αντικειμένων. Περιλαμβάνει επίσης την δυνατότητα ψηφιοποίησης δεδομένων (digitizing interface) καθώς και εργαλεία CAD για τον σχεδιασμό υπόγειων εκσκαφών.
- String Tools: συλλογή εργαλείων για την διαχείριση των string files. Περιλαμβάνει διασύνδεση (interface) για αρχεία CAD, DXF.
- DTM Tools: εργαλείο δημιουργίας ψηφιακών μοντέλων εδάφους (Digital Terrain Models) δηλαδή τριγωνοποιημένα δίκτυα σημείων. Εδώ δίνεται η δυνατότητα για την δημιουργία τομών και για τον υπολογισμό όγκων.
- Plotting: χαρτογραφικό εργαλείο για την εκτύπωση δεδομένων από τα υπόλοιπα εργαλεία.
- Grid Tools: εργαλείο για την αποθήκευση, διαχείριση και εξαγωγή δεδομένων που είναι διατεταγμένα σε κανονικό κάρναβο.
- Block model: εργαλείο για την μοντελοποίηση διάφορων ιδιοτήτων του χώρου που έχουν οριστεί από τον χρήστη (π.χ. κατανομή περιεκτικότητας κοιτάσματος, δείκτης RQD, γεωλογική δομή).

- Geostatistics: εργαλείο για την επεξεργασία των δεδομένων με κλασική στατιστική ή με γεωστατιστική.

Το Surpac επίσης, για την καλύτερη διαχείριση πολλών δεδομένων όπως τα αρχεία γεωτρήσεων, δίνει την δυνατότητα δημιουργίας βάσης δεδομένων μέσω του module Geological Database. Η βάση αυτή μπορεί να είναι συμβατή με άλλες εξωτερικές βάσεις δεδομένων όπως η Microsoft Access, η Paradox, ή η Dbase. Ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει τα δεδομένα που έχει αποθηκεύσει στη βάση σε άλλα modules του προγράμματος όπως το Geostatistics για τη δημιουργία βαριογραμμάτων και στοχαστικών μοντέλων (Μενεγάκη 2010).

4.3.3 Λειτουργία Block Modelling

Το block model, είναι μια βάση δεδομένων που αναπτύσσεται στο χώρο και αναφέρεται σε συγκεκριμένες ιδιότητές του. Χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των ιδιοτήτων σε ένα συγκεκριμένο κομμάτι του χώρου (volume), οι οποίες για τις ανάγκες της παρούσης εργασίας θα σχετίζονται με τις παραμέτρους ανάλυσης που έχουν οριστεί νωρίτερα (Εικόνα 4.1). Τα δεδομένα στο block model αναφέρονται σε διακριτά στοιχεία όγκου τα οποία ονομάζονται blocks. Αυτά είναι παραλληλεπίπεδα τμήματα του προς μοντελοποίηση χώρου που δημιουργούνται από τον χρήστη. Στο κέντρο κάθε block αποδίδεται, με βάση τα δεδομένα των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων και με εφαρμογή μεθόδων χωρικής παρεμβολής (π.χ. μέθοδος inverse distance weighting ή kriging) μια τιμή περιεκτικότητας, η οποία αντιπροσωπεύει όλο το block. Επίσης δίνεται η δυνατότητα, σε κάθε στάδιο δημιουργίας του μοντέλου, να εφαρμοστούν περιορισμοί. Οι περιορισμοί αυτοί μπορεί να είναι επίπεδες επιφάνειες, γεωμορφολογικά ανάγλυφα, κλειστά strings, οι οποίοι περιορίζουν τον αριθμό των blocks ώστε η μοντελοποίηση του χώρου να είναι πιο αποτελεσματική (Μενεγάκη, 2010).

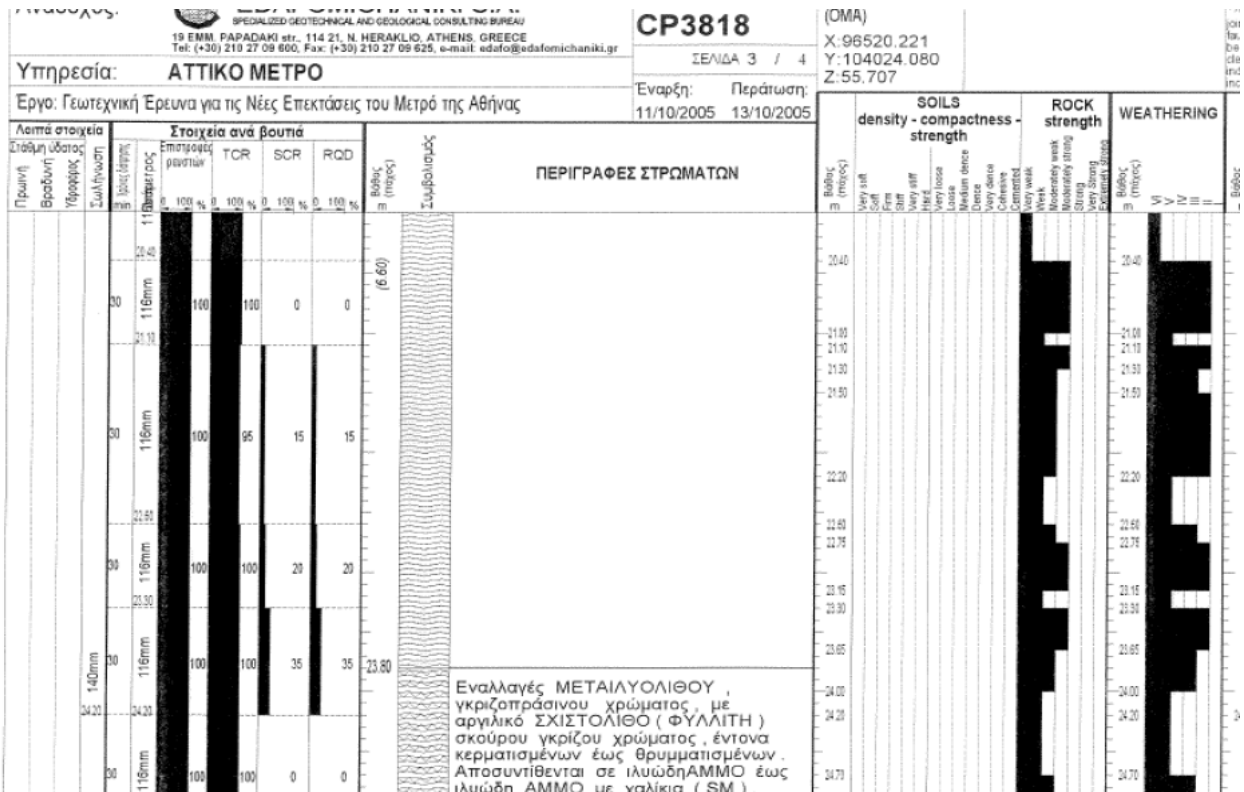


Εικόνα 4.1 - Το τυπικό περιβάλλον λειτουργίας του Surpac – Λειτουργία block modelling.

4.3.4 Εξαγωγή γεωτρητικών δεδομένων από μητρώα γεωτρήσεων

Το πρώτο ουσιαστικό στάδιο της μοντελοποίησης, παρόλο που δεν εκτελείται σε περιβάλλον Surpac, είναι η σωστή ψηφιοποίηση των μητρώων των γεωτρήσεων (Εικόνα 4.2). Η επιλογή των προς αποδελτίωση γεωτρητικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία έγινε βάσει τριών κυρίως κριτηρίων:

1. Την δυνατότητα κάλυψης από τα δεδομένα των ορισμένων από τη μεθοδολογία παραμέτρων εξέτασης.
2. Την εμφάνιση των ιδίων τύπων δεδομένων σε όλες τις επιλεγμένες γεωτρήσεις, και για ολόκληρο το μήκος καθεμίας, σε πολύ μεγάλο ποσοστό επί του συνόλου.
3. Την ανάγκη να κρατηθεί σε λογικά πλαίσια το πλήθος των δεδομένων που θα εισαχθούν στο λογισμικό, ώστε να είναι δυνατός ο έλεγχός και η διαχείρισή τους.



Εικόνα 4.2 - Δείγμα μητρώου γεώτρησης

4.3.5 Εισαγωγή γεωτρητικών δεδομένων στο λογισμικό Surpac

Η εισαγωγή γεωτρητικών δεδομένων στο Surpac περιλαμβάνει τις παρακάτω 4 μεταβλητές ιδιότητες του υπογείου χώρου συζευγμένες με μεταβλητές ταξινόμησής τους (όνομα γεώτρησης – hole_id, αύξων αριθμός στοιχείου στη βάση δεδομένων - sample_id, από και έως βάθος – depth_from depth_to):

1. RQD (ασυνέχειες και ο βαθμός ρωγμάτωσης των σχηματισμών)
2. GSI (εκτίμηση της ποιότητας βραχώμαζας)
3. GEOL (γεωλογικός σχηματισμός - Geology)
4. STRU (βαθμός αποσάθρωσης των σχηματισμών - Weathering)

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.4, οι τιμές για τις 4 μεταβλητές μπορούν να εισαχθούν μόνο ως αριθμητικές τιμές. Η περαιτέρω αξιοποίηση τους από την λειτουργία Block Modelling επίσης βοηθείται από αύξουσα η φθίνουσα ταξινόμησή τους. Συνέπεια αυτών των δύο παραγόντων είναι η κωδικοποίηση των μη αριθμητικά εκφρασμένων ιδιοτήτων STRU και GEOL σύμφωνα με τους πίνακες 4.5 και 4.6.

Πίνακας 4.4 - Δείγμα ψηφιοποιημένων δεδομένων

hole_id	sample_id	depth_from	depth_to	GSI	RQD	GEOL	STRU
CASN1T	1	0,0	0,9			1,00	
CASN1T	2	0,9	1,5			1,00	
CASN1T	3	1,5	2,3	67,5	31	1,00	3,00
CASN1T	4	2,3	3,3	67,5	100	1,00	3,00
CASN1T	5	3,3	4,9	67,5	48	1,00	3,00
CASN1T	6	4,9	6,3	67,5	68	1,00	3,00
CASN1T	7	6,3	7,0	37,5	0	1,00	5,00
CASN1T	8	7,0	7,8	37,5	62	1,00	3,00
CASN1T	9	7,8	8,8	37,5	20	1,00	4,00
CASN1T	10	8,8	10,0	37,5	12	1,00	3,50
CASN1T	11	10,0	10,7	27,5	0	7,00	3,50
CASN1T	12	10,7	11,6	27,5	0	7,00	3,50
CASN1T	13	11,6	12,3	27,5	0	7,00	3,50
CASN1T	14	12,3	13,5	27,5	0	7,00	3,50
CASN1T	15	13,5	14,5	27,5	0	7,00	3,50

Πίνακας 4.5 - Κωδικοποίηση GEOL

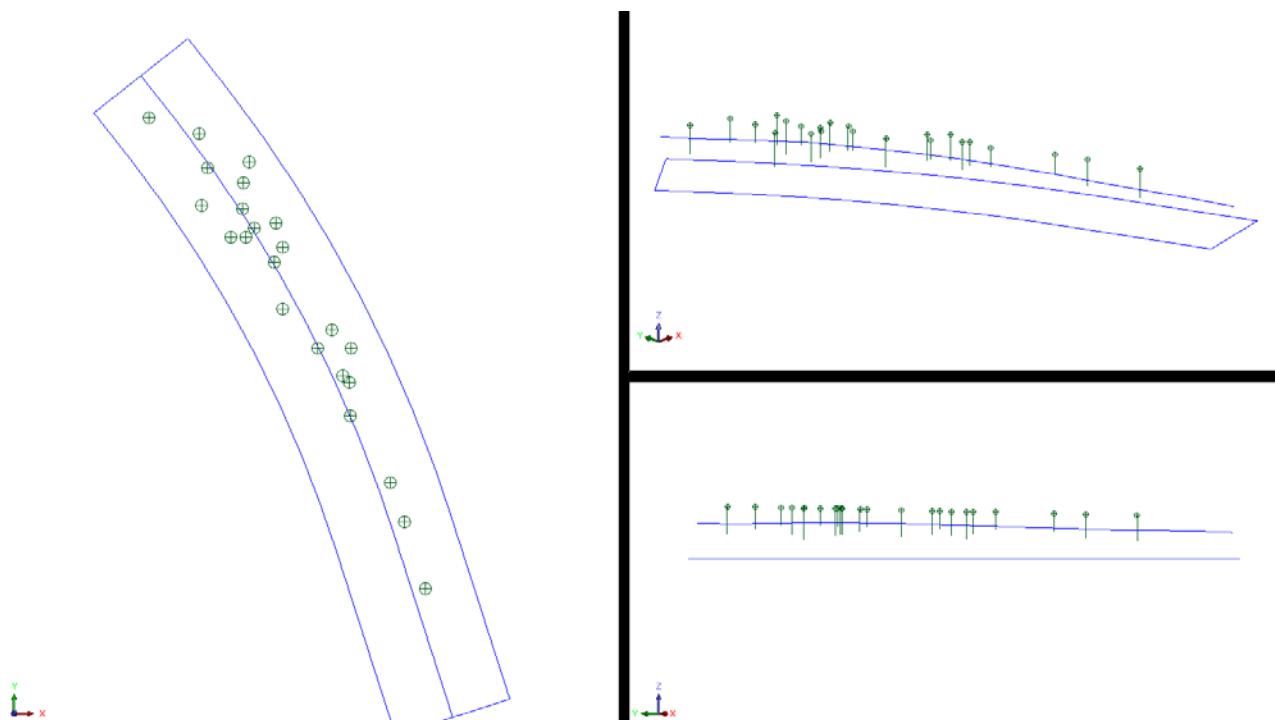
Γεωλογική ενότητα	Numeric value
άμμος	1
άργιλος	2
λατυποπαγές	3
κροκαλοπαγές	4
ψηφιδοπαγές	5
Χάλικες	6
μεταψαμμίτης	7
μεταιλύλιθος	8
σχιστόλιθος	9
ασβεστόλιθος	10
χαλαζίας	11

Πίνακας 4.6 - Κωδικοποίηση STRU

κατηγορία αποσάθρωσης	Χαρακτηρισμός	numeric #
I	Fresh	1
II	Slightly Weathered	2
III	moderately weathered	3
IV	Highly Weathered	4
V	Completely Weathered	5
VI	Residual soil	6
# σε περίπτωση που υπάρχουν δύο γειτνιάζουσες κατηγορίες ή ενδιάμεση κατηγορία, (π.χ. III/IV) χρησιμοποιείται δεκαδικό ψηφίο π.χ.: 2,5		

4.3.6 Εισαγωγή χωρικών και γεωγραφικών δεδομένων στο λογισμικό Surpac

Πέρα από την εισαγωγή στο γεωγραφικό σύστημα των συντεταγμένων των γεωτρήσεων (Πίνακας 4.7), θεωρήθηκε απαραίτητη η ψηφιοποίηση του τοπογραφικού υποβάθρου, παρά την μικρή υψομετρική διαφοροποίηση της επιφάνειας στην περιοχή. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί πως ο γεωγραφικός προσδιορισμός των ορίων της περιοχής μελέτης και των θέσεων των γεωτρήσεων μέσα σε αυτήν (Εικόνα 4.3), έγινε με βάση του συστήματος συντεταγμένων που χρησιμοποιεί το Αττικό Μετρό. Ο λόγος χρήσης αυτού του συστήματος χωρίς μετατροπή σε άλλο σύστημα συντεταγμένων ήταν η ευρύτατη χρησιμοποίηση του σε όλα τα σχέδια και βιβλιογραφικά δεδομένα από την Αττικό Μετρό και η μη ανάγκη εισαγωγής εξωτερικών γεωγραφικών δεδομένων από τρίτες πηγές, καθώς ακόμα και το ανάγλυφο προσδιορίστηκε από στοιχεία της Αττικό Μετρό Α.Ε.



Εικόνα 4.3 – Περιοχή μελέτης, ίχνος σήραγγας και θέση γεωτρήσεων

Πίνακας 4.7 – Γεωγραφικά στοιχεία των γεωτρήσεων στην περιοχή μελέτης

Hole id	γ	χ	z	Βάθος
CASN1T	104050,91	96497,18	56,36	35,00
CASP4T	104069,94	96531,73	56,09	35,00
CASP3T	104024,35	96534,23	55,85	29,00
CASE1T	104036,05	96559,04	55,58	29,50
CP3818	104024,51	96521,29	55,70	30,00
G026	104003,14	96557,46	54,90	20,00
G025	104031,72	96540,87	55,80	20,80
G023	104048,17	96530,99	55,90	20,00
G05	104087,05	96536,81	56,84	30,80
GO24	104082,47	96501,69	56,98	20,50
GO22	104110,98	96495,14	57,40	25,00
CBKN1	104124,19	96452,89	57,72	30,10
CATP1	103786,41	96666,37	49,65	27,00
CATP4	103902,97	96620,32	52,51	25,00
CAFP1AC	103931,59	96621,87	52,62	27,10

CATE1	103947,19	96605,65	53,16	27,30
CATP5	104016,03	96564,53	55,18	25,00
G17	103908,56	96615,10	52,34	30,00
G25	103730,87	96684,05	48,65	30,00
G013	103819,24	96654,21	50,63	20,60
G027	103931,47	96593,81	53,34	21,00
G028	103875,21	96621,10	52,00	20,00
G07	103964,54	96564,88	54,26	29,80

4.3.7 Δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων ανάλυσης (Block Models)

Τα μοντέλα ανάλυσης που δημιουργήθηκαν με το λογισμικό Surpac δομούνται σύμφωνα με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Blocks

Βασικό δομικό στοιχείο αποτελούν τα blocks, τα οποία ορίζονται ως ορθογώνια παραλληλεπίπεδα σταθερών διαστάσεων 10x10x1m στους άξονες y,x και z αντίστοιχα. Η επιλογή των διαστάσεων αυτών έγινε μετά από δοκιμές μοντελοποίησης για διάφορα μεγέθη blocks. Η κάθετη διάσταση από την αρχή ορίστηκε ως σημαντικά μικρότερη των υπολοίπων δεδομένου του μικρού συνολικού ύψους των block models (65m), ακόμα και πριν την εφαρμογή χωρικών περιορισμών. Το πλάτος και μήκος κάθε block επίσης εκτιμήθηκε ως βέλτιστο για το 1/10 των διαστάσεων κάθε υποπεριοχής (area). Τα blocks αυτά λαμβάνουν τιμές για τις τέσσερις παραμέτρους που θα εξεταστούν συμψηφίζοντας τα δεδομένα κοντινών τους γεωτρήσεων.

Απόδοση ιδιοτήτων στα blocks

Για την απόδοση ιδιοτήτων στα block model χρησιμοποιείται η μέθοδος χωρικής παρεμβολής inverse distance weighting (IDW). Πρόκειται για μία μέθοδο παρεμβολής πολυμεταβλητών (multivariate interpolation), δηλαδή μία διαδικασία κατά την οποία προσδίδονται τιμές σε άγνωστα σημεία (blocks) χρησιμοποιώντας τιμές από ένα σύνολο γνωστών σημείων διεσπαρμένων

στον χώρο (γεωτρητικά δεδομένα). Οι τιμές που προσδίδονται στα άγνωστα σημεία αποτελούν σταθμισμένα μέσα των γνωστών τιμών των ιδιοτήτων από τις γειτονικές σε αυτά γεωτρήσεις.

Με εφαρμογή της μεθόδου χωρικής παρεμβολής *inverse distance weighting*, τα γεωτρητικά δεδομένα των γεωτρήσεων προσδίδουν στο κέντρο κάθε block τιμή για τις κάθε μία από τις 4 μεταβλητές, ορίζοντας τις ιδιότητες του χώρου για τον όγκο του κάθε block.

Ορισμός χωρικών περιορισμών (constraints)

Τα όρια που θέτονται μέσω χωρικών περιορισμών στο αρχικά ακατέργαστο σύνολο από blocks που δημιουργείται από το σύστημα ορίζουν την περιοχή στην οποία θα περιοριστεί η ανάλυση. Οι τρεις βασικοί χωρικοί περιορισμοί που επιλέχθηκαν είναι:

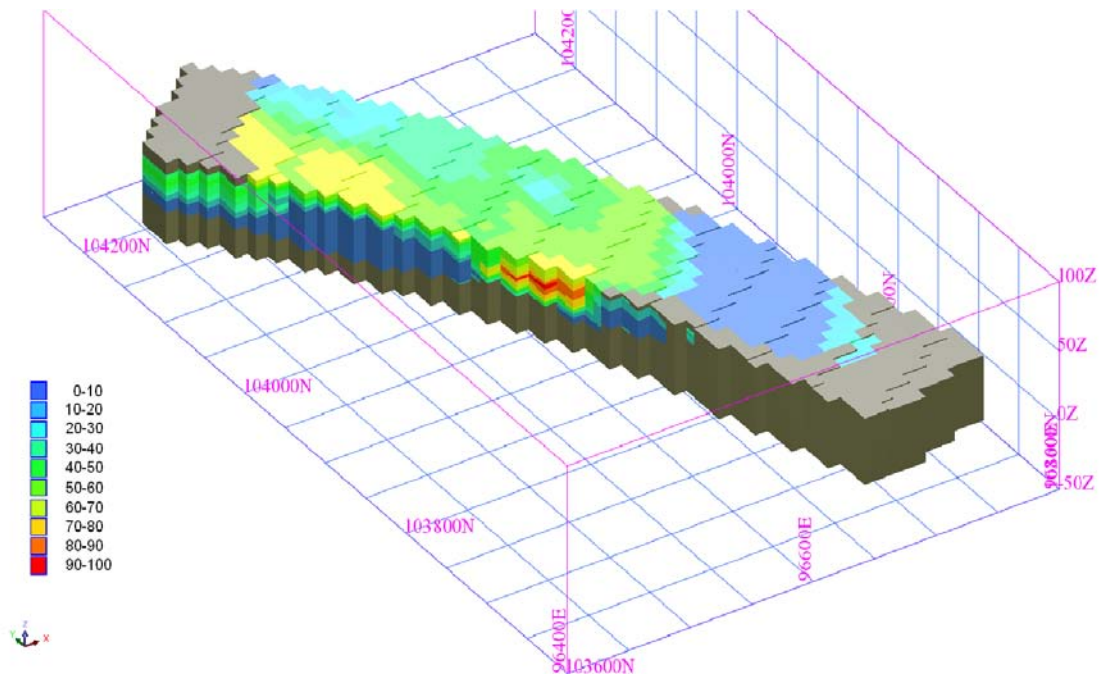
1. Οριζόντιος περιορισμός 50m εκατέρωθεν της σήραγγας που διανοίχτηκε με τη μέθοδο NATM, κατά μήκος της χάραξής της.
2. Κάθετος περιορισμός σε βάθος 32,5m κάτω από το ίχνος της σήραγγας
3. Κάθετος περιορισμός που αντιστοιχεί στο τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής μελέτης. Ορίζει το ύψος των υπερκειμένων της σήραγγας ως 15-18m πάνω από το ίχνος της σήραγγας, κυμαινόμενο σύμφωνα με το τοπογραφικό ανάγλυφο.

Πέρα από τους ανωτέρω χωρικούς περιορισμούς που ορίστηκαν αρχικά για να αποδώσουν την περιοχή μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν δοκιμαστικά και άλλοι για συγκεκριμένες ανάγκες της εργασίας, με κυριότερη την επαλήθευση της πληρότητας των μοντέλων. Δύο από αυτούς είναι:

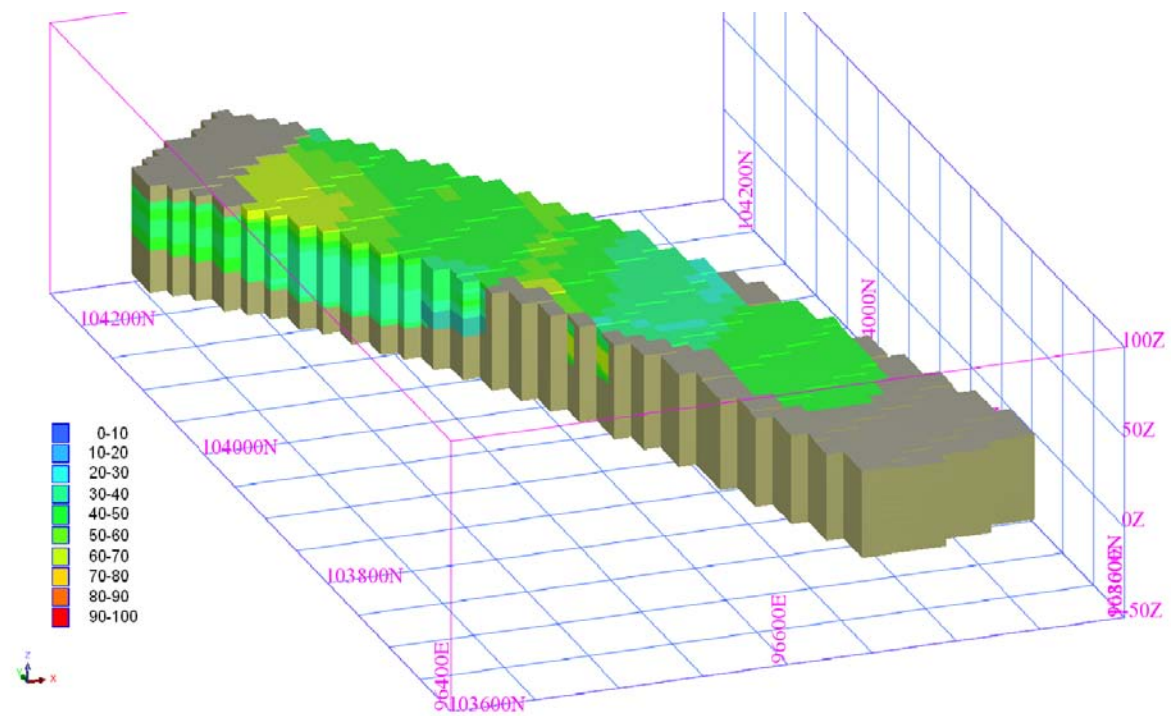
- Ένας περιορισμός που ακολουθεί τη χάραξη του έργου με το μοντέλο να παίρνει τις διαστάσεις της σήραγγας.
- Ένας ακόμα χωρικός περιορισμός που τέμνει κάθετα το μοντέλο κατά μήκος της χάραξης της σήραγγας.

Οι τελευταίοι περιορισμοί που χρησιμοποιήθηκαν ορίζουν τις έξι υποπεριοχές μελέτης (area 1-area 6). Εφαρμόστηκαν διαδοχικά επί της ορισμένης ως περιοχή ανάλυσης και ορίζουν χωρικές περιοχές διαστάσεων 100x100m κάθετης διάστασης 15m άνω και κάτω του ίχνους της χάραξης.

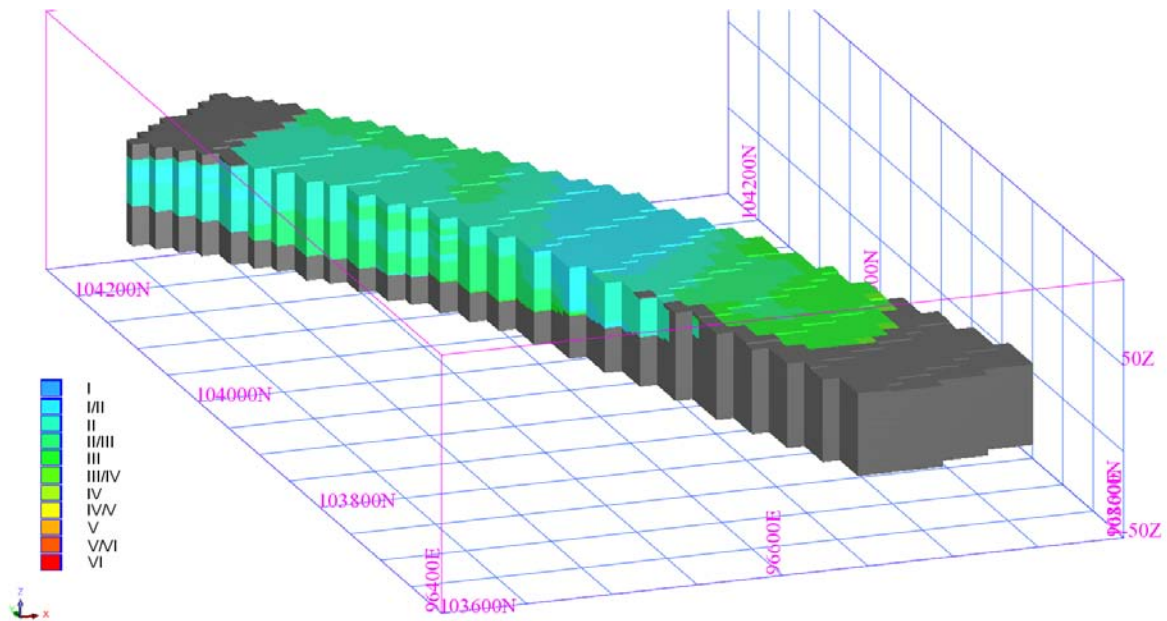
Ακολουθούν τα 4 block models (Εικόνες 4.4 έως 4.7):



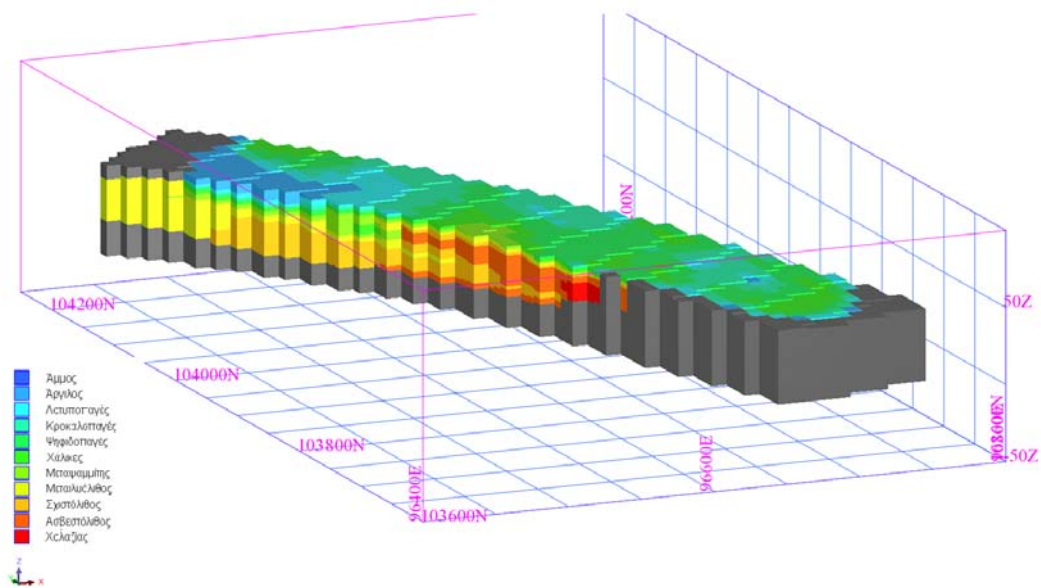
Εικόνα 4.4 - Μοντέλο RQD



Εικόνα 4.5 - Μοντέλο GSI



Εικόνα 4.6 - Μοντέλο STRU



Εικόνα 4.7 - Μοντέλο GEOL

4.3.8 Αποτελέσματα μοντελοποίησης

Τα αποτελέσματα της διαδικασίας της μοντελοποίησης εξήχθησαν συγκεντρωτικά ως λίστες στατιστικών δεδομένων για τις τέσσερις μεταβλητές (GSI,RQD,STRU,GEOL) ξεχωριστά για κάθε μία

από τις έξι υποπεριοχές. Η αναφορά που ακολουθεί (Πίνακας 4.8) είναι από το block model GSI, για την υποπεριοχή 4 (area4). Διακρίνονται οι χωρικοί περιορισμοί (constraints) που έχουν χρησιμοποιηθεί:

1. CONKATHETO (inside): Ορίζει την κάθετη διάσταση της area 4.
2. ΚΟΥΤΙ4 (inside): Ορίζει τις οριζόντιες διαστάσεις της area 4.

Η κάθε υποδιαίρεση ($\theta \rightarrow 1, 1 \rightarrow 2$, κλπ.) του συνολικού εύρους της μεταβλητής GSI έχει αντιστοιχιστεί πλέον με μία τιμή όγκου (Volume) των blocks (Volume = όγκος δομικού block πλήθος blocks) με τιμή μέσα στο εύρος. Επίσης αποδίδεται η μέση τιμή του GSI για τον όγκο αυτό, μέσα στο μοναδιαίο εύρος.

Η μορφή εξαγωγής των αποτελεσμάτων ευνοεί την άθροιση των Volumes για αναπαράσταση οποιουδήποτε εύρους τιμής GSI, αλλά και τον υπολογισμό του ποσοστού που εκφράζει ο 'όγκος' κάθε επιμέρους εύρους μεταβλητής προς τον συνολικό όγκο της κάθε υποπεριοχής.

Πίνακας 4.8 – Λίστα στατιστικών δεδομένων για την περιοχή 4.

Gemcom Software International

Mar 28, 2011

Block model report

Constraints used

a. INSIDE CONSTRAINT CONKATHETO

b. INSIDE CONSTRAINT KOUTI4

Keep blocks partially in the constraint : True

		35.0 -> 36.0	4300 35.493	73.0 -> 74.0	0 0.000
		36.0 -> 37.0	3400 36.500	74.0 -> 75.0	0 0.000
		37.0 -> 38.0	3800 37.392	75.0 -> 76.0	0 0.000
		38.0 -> 39.0	2700 38.510	76.0 -> 77.0	0 0.000
		39.0 -> 40.0	2800 39.494	77.0 -> 78.0	0 0.000
		40.0 -> 41.0	3000 40.498	78.0 -> 79.0	0 0.000
		41.0 -> 42.0	2400 41.525	79.0 -> 80.0	0 0.000
		42.0 -> 43.0	2000 42.517	80.0 -> 81.0	0 0.000
		43.0 -> 44.0	2500 43.542	81.0 -> 82.0	0 0.000
		44.0 -> 45.0	1300 44.556	82.0 -> 83.0	0 0.000
		45.0 -> 46.0	3500 45.437	83.0 -> 84.0	0 0.000
		46.0 -> 47.0	2600 46.532	84.0 -> 85.0	0 0.000
		47.0 -> 48.0	3200 47.479	85.0 -> 86.0	0 0.000
		48.0 -> 49.0	1800 48.464	86.0 -> 87.0	0 0.000
		49.0 -> 50.0	2800 49.604	87.0 -> 88.0	0 0.000
		50.0 -> 51.0	3000 50.440	88.0 -> 89.0	0 0.000
		51.0 -> 52.0	2700 51.419	89.0 -> 90.0	0 0.000
		52.0 -> 53.0	3900 52.508	90.0 -> 91.0	0 0.000
		53.0 -> 54.0	4600 53.492	91.0 -> 92.0	0 0.000
		54.0 -> 55.0	3800 54.462	92.0 -> 93.0	0 0.000
		55.0 -> 56.0	5300 55.475	93.0 -> 94.0	0 0.000
		56.0 -> 57.0	6600 56.535	94.0 -> 95.0	0 0.000
		57.0 -> 58.0	6600 57.542	95.0 -> 96.0	0 0.000
		58.0 -> 59.0	6000 58.436	96.0 -> 97.0	0 0.000
		59.0 -> 60.0	6100 59.492	97.0 -> 98.0	0 0.000
		60.0 -> 61.0	5800 60.516	98.0 -> 99.0	0 0.000
		61.0 -> 62.0	5600 61.459	99.0 -> 100.0	0 0.000
		62.0 -> 63.0	2900 62.425		
		63.0 -> 64.0	100 63.218	Grand Total	188000 39.593
		64.0 -> 65.0	0 0.000		
		65.0 -> 66.0	0 0.000		
		66.0 -> 67.0	0 0.000		
		67.0 -> 68.0	0 0.000		
		68.0 -> 69.0	0 0.000		
		69.0 -> 70.0	0 0.000		
		70.0 -> 71.0	0 0.000		
		71.0 -> 72.0	0 0.000		
		72.0 -> 73.0	0 0.000		

Κεφάλαιο 5 – Πιθανολογική Ανάλυση Κινδύνου – Αποτελέσματα και Επαλήθευση Αποτελεσμάτων

5.1 Πιθανολογική Ανάλυση

5.1.1 Πιθανολογική Εκτίμηση Τιμών και Συμπεριφοράς Παραμέτρων – Τεχνική Monte Carlo

Όπως αναφέρει ο Benardos et al. (2004), οι σημειακές ή αιτιοκρατικές (deterministic) προσεγγίσεις συνεπάγονται την μοναδιαία «καλύτερη εκτίμηση» (best guess) της κάθε παραμέτρου που συμμετέχει στο μοντέλο εξέτασης ή στη μαθηματική έκφραση ενός συστήματος. Θεωρώντας το γενικό πρόβλημα, στο οποίο υπάρχει η εξαρτημένη μεταβλητή F , η οποία είναι συνάρτηση των μεταβλητών, x_1, x_2, \dots, x_k , η κύρια ερώτηση αφορά το πως μεταβάλλεται η F σε σχέση με τις ανεξάρτητες μεταβλητές x . Κάτι τέτοιο μπορεί να εξεταστεί με την πραγματοποίηση ανάλυσης ευαισθησίας μέσω σεναρίων διερεύνησης (what if scenarios), στα οποία υπολογίζεται το κατά πόσο η αλλαγή των παραμέτρων εισαγωγής επιδρά στο τελικό αποτέλεσμα. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος είναι να μεταβάλλεται μια παράμετρος ενώ οι υπόλοιπες να παραμένουν σταθερές, γεγονός που επιτρέπει την εκτίμηση της επίδρασης της συγκεκριμένης παραμέτρου στην συνολική τιμή. Όμως, σε πολύπλοκα συστήματα με έντονες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παραμέτρων, η πρακτική σημασία της ανάλυσης ευαισθησίας μειώνεται αισθητά).

Άλλα προβλήματα που σχετίζονται με την συγκεκριμένη μέθοδο ανάλυσης, είναι:

- Οι τιμές οι οποίες λαμβάνονται ως τιμές εισαγωγής, πολλές φορές δεν έχουν την επιθυμητή ακρίβεια, ενώ επιπλέον δεν μπορούν να εκφράσουν την αβεβαιότητα που τις διακρίνει.
- Η εξέταση εναλλακτικών σεναρίων για την εκτίμηση της ευαισθησίας των παραμέτρων πάνω στο τελικό αποτέλεσμα πολλές φορές περιορίζεται από τον μεγάλο αριθμό των πιθανών συνδυασμών που δημιουργούνται.

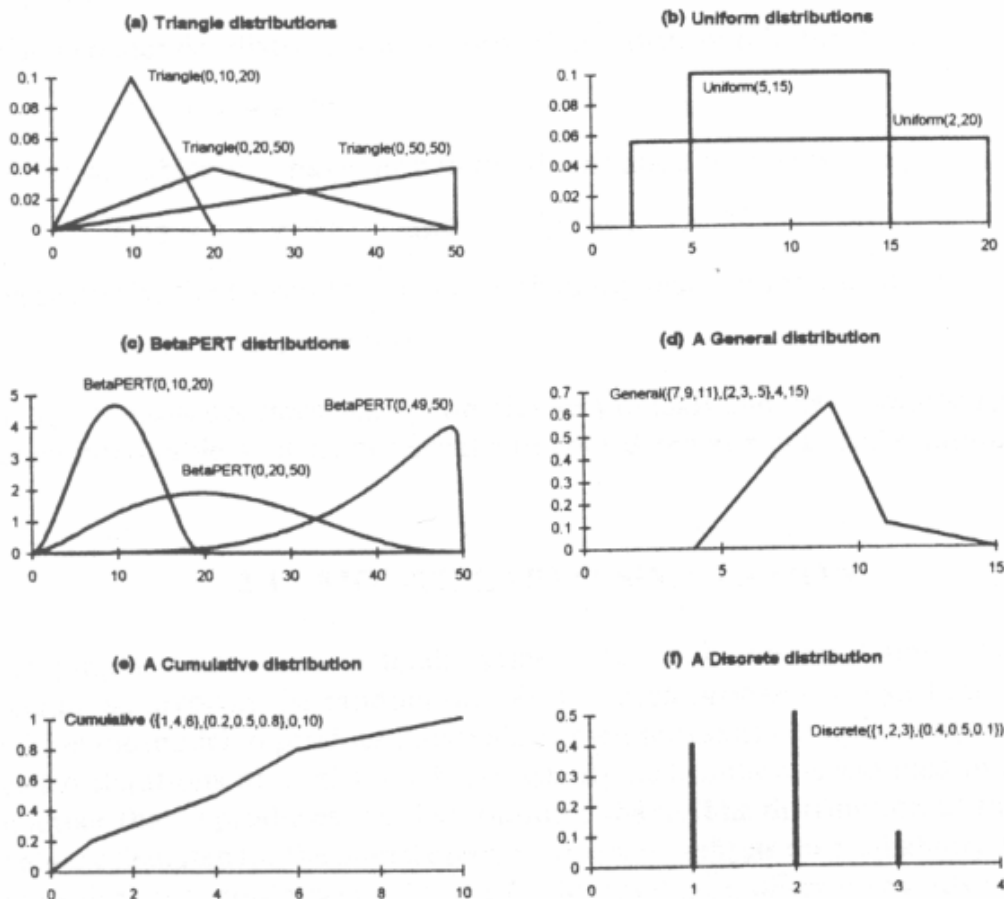
- Η δημιουργία των διαφόρων σεναρίων εξέτασης δεν συνυπολογίζει το γεγονός ότι, κάποια από αυτά είναι πιο πιθανά να συμβούν έναντι άλλων, δηλαδή δεν μπορεί να προσδιορίσει τη βαρύτητα του κάθε εναλλακτικού σεναρίου στο τελικό αποτέλεσμα.

Η πραγματοποίηση πιθανολογικής μοντελοποίησης ή πιθανολογικής προσομοίωσης (probabilistic simulation), είναι μια τεχνική παρόμοια με την ανάλυση ευαισθησίας, στο ότι μπορεί να δημιουργήσει ένα αριθμό εναλλακτικών σεναρίων εξέτασης. Ωστόσο, η συγκεκριμένη τεχνική προχωρά ακόμη περισσότερο, με το να είναι σε θέση να συνυπολογίσει αποτελεσματικά την κάθε πιθανή τιμή που μπορεί να πάρει μια μεταβλητή αλλά και να εκφράσει το συντελεστή βαρύτητας κάθε πιθανού σεναρίου που παράγεται, μέσω της πιθανότητας να συμβεί πραγματικά το συγκεκριμένο σενάριο (Vose,1996). Αυτό γίνεται δυνατό με την μοντελοποίηση κάθε παραμέτρου μέσω μιας συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας.

Στην Εικόνα 5.1 παρουσιάζονται ορισμένα παραδείγματα κατανομών πιθανότητας που χρησιμοποιούνται αρκετά συχνά. Ο άξονας των x καλύπτει το εύρος των τιμών που μπορεί να πάρει η παράμετρος, ενώ ο άξονας των y περιγράφει την πιθανότητα να ληφθεί η κάθε τιμή, εντός του συγκεκριμένου εύρους.

Στόχος της πιθανολογικής προσομοίωσης είναι να υπολογίσει το συνδυασμένο αποτέλεσμα των διαφόρων πηγών αβεβαιότητας, ώστε να προσδιορίσει τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των διαφόρων αποτελεσμάτων του μοντέλου.

Τα εργαλεία εκτίμησης κινδύνου στη διάθεση της πιθανολογικής ανάλυσης έχουν αναλυθεί στο Κεφάλαιο 2, όπως για παράδειγμα δενδροειδή διαγράμματα, ίσως όμως το πιο διαδεδομένο εξ αυτών, αλλά και κατάλληλο για την συγκεκριμένη μεθοδολογία, είναι η μέθοδος προσομοίωσης Monte-Carlo (Metropolis, 1949; Vose, 1996). Η συγκεκριμένη τεχνική περιλαμβάνει την επαναλαμβανόμενη τυχαία δειγματοληψία σε κάθε συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας που αντιστοιχεί στις μεταβλητές του μοντέλου, δημιουργώντας χιλιάδες σενάρια ή αλλιώς, δοκιμές ή επαναλήψεις (iteration), μέχρι να οριστεί η κατανομή του τελικού αποτελέσματος με μια επιθυμητή ακρίβεια. Έτσι, η κατανομή των τιμών που υπολογίστηκαν για το μοντέλο, αντικατοπτρίζει την πιθανότητα εμφάνισης των τιμών αυτών.

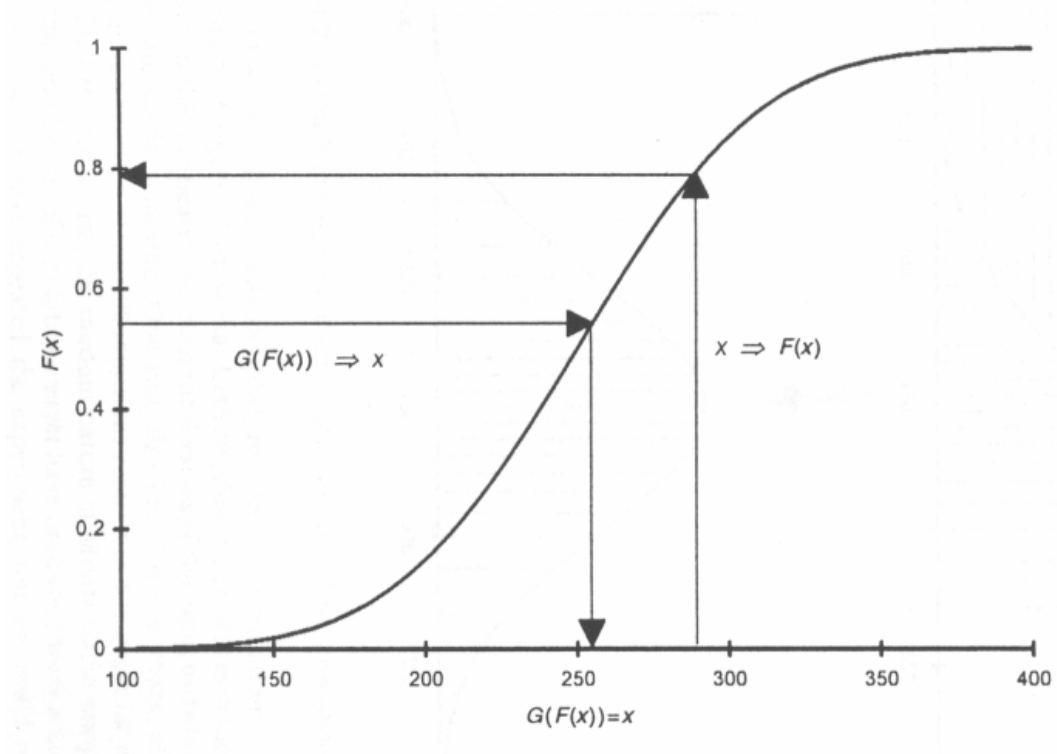


Εικόνα 5.1 - Παραδείγματα διαφόρων κατανομών πιθανότητας (Benardos et al. 2004)

Προχωρώντας περισσότερο στην ανάλυση της λειτουργίας της μεθόδου Monte Carlo, μπορούν να διακριθούν 4 βασικά στάδια, που περιγράφουν την τεχνική δειγματοληψίας και παραγωγής σεναρίων:

- i. Επιλογή της στατιστικής κατανομής (f) και των βασικών χαρακτηριστικών της, η οποία περιγράφει καλύτερα τις ανεξάρτητες μεταβλητές x_k .
- ii. Εκτίμηση της συνάρτησης αθροιστικής κατανομής $F(x)$, η οποία εκφράζει την πιθανότητα P , ότι η μεταβλητή X θα είναι μικρότερη ή ίση του x , δηλαδή $F(x) = P(X \leq x)$.
- iii. Υπολογισμός της αντίστροφης συνάρτησης $G(F(x))$, η οποία εκφράζει την τιμή της $F(x)$ για μια δεδομένη τιμή x και ορίζεται ως $G(F(x)) = x$ (Εικόνα 5.2). Αυτή είναι και η βασική αρχή που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία τυχαίων δειγμάτων από κάθε κατανομή πιθανότητας.

- iv. Παραγωγή τυχαίων αριθμών (r) μέσω ομοιόμορφης κατανομής μεταξύ των ορίων 0 και 1, οι οποίοι εισαγόμενοι στη συνάρτηση G , δημιουργούν τιμές που ακολουθούν την αρχική στατιστική κατανομή της παραμέτρου.

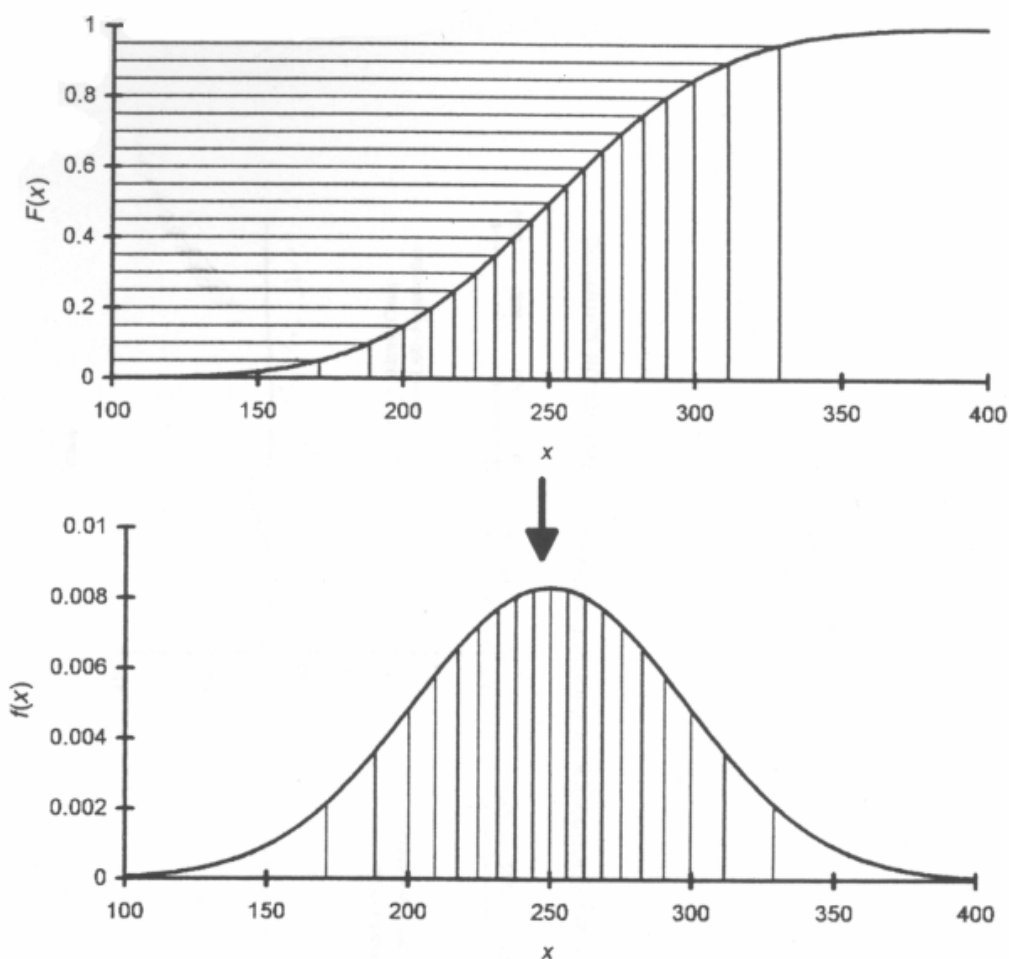


Εικόνα 5.2 - Γραφική απεικόνιση της σχέσης μεταξύ των x , $F(x)$ και $G(F(x))$ (Benardos et al. 2004)

Η δειγματοληψία μέσω της τεχνικής Monte Carlo, εξασφαλίζει την αναλλοίωτη τυχαία λήψη δειγμάτων, κάτι αρκετά σημαντικό στην περίπτωση κατά την οποία τα δημιουργούμενα μοντέλα προσπαθούν να μιμηθούν την τυχαία δειγματοληψία από ένα πληθυσμό ή για τη διεξαγωγή στατιστικών πειραμάτων. Ωστόσο, η τυχειότητα της δειγματοληψίας σημαίνει ότι θα υπάρχουν περιοχές οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν περισσότερο ή λιγότερο για την παραγωγή των τυχαίων δειγμάτων. Επομένως, για να υπάρχει μια όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφα κατανεμημένη τυχαία δειγματοληψία, απαιτείται η διενέργεια αρκετά μεγάλου αριθμού επαναλήψεων (Benardos et al. 2004).

Μια ανάλογη τεχνική, που δεν εμφανίζει τους περιορισμούς της Monte Carlo, είναι η δειγματοληψία Latin Hypercube – LHS (McKay et al., 1979), η οποία χρησιμοποιείται και στα πλαίσια της παρούσης εργασίας. Η συγκεκριμένη τεχνική θεωρείται ότι μπορεί να αποδώσει πιο ακριβείς εκτιμήσεις, ενώ επιπρόσθετα απαιτεί μικρότερο αριθμό επαναλήψεων. Αυτό που τη διαφοροποιεί είναι το γεγονός ότι πρόκειται για μια διαστρωματωμένη δειγματοληψία χωρίς

αναπλήρωση (stratified sampling without replacement), δηλαδή ο αλγόριθμος συνυπολογίζει τις περιοχές, οι οποίες ήδη έχουν χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή τυχαίων αριθμών και δεν τις ξαναχρησιμοποιεί (Iman et al., 1980). Στην Εικόνα 5.3 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα δειγματοληψίας με την χρήση της τεχνικής Latin Hypercube, σε μια κανονική κατανομή με $n=20$ επαναλήψεις. Όπως χαρακτηριστικά φαίνεται, στα άκρα της κατανομής τα διαστήματα αυξάνουν, έτσι ώστε να αποκτήσουν ίση πιθανότητα εμφάνισης με τις περιοχές που βρίσκονται στο κεντρικό τμήμα.



Εικόνα 5.3 - Παράδειγμα δειγματοληψίας με τεχνική Latin Hypercube (Benardos et al. 2004).

Με τον τρόπο αυτό πραγματοποιείται δειγματοληψία που συνεχίζει να είναι τυχαία, την ίδια όμως στιγμή εγγυάται την πιστή απόδοση της αρχικής κατανομής πιθανότητας που έχει επιλεχθεί για τις παραμέτρους εισαγωγής του μοντέλου. Αναλυτικότερα, η διαδικασία πραγματοποίησης της δειγματοληψίας LHS, κατά βήματα είναι:

- i. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας διαιρείται σε n διαστήματα ίσης πιθανότητας, όπου n είναι ο αριθμός των επαναλήψεων που θα πραγματοποιηθούν.
- ii. Κατά τη διενέργεια της πρώτης επανάληψης επιλέγεται ένα τυχαίο διάστημα (n_{k-1}, n_k) από τα συνολικά n που υπάρχουν διαθέσιμα, ενώ δημιουργείται ένας δεύτερος τυχαίος αριθμός για να προσδιορίσει το ακριβές σημείο εντός του διαστήματος (n_{k-1}, n_k) που βρίσκεται η συνάρτηση $F(x)$. Για τη συγκεκριμένη τιμή της συνάρτησης $F(x)$, υπολογίζεται η τιμή του x , σύμφωνα με το γνωστό τύπο $G(F(x)) = x$.
- iii. Η ίδια διαδικασία πραγματοποιείται για τη δεύτερη επανάληψη, μόνο που το διάστημα που έχει ήδη χρησιμοποιηθεί την πρώτη φορά, πλέον δεν συμπεριλαμβάνεται ως πιθανή επιλογή.
- iv. Η διαδικασία πραγματοποιείται για το συνολικό αριθμό των επαναλήψεων. Έτσι, αφού ο αριθμός των διαστημάτων είναι ίσος με τον αριθμό των διαστημάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ληφθεί η τιμή της $F(x)$, η δειγματοληψία γίνεται μόνο μια φορά σε κάθε διάστημα, εξασφαλίζοντας την αξιόπιστη αναπαραγωγή της συνάρτησης.

5.1.2 Εφαρμογή Τεχνικής Monte Carlo - Λογισμικό Ανάλυσης

Η εφαρμογή της τεχνικής Monte Carlo για τις ανάγκες της μεθοδολογίας εφαρμόζεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο εφαρμόζεται για την πιθανολογική εκτίμηση γεωλογικών χαρακτηριστικών, για την ανάλυση παραμέτρων όπως η διαπερατότητα σχηματισμών που σχετίζονται εμμέσως με τα αποτελέσματα μοντελοποίησης. Στο δεύτερο στάδιο εφαρμόζεται για την εκτίμηση του δείκτη τρωτότητας για κάθε υποπεριοχή ανάλυσης.

Κατά το στάδιο της πιθανολογικής ανάλυσης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πακέτο Oracle's Crystal Ball. Πρόκειται για μία εφαρμογή που εκτελείται σε περιβάλλον Microsoft Excel και αποτελεί την πιο διαδεδομένη επιλογή σε επαγγελματικούς και ακαδημαϊκούς κύκλους για ανάγκες εκτιμητικής μοντελοποίησης, προβλέψεων και βελτιστοποίησης.

5.1.3 Επεξεργασία στοιχείων από μοντέλο ανάλυσης

Πριν χρησιμοποιηθούν στο στάδιο της πιθανολογικής ανάλυσης, τα στατιστικά δεδομένα που εξήχθησαν από τα μοντέλα του Surpac ομαδοποιήθηκαν σε μη μοναδιαία εύρη τιμών (βλ. Κεφ.4.3 – Αποτελέσματα Μοντελοποίησης).

Πίνακας 5.1 - Ομαδοποιημένα στατιστικά δεδομένα RQD - area 2

Rqd Range	Volume
0-10	2200
10-20	15800
20-30	50300
30-40	49300
40-50	47000
50-60	13400
60-70	400
70-80	0
80-90	0
90-100	0

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.1, ορίστηκαν κατηγορίες για τη μεταβλητή RQD με σταθερό εύρος τιμών 10. Οι αντίστοιχες τιμές όγκου (volume) δηλώνουν σε τι πλήθος blocks (No of blocks=volume/ όγκος δομικού block) συναντώνται τιμές κάθε κατηγορίας μέσα στην υποπεριοχή εξέτασης 2.

Στη συνέχεια, σύμφωνα με τη μεθοδολογία, έγινε διάκριση μεταξύ των παραμέτρων ανάλυσης για τις οποίες έγινε χωρική ανάλυση δεδομένων (μοντελοποίηση), και αυτών για τις οποίες θα πραγματοποιηθεί πιθανολογική ανάλυση, πρώτου προχωρήσουμε στην εκτίμηση του δείκτη τρωτότητας κάθε υποπεριοχής.

5.1.4 Διάκριση παραμέτρων εξέτασης

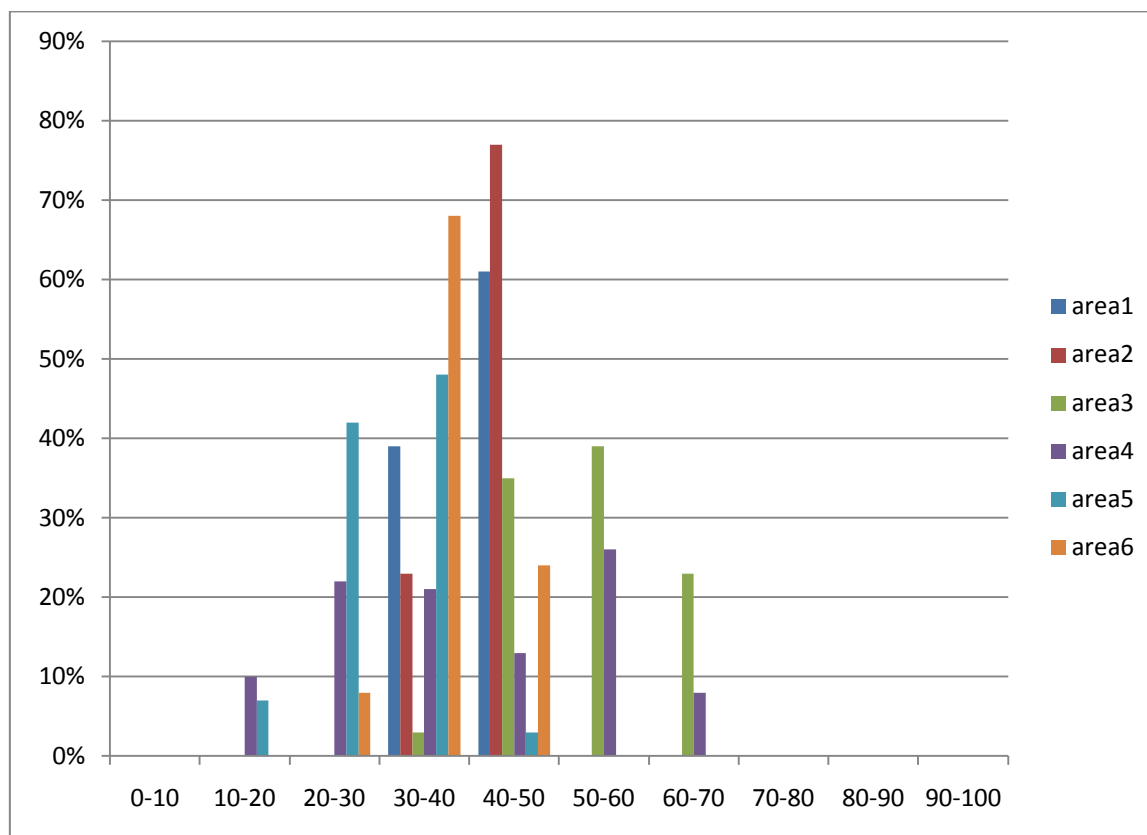
Σύμφωνα με τα παραπάνω, η ομαδοποίηση των παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν στην εκτίμηση του δείκτη τρωτότητας έγινε ως εξής:

- Οι παράμετροι RQD, GSI και Weathering (βαθμός αποσάθρωσης) θα εκτιμηθούν σύμφωνα με τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα από τα αντίστοιχα block models RQD, GSI και STRU.
- Οι παράμετροι βάθος κατασκευής και σχετικό ύψος υδροφόρου εκτιμώνται με τη χρήση χωρικών δεδομένων.

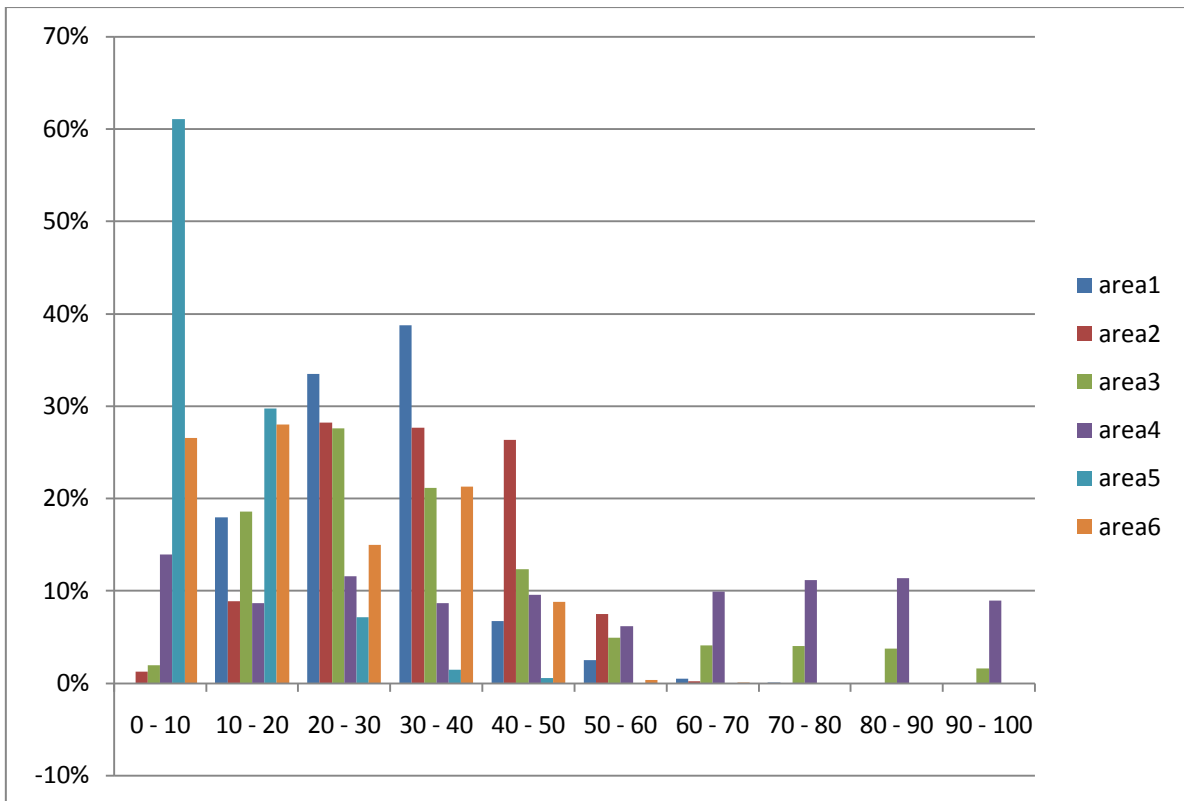
- Οι παράμετροι αντοχή του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη (σ_c) και βαθμός διαπερατότητας των σχηματισμών θεωρούνται ως άμεσα εξαρτώμενες από το γεωλογικό σχηματισμό στον οποίο ανταποκρίνονται και θα εκφραστούν μέσω του μοντέλου GEOL (γεωλογίας).
- Η παράμετρος συντελεστής ευστάθειας (stability factor) θα εκφραστεί επίσης μέσω του μοντέλου GEOL, αλλά ο υπολογισμός του θα συμπεριλάβει τόσο γεωλογικά στοιχεία όσο και χωρικά (ύψος υπερκειμένων).

5.1.4.1 Παράμετροι GSI, RQD, Βαθμός αποσάθρωσης

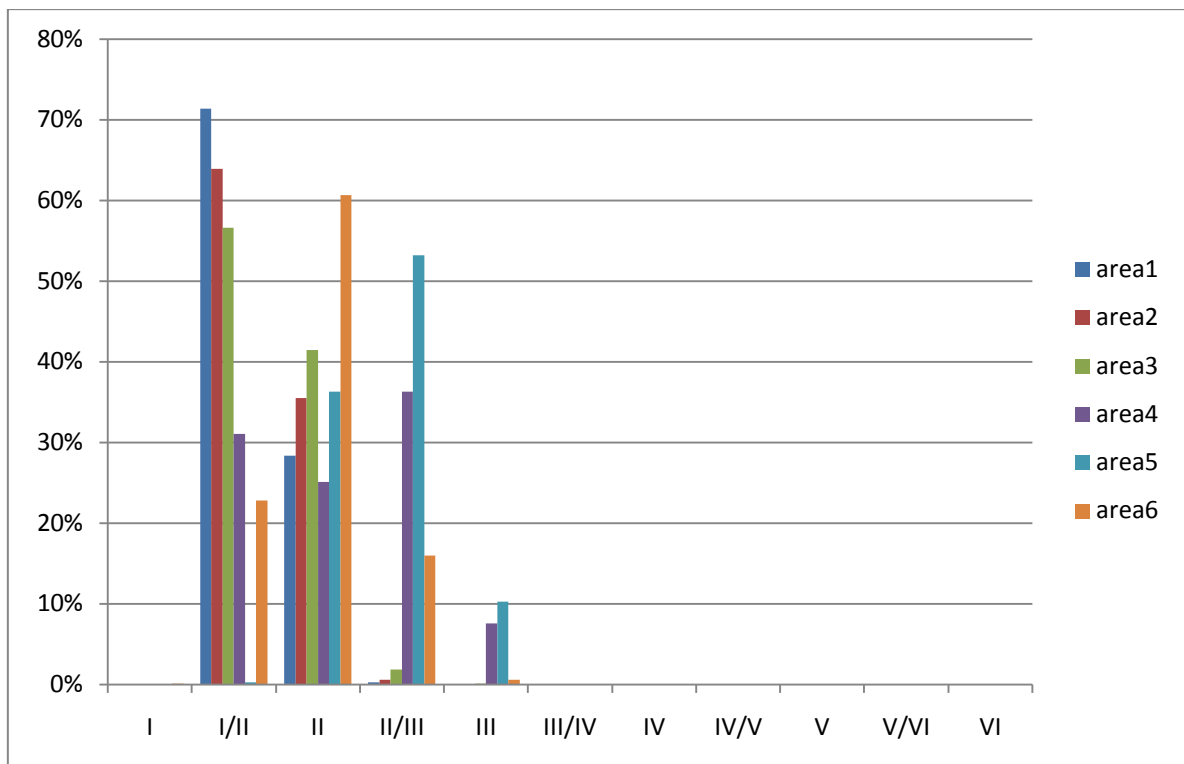
Τα δεδομένα για τις παραμέτρους GSI, RQD και Βαθμός αποσάθρωσης εξήχθησαν απευθείας από τα αντίστοιχα μοντέλα GSI, RQD και STRU. Η επεξεργασία που υπέστησαν τα δεδομένα των μοντέλων είναι η ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων για τα εύρη τιμών των κατηγοριών GSI, RQD και βαθμού αποσάθρωσης (Διαγράμματα 5.1, 5.2, 5.3).



Διάγραμμα 5.1 - Ποσοστιαία Κατανομή τιμών δείκτη GSI στις υποπεριοχές εξέτασης.



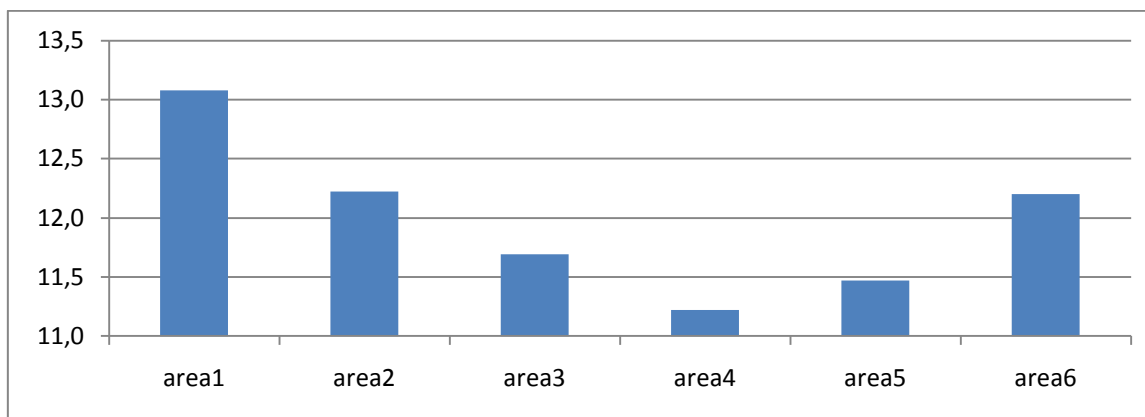
Διάγραμμα 5.2 - Ποσοστιαία Κατανομή τιμών δείκτη RQD στις υποπεριοχές εξέτασης.



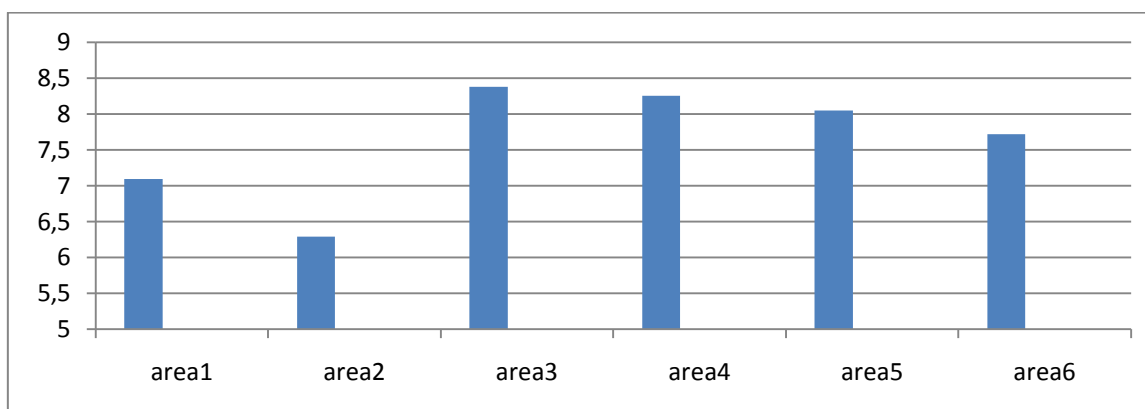
Διάγραμμα 5.3 - Ποσοστιαία Κατανομή τιμών δείκτη βαθμού αποσάθρωσης στις υποπεριοχές εξέτασης.

5.1.4.2 Παράμετροι βάθους κατασκευής και σχετικό ύψος υδροφόρου

Η μεταβλητότητα του βάθους κατασκευής, καθώς και το σχετικό ύψος του υδροφόρου σε σχέση με την κατασκευή, εξήχθησαν από τα σχέδια της Αττικό Μετρο Α.Ε., και εκτιμήθηκε μία μέση τιμή για κάθε υποπεριοχή (Διαγράμματα 5.4 και 5.5).



Διάγραμμα 5.4 - Βάθος κατασκευής (m).



Διάγραμμα 5.5 - Σχετικό ύψος του υδροφόρου (m).

5.1.4.3 Συντελεστής διαπερατότητας, Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη, Συντελεστής ευστάθειας μετώπου

Η ανάλυση της συμπεριφοράς παραμέτρων, για τις οποίες οι διαθέσιμες πληροφορίες είναι περιορισμένες γίνεται με τη χρήση στατιστικών κατανομών καθώς κάτι τέτοιο, όχι μόνο είναι σε θέση να αναπληρώσει την έλλειψη των δεδομένων αλλά επιπλέον, χρησιμοποιώντας τεχνικές πιθανολογικής μοντελοποίησης, είναι σε θέση να ενσωματώσει την αβεβαιότητα και να δώσει ποσοτικοποιημένες εκφράσεις για αυτή (Benardos et al., 2004). Όπως παρουσιάζεται, το εύρος των κατανομών, οι οποίες έχουν επιλεγεί για να προσομοιάσουν τη συμπεριφορά των

μεταβλητών, είναι σχετικά αυξημένο. Η επιλογή αυτή βασίζεται στο ότι, αφ' ενός μεν μέσα στις γεωλογικές ενότητες συμπεριλαμβάνονται αρκετοί σχηματισμοί, οι οποίοι έχουν διαφορετική συμπεριφορά (π.χ. μεταψαμμίτης, μεταλυόλιθος κ.α.), αφ' ετέρου δε, με τον τρόπο αυτό επιχειρείται να καλυφθούν από το μοντέλο όλες οι δυνατές περιπτώσεις που μπορούν να υπάρχουν, ακόμη και αυτές οι οποίες έχουν ακραία συμπεριφορά τιμών, με πολύ μικρή όμως πιθανότητα εμφάνισης. Οι βασικότεροι τύποι κατανομών που χρησιμοποιούνται είναι αυτοί της κανονικής (normal) και της τριγωνικής (triangular) κατανομής, καθώς είναι αρκετά εύχρηστες και οι παράμετροι που τις περιγράφουν είναι απλές..

Η αντιστοίχιση των παραμέτρων αυτών με τα γεωλογικά στατιστικά αποτελέσματα του μοντέλου GEOL έγινε σύμφωνα με τις αντίστοιχες αναφορές των γεωλογικών μελετών της Αττικό Μετρό Α.Ε. (εργαστηριακά αποτελέσματα βραχομηχανικής και υδρογεωλογική μελέτη περιοχής), αλλά και από μελέτες της Διεύθυνσης Τεχνικής Γεωλογίας του ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών Και Μεταλλευτικών Ερευνών) στην περιοχή (Δ. Ρόζος et al., 1998). Κατά την αντιστοίχιση των γεωλογικών ενοτήτων με τις παραμέτρους, εκτελέστηκε η πιθανολογική εκτίμηση τους. Ειδικά για τον υπολογισμό του συντελεστή ευστάθειας μετώπου χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυσή του συμπληρωματικά χωρικά δεδομένα σχετισμένα με την παράμετρο του ύψους υπερκειμένων.

Παρατήρηση: Από την ανάλυση παραλείπονται τα εδαφικά στοιχεία άμμος, άργιλος και χαλαζίας, είτε λόγω της εξάλειψής τους από τα block models λόγω χωρικών περιορισμών, είτε λόγω συντριπτικά μικρής τους εμφάνισης στο σύνολο των μοντέλων.

Συντελεστής διαπερατότητας

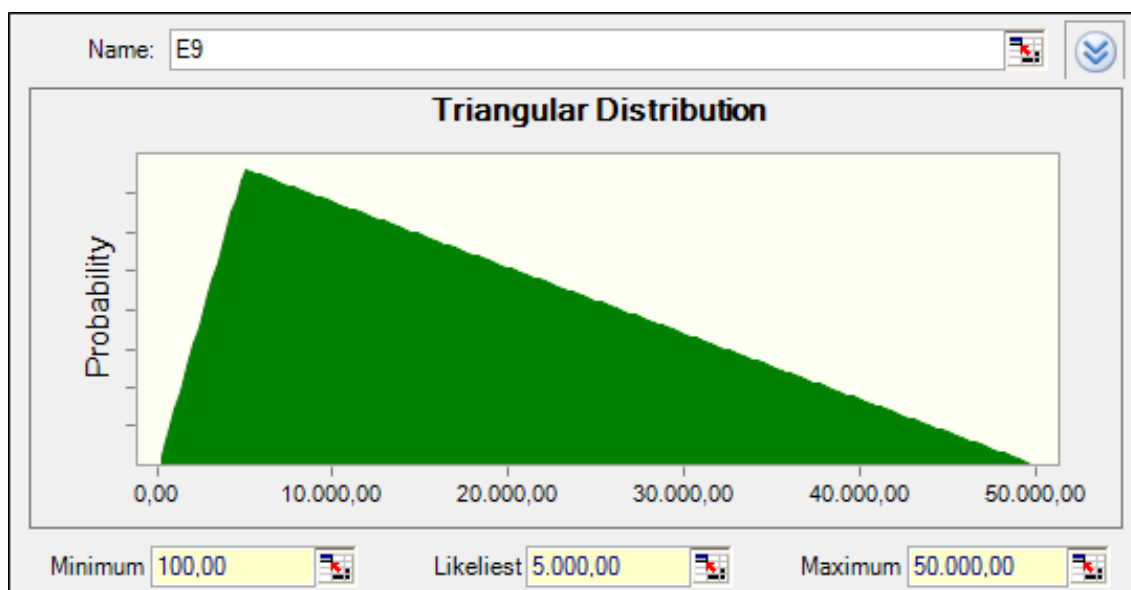
Οι πιθανολογικές κατανομές του συντελεστή διαπερατότητας (Πίνακας 5.2, Διάγραμμα 5.5) δημιουργήθηκαν σύμφωνα με δεδομένα από δοκιμές Maag και Lugeon της Αττικό Μετρό Α.Ε. και της Διεύθυνσης Τεχνικής Γεωλογίας του ΙΓΜΕ. Οι γεωτρήσεις από τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα είναι οι ίδιες που χρησιμοποιήθηκαν και στο στάδιο της μοντελοποίησης.

Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη

Οι πιθανολογικές κατανομές της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη δημιουργήθηκαν (Πίνακας 5.3, Διάγραμμα 5.6) σύμφωνα με δεδομένα από αποτελέσματα βραχομηχανικής της Αττικό Μετρό Α.Ε. και της Διεύθυνσης Τεχνικής Γεωλογίας του ΙΓΜΕ. Οι γεωτρήσεις από τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα είναι οι ίδιες που χρησιμοποιήθηκαν και στο στάδιο της μοντελοποίησης.

Πίνακας 5.2 - Κατανομές συντελεστή διαπερατότητας

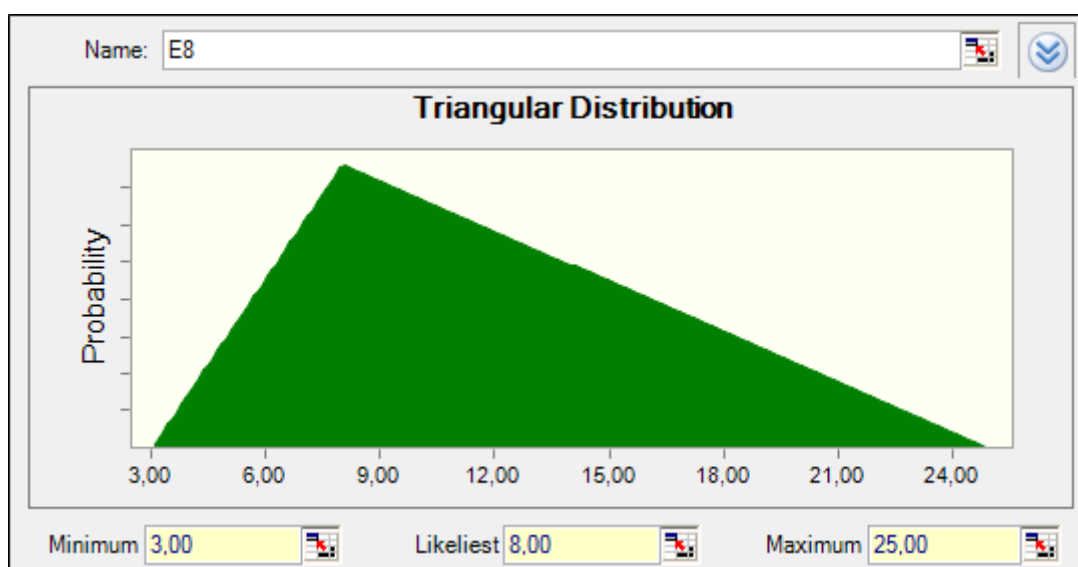
Γεωλογική Ενότητα	Κατανομή (m/sec)
Λατυποπαγές	Triangular ($2,50 \times 10^{-6}$, $3,50 \times 10^{-3}$, $1,25 \times 10^{-5}$)
Κροκαλοπαγές	Triangular ($2,50 \times 10^{-6}$, $3,50 \times 10^{-3}$, $1,25 \times 10^{-5}$)
Ψηφιδοπαγές	Triangular ($1,20 \times 10^{-5}$, $1,00 \times 10^{-3}$, $5,00 \times 10^{-4}$)
Χάλικες	Triangular ($1,00 \times 10^{-4}$, $1,00 \times 10^{-2}$, $1,00 \times 10^{-3}$)
Μεταψαμμίτης	Triangular ($5,00 \times 10^{-6}$, $5,00 \times 10^{-4}$, $5,00 \times 10^{-5}$)
Μεταυλιόλιθος	Triangular ($5,00 \times 10^{-7}$, $5,00 \times 10^{-5}$, $1,00 \times 10^{-5}$)
Σχιστόλιθος	Triangular ($5,00 \times 10^{-7}$, $1,00 \times 10^{-6}$, $1,00 \times 10^{-5}$)
Ασβεστόλιθος	Triangular ($1,00 \times 10^{-5}$, $5,00 \times 10^{-3}$, $5,00 \times 10^{-4}$)



Διάγραμμα 5.6 - Κατανομή διαπερατότητας ασβεστόλιθου (τιμές * 10^7 m/sec) όπως μοντελοποιείται με τη χρήση τριγωνικής κατανομής ($1,00 \times 10^{-5}$, $5,00 \times 10^{-3}$, $5,00 \times 10^{-4}$)

Πίνακας 5.3- Κατανομές μονοαξονικής αντοχής

Γεωλογική Ενότητα	Κατανομή (kPa)
Λατυποπαγές	Triangular (3,00, 25,00, 4,5)
Κροκαλοπαγές	Triangular (4,00, 25,00, 17,5)
Ψηφιδοπαγές	Triangular (4,00, 17,50, 6)
Χάλικες	Triangular (0,00, 15,00, 7)
Μεταψαμμίτης	Triangular (0,00, 39,00, 3)
Μεταλυόλιθος	Exponential (0,00 → 54,00, λ=0,1)
Σχιστόλιθος	Triangular (3,00, 25,00, 8)
Ασβεστόλιθος	Triangular (15,00, 60,00, 30)



Διάγραμμα 5.7 - Κατανομή αντοχής σχιστόλιθου όπως μοντελοποιείται με τη χρήση τριγωνικής κατανομής (3,00, 25,00, 8)

Συντελεστής ευστάθειας μετώπου

Ο τρόπος με τον οποίο προκύπτει η κατανομή των τιμών που λαμβάνει ο Συντελεστής ευστάθειας μετώπου N , είναι μέσω πιθανολογικής προσομοίωσης Monte-Carlo των μεταβλητών c, ϕ , (μεταβλητές εισόδου), για τις οποίες επιλέγονται αρχικές κατανομές πιθανότητας για κάθε γεωλογική ενότητα. Η εφαρμογή του μοντέλου βασίζεται στις παρακάτω εξισώσεις, δηλαδή στην εκτέλεση των πράξεων μεταξύ των κατανομών πιθανοτήτων c, ϕ (Πίνακας 5.4, Διάγραμμα 5.8 και

5.9), και δίνει την τιμή της σ_{cm} . Για την τιμή της σ_v ανά περιοχή υπολογίζεται μία μέση τιμή λαμβάνοντας $\gamma_{average}=24\text{kN/m}^3$ και ένα μέσο ύψος υπερκειμένων. Η μέσες τιμές ύψους υπερκειμένων για τις 6 υποπεριοχές λαμβάνονται από την ανάλυση της εν λόγω παραμέτρου (Πίνακας 5.5). Οι γεωτρήσεις από τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα είναι οι ίδιες που χρησιμοποιήθηκαν και στο στάδιο της μοντελοποίησης.

$$N = \frac{\sigma_s + (\sigma_v - p_a)}{c_u} = \frac{\sigma_s + (\sigma_v - p_a)}{\sigma_{cm}/2} \xrightarrow{\sigma_s=p_a}$$

$$N = \frac{\sigma_v}{\frac{\sigma_{cm}}{2}}$$

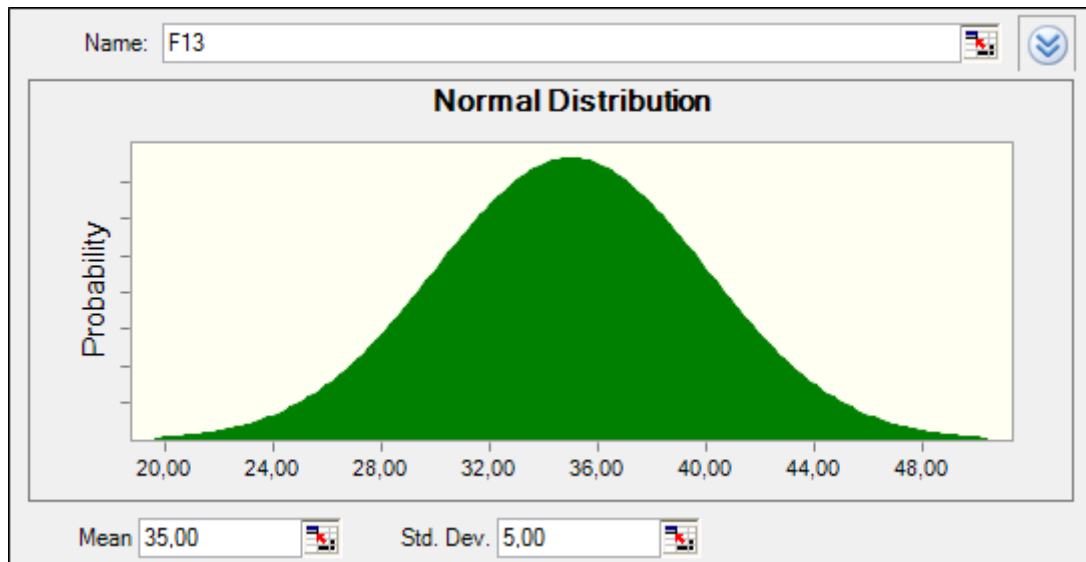
$$\sigma_v = \gamma \cdot H$$

$$\sigma_{cm} = 2 \cdot c \cdot \tan(45 + \varphi/2)$$

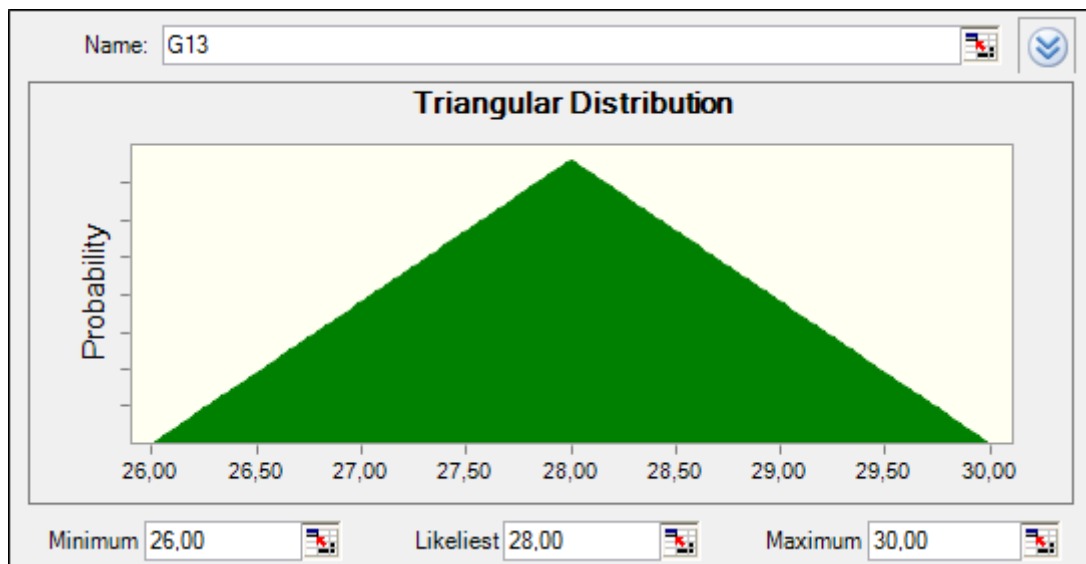
c = συνοχή, φ = γωνία τριβής.

Πίνακας 5.4 - Κατανομές παραγόντων c και φ

Γεωλογική Ενότητα	Κατανομή c (kPa)	Κατανομή φ (ο)
Λατυποπαγές	Normal (75,25)	Triangular (26,29,32)
Κροκαλοπαγές	Triangular (10,50,100)	Triangular (30,32,34)
Ψηφιδοπαγές	Triangular (10,40,80)	Triangular (30,32,34)
Χάλικες	Normal (5,1)	Triangular (28,30,32)
Μεταψαμμίτης	Normal (150,50)	Triangular (30,32,34)
Μεταλυόλιθος	Normal (35,5)	Triangular (26,28,30)
Σχιστόλιθος	Triangular (50,80,100)	Triangular (32,34,34)
Ασβεστόλιθος	Normal (150,20)	Triangular (32,35,38)



Διάγραμμα 5.8 - Κατανομή μεταβλητής c μεταυλιόλιθου όπως μοντελοποιείται με τη χρήση κανονικής κατανομής Normal (35,5).



Διάγραμμα 5.9 - Κατανομή μεταβλητής φ μεταυλιόλιθου όπως μοντελοποιείται με τη χρήση τριγωνικής κατανομής (26,28,30).

Πίνακας 5.5 - - Μέσο ύψος υπερκειμένων/σν ανά υποπεριοχή

areas	H average	σ_v
area1	13,08	313,88
area2	12,22	293,36
area3	11,69	280,6
area4	11,22	269,28
area5	11,47	275,28
area6	12,20	292,8

5.1.5 Βαθμονόμηση των Παραμέτρων Εξέτασης

Η αναγνώριση των παραμέτρων ακολουθείται από την βαθμονόμηση της καθεμίας με τέτοιο τρόπο, ώστε να αντικατοπτρίζει το βαθμό που δρα στην ακολουθούμενη κατασκευαστική πρακτική. Κάτι τέτοιο προφανώς μπορεί να οδηγήσει στην επιλογή διαφορετικών βαθμονομήσεων ανά εξεταζόμενη περίπτωση (object - based approach). Επιπλέον, το εύρος της βαθμονόμησης είναι σε θέση να λαμβάνει διάφορες κλίμακες, για παράδειγμα από -10 έως +10, ή από 0 έως 10, ενώ παράλληλα μπορεί να ακολουθεί μια γραμμική ή όχι συμπεριφορά, στη διαβάθμισή του.

Η βαθμονόμηση που χρησιμοποιείται στα πλαίσια της παρούσας ανάλυσης ακολουθεί μια κλίμακα από το 0 έως το 3, από την χειρότερη προς την καλύτερη περίπτωση. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται ένα γενικό πρότυπο βαθμολόγησης. Επιπρόσθετα, έχει ήδη χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε άλλες αναλύσεις και εφαρμογές (Kaliampakos et al., 1999; Shang et al., 2000; Benardos et al., 2002). Μοναδικό ίσως μειονέκτημα που έχει είναι η όχι και τόσο αυξημένη διακριτική ικανότητα στην εκτίμηση του τελικού αποτελέσματος. Προσφέρει όμως τη δυνατότητα καλύτερης διακριτοποίησης, με την επιλογή ορίων μεγαλύτερου εύρους.

Στην εκτίμηση της διαβάθμισης και των ορίων μεταξύ των κλάσεων των παραμέτρων ανάλυσης, χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικές προσεγγίσεις.

- Σύμφωνα με την πρώτη, μπορεί να γίνει από την αρχή ο καθορισμός απόλυτων ορίων τα οποία έχουν μια ιδιαίτερη σημασία για την εκτελούμενη ανάλυση (π.χ. τιμές RQD).

- Αντίστοιχα, η δεύτερη προτείνει την αρχική προκαταρκτική διαπίστωση της κατανομής των τιμών της κάθε παραμέτρου και στη συνέχεια την οριοθέτηση των διαφορετικών κλάσεων τους (π.χ. βάθος κατασκευής). Πλεονέκτημα της πρώτης μεθόδου είναι η άμεση εφαρμογή της, ενώ πλεονέκτημα της δεύτερης, είναι ότι είναι σε θέση να διαμορφωθεί κατάλληλα ώστε να επιδεικνύει μεγαλύτερη ευαισθησία στις διαφοροποιήσεις και ιδιαιτερότητες της περιοχής κατασκευής.

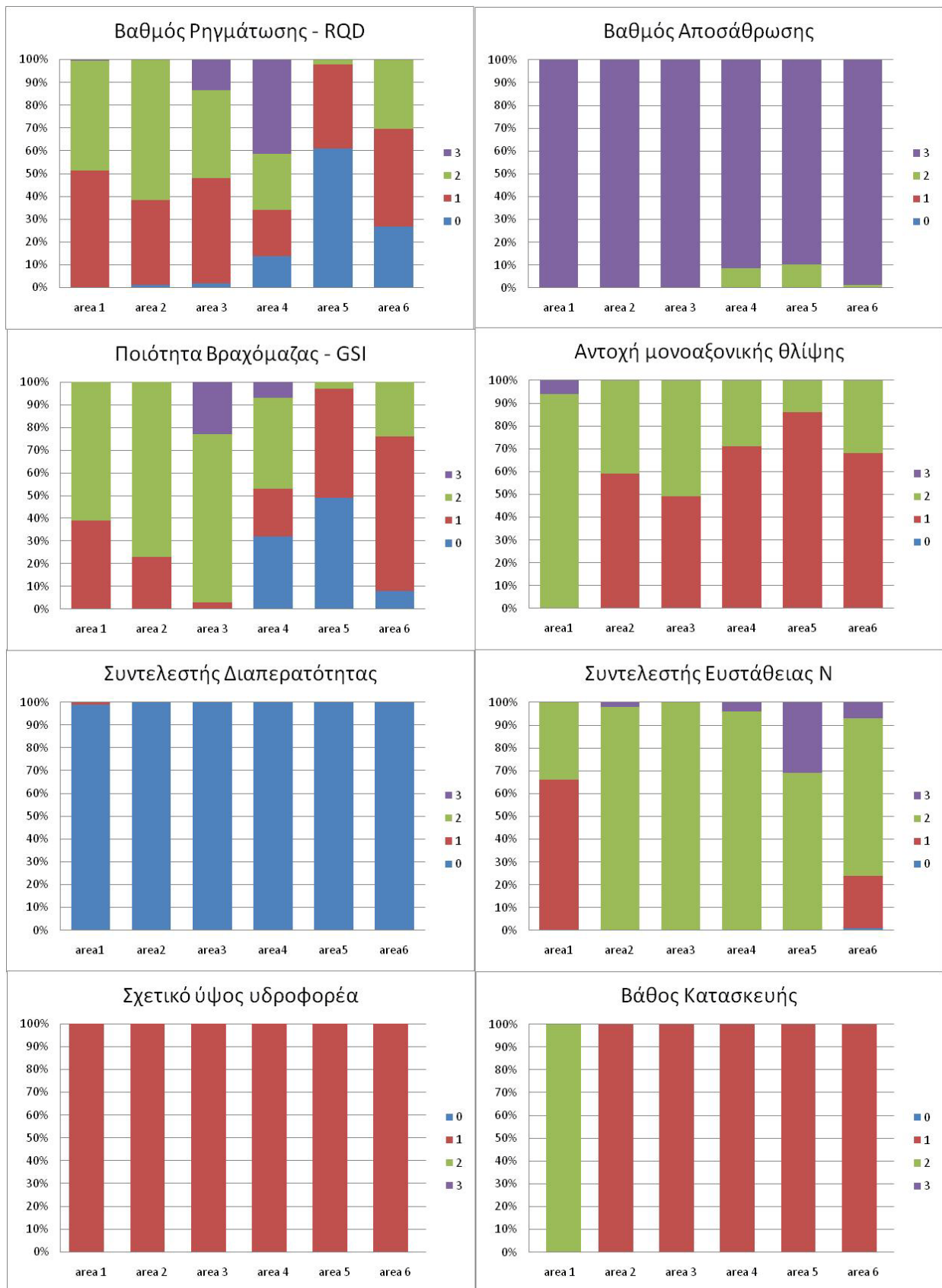
Η βαθμονόμηση των κλάσεων των παραμέτρων πρέπει να αντανakλά και να αποδίδει τις πραγματικές διαστάσεις που η διαφοροποίηση των τιμών προκαλεί στο έργο. Είναι αναγκαίο έτσι να γίνεται με γνώμονα τις συνθήκες που επικρατούν αλλά και τις κατασκευαστικές πρακτικές που ακολουθούνται. Στην περίπτωση του μεσοδιαστήματος που εξετάζεται, αλλά και για το σύνολο του έργου του Μετρό Αθηνών χρειάζεται να ληφθεί υπ' όψη ότι η σήραγγα κατασκευάζεται σε μικρό βάθος από την επιφάνεια, εντός μαλακών σχηματισμών. Έτσι, χρειάζεται να γίνει η αντίστοιχη προσαρμογή της βαθμονόμησης στις συγκεκριμένες συνθήκες. Επίσης, η βαθμονόμηση αντανakλά τον τρόπο κατασκευής της σήραγγας με συμβατικά μέσα (μέθοδος NATM). Ο τρόπος βαθμονόμησης των επιλεγμένων παραμέτρων που προτείνεται από την παρούσα εξέταση, δίνεται αναλυτικά στον Πίνακα 5.6.

Όπως φαίνεται, έχει δοθεί βαρύτητα στις χαμηλότερες τιμές που εμφανίζουν οι παράμετροι, σε μια προσπάθεια να καλυφθούν επαρκώς οι πραγματικά πιο δυσμενείς συνθήκες που θα αντιμετωπιστούν κατά την όρυξη. Αντίστοιχα, όλο το εύρος της κλίμακας βρίσκεται μετατοπισμένο «προς τα κάτω», έτσι ώστε να αυξηθεί η ευαισθησία που επιδεικνύει η βαθμονόμηση καθώς υψηλές τιμές των παραμέτρων μάλλον εκλείπουν στις εν γένει συνθήκες του υπεδάφους.

Στην Εικόνα 5.4 εμφανίζονται τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης συγκεντρωτικά:

Πίνακας 5.6- Προτεινόμενη βαθμονόμηση των παραμέτρων εξέτασης που συμμετέχουν στην ανάλυση τρωτότητας

Βαθμός Ρηγμάτωσης - RQD		Συντελεστής Διαπερατότητας (m/sec)	
Τιμή	Βαθμολογία	Τιμή	Βαθμολογία
0-10	0	$>10^{-3}$	0
10-30	1	$5 \cdot 10^{-4} - 10^{-3}$	1
30-60	2	$10^{-7} - 5 \cdot 10^{-4}$	2
60-100	3	$<10^{-7}$	3
Συντελεστής Ευστάθειας N		Βάθος Κατασκευής	
Τιμή	Βαθμολογία	Τιμή	Βαθμολογία
>5	0	<7,5	0
3-5	1	7,5-12,5	1
1,5-3	2	12,5-17,5	2
<1,5	3	>17,5	3
Σχετικό ύψος υδροφορέα		Ποιότητα Βραχώμαζας - GSI	
Τιμή	Βαθμολογία	Τιμή	Βαθμολογία
>10	0	0-30	0
5-10	1	30-40	1
0-5	2	40-60	2
>0	3	60-100	3
Αντοχή μονοαξονικής θλίψης (Μρα)		Βαθμός Αποσάθρωσης	
Τιμή	Βαθμολογία	Τιμή	Βαθμολογία
0-2	0	I-I/II	0
2-15	1	II-II/III	1
15-40	2	III-IV	2
>40	3	IV/V-VI	3



Εικόνα 5.4 - Κατανομές βαθμονόμησης παραμέτρων στις υποπεριοχές εξέτασης

Διακρίνονται οι τέσσερις κατηγορίες βαθμονόμησης από 0 έως 3 για κάθε παράμετρο και πως διαμορφώνεται η κατανομή τους σε κάθε υποπεριοχή εξέτασης. Παρατηρείται η διαφοροποίηση συγκεκριμένων παραμέτρων μεταξύ των υποπεριοχών η οποία κυμαίνεται από μεγάλη (GSI) έως πρακτικά μηδενική (Σχετικό ύψος υδροφορέα)

5.1.6 Συνθετική Εκτίμηση Επίδρασης Παραμέτρων - Προσέγγιση Rock Engineering Systems

Η εμπλοκή περισσότερων από ένα παράγοντα στην ανάλυση μιας κατάστασης, θέτει αρκετές δυσκολίες στην αναγνώριση της βαρύτητας του καθενός στο τελικό αποτέλεσμα. Χρειάζεται, όχι μόνο να εκτιμηθεί η συμπεριφορά του καθένα ξεχωριστά, αλλά και να εξεταστούν οι πιθανές αλληλεπιδράσεις που υπάρχουν μεταξύ τους, καθώς κάτι τέτοιο μπορεί να μεταβάλλει σημαντικά το τελικό αποτέλεσμα.

Όπως αναφέρει ο Benardos (2004) μέχρι σήμερα οι κυριότερες ταξινομήσεις που προσπαθούν να περιγράψουν τη βραχώμαζα, (μέθοδοι RMR, Q) χρησιμοποιούν μια άμεσου τύπου κατάταξη, χωρίς να εξετάζουν τις αλληλεπιδράσεις και κρυμμένες συνδέσεις που υπάρχουν μεταξύ των παραμέτρων. Για το λόγο αυτό, υιοθετείται μια διαφορετική προσέγγιση στα πλαίσια της παρούσας ανάλυσης, αυτή της μεθόδου των Rock Engineering Systems - RES (Hudson, 1991; 1992), η οποία προσπαθεί να λάβει υπ' όψη και να συγκεράσει όλους τους εμπλεκόμενους παράγοντες του γεωλογικού μέσου. Η μέθοδος επικεντρώνεται στην εκτίμηση των αλληλεπιδράσεων που συμβαίνουν μεταξύ των παραμέτρων, με τη θεώρηση ενός δυναμικού συστήματος σύνδεσής τους. Ίσως πιο σημαντικό στοιχείο είναι ότι, πρόκειται για μια ευέλικτη μέθοδο, ικανή να προσαρμοστεί στις ιδιαίτερες και εκάστοτε ανάγκες του έργου (objective-based method), όπως ήδη η πρακτική εφαρμογή της έχει αποδείξει, σε περιπτώσεις ανάλυσης ευστάθειας εκσκαφών (Lu, 1993), πρυνών (Canselli, 1993), (Mazzoccola, 1996), αλλά και εξορυξιμότητας (Latham, 1999).

Η υλοποίηση της συγκεκριμένης μεθοδολογίας γίνεται μέσω του πίνακα αλληλεπίδρασης (interaction matrix), ο οποίος λειτουργεί τόσο ως το βασικό εργαλείο ανάλυσης όσο και ως μια τεχνική παρουσίασης των παραμέτρων ανάλυσης και των διεργασιών που συμβαίνουν μεταξύ τους. Οι κύριες παράμετροι εξέτασης βρίσκονται τοποθετημένες κατά την κύρια διαγώνιο του, ενώ οι μηχανισμοί αλληλεπίδρασης εισάγονται στις μη διαγώνιες θέσεις του πίνακα (Εικόνα 5.5 (α)). Η βαθμολόγηση των μη διαγώνιων θέσεων περιγράφει το βαθμό επίδρασης που έχει η μια παράμετρος πάνω στην άλλη, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.5 (β) στο οποίο παρουσιάζεται η πιο

απλή μορφή πίνακα αλληλεπίδρασης, με δύο μόνο κύριες παραμέτρους, τις ασυνέχειες και το τασικό πεδίο. Σύμφωνα με το παράδειγμα αυτό, οι ασυνέχειες επιδρούν πάνω στο τασικό πεδίο μεταβάλλοντας τη διεύθυνσή του, ενώ αντίστοιχα, το τασικό πεδίο επιδρά στην κατάσταση των ασυνεχειών, με τη μεταβολή του ανοίγματός τους.



Εικόνα 5.5 - (α). Αρχή λειτουργίας του πίνακα αλληλεπίδρασης, και (β). εξέταση της αλληλεπίδρασης (Hudson, 1991; 1992).

Η διακριτική ικανότητα του πίνακα αλληλεπίδρασης μπορεί να αυξηθεί, αν κάτι τέτοιο είναι επιθυμητό. Για παράδειγμα, η κατάσταση των ασυνεχειών από έναν μόνο παράγοντα εξέτασης, αναλύεται περαιτέρω σε αυτούς που περιγράφουν το άνοιγμά των ασυνεχειών, το υλικό πλήρωσης τους, το πόσο επίμονες είναι καθώς και την τραχύτητα των επιφανειών τους.

Η βαθμονόμηση των κελιών αλληλεπίδρασης (μη διαγωνίων θέσεων) και επομένως η συμπλήρωση του πίνακα αλληλεπίδρασης είναι δυνατόν να γίνει με διάφορους τρόπους. Ο Hudson (1992) περιγράφει 5 συνολικά μεθόδους, ξεκινώντας από την πιο απλή δυαδική (binary) προσέγγιση, κατά την οποία, είτε υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των παραμέτρων είτε όχι (1: αλληλεπίδραση, 0: καμία αλληλεπίδραση), έως την πλήρη αναλυτική ή υπολογιστική λύση, που περιλαμβάνει την ακριβή μαθηματική μοντελοποίηση της αλληλεπίδρασης. Είναι προφανές ότι, όσο πιο ακριβής είναι η βαθμονόμηση των αλληλεπιδράσεων τόσο πιο καλή θα είναι η προσέγγιση που θα επιτυγχάνει το σύστημα στο επιδιωκόμενο αποτέλεσμα. Κάτι τέτοιο όμως προϋποθέτει την εφαρμογή πλήρους αναλυτικών λύσεων, οι οποίες πολλές φορές δεν γίνεται να αποδοθούν, καθώς δεν υπάρχει η γνώση ή τα απαραίτητα δεδομένα ώστε να περιγραφούν με

αρκετή βεβαιότητα όλες οι αλληλεπιδράσεις. Επιπλέον δε, η ανάγκη για μια κοινή βάση περιγραφής οδήγησε τον Hudson να προτείνει, αλλά και να ακολουθηθεί στις περισσότερες περιπτώσεις από τους ερευνητές, μια ημι-ποιοτική ταξινόμηση βασισμένη στη γνώμη ειδικών (expert semi-qualitative coding - ESQ coding), η βαθμονόμηση της οποίας φαίνεται στον Πίνακα 5.7.

Πίνακας 5.7 - Προτεινόμενη ημι-ποιοτική μέθοδος βαθμονόμησης (expert semi-qualitative coding) (Hudson, 1991; 1992)

Βαθμολόγηση	Περιγραφή
0	Καμία
1	Ασθενής
2	Ενδιάμεση
3	Ισχυρή
4	κρίσιμη

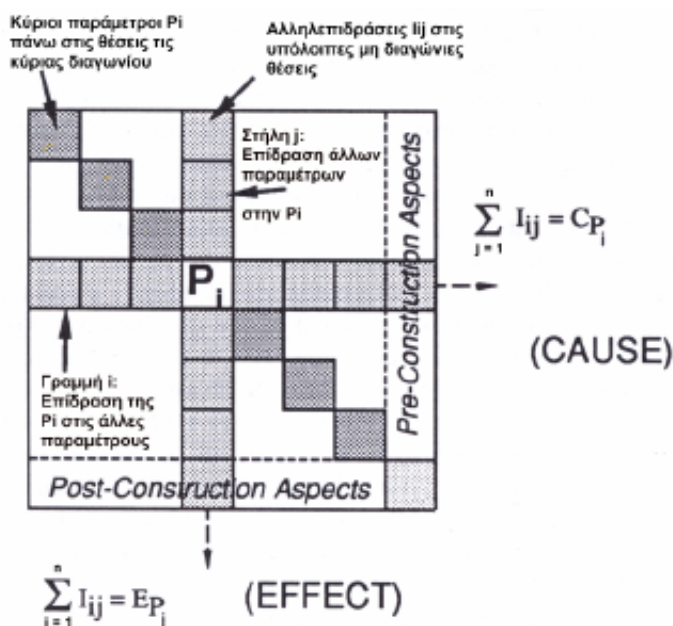
Η γενική παρουσίαση του τρόπου βαθμονόμησης ενός πίνακα φαίνεται στην Εικόνα 5.6. Η γραμμή που περνά από την παράμετρο P_i , αντιπροσωπεύει την επίδραση της συγκεκριμένης παραμέτρου πάνω στις υπόλοιπες παραμέτρους του συστήματος, ενώ η στήλη που περνά από την παράμετρο P_i , αντιπροσωπεύει την επίδραση του συστήματος ή των υπολοίπων παραμέτρων πάνω στην P_i . Μετά τη βαθμονόμηση του πίνακα, είναι δυνατόν να υπολογιστεί το άθροισμα κάθε γραμμής και κάθε στήλης, τα οποία περιγράφονται ως η αιτία (cause - C) και το αποτέλεσμα (effect - F) κάθε παραμέτρου, αντίστοιχα. Είναι λοιπόν,

$$\sum_{j=1}^n I_{ij} = C_{Pi}$$

και

$$\sum_{i=1}^n I_{ij} = E_{Pj}$$

όπου το I_{ij} εκφράζει τη βαθμονόμηση της αλληλεπίδρασης των παραμέτρων στην i -οστή γραμμή και j -οστή στήλη πίνακα, ο οποίος αποτελείται από n αριθμό παραμέτρων.

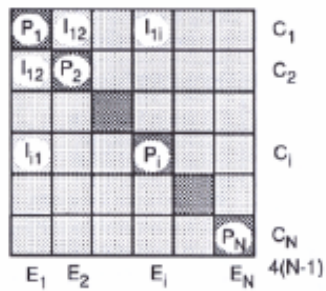


Εικόνα 5.6 - Γενική παρουσίαση του πίνακα αλληλεπίδρασης. (Benardos et al. 2004).

Τα συγκεκριμένα αθροίσματα για κάθε παράμετρο, μπορούν να περιγραφούν ως συντεταγμένες (C, E) και να αποδοθούν γραφικά στον αντίστοιχο χώρο Cause - Effect (Εικόνα 5.6) σχηματίζοντας τον «αστερισμό» (constellation) του συγκεκριμένου πίνακα αλληλεπίδρασης. Το κέντρο βάρους αστερισμού που προκύπτει, βρίσκεται πάντα πάνω στη διαγώνιο $C=E$ και υπολογίζεται ως:

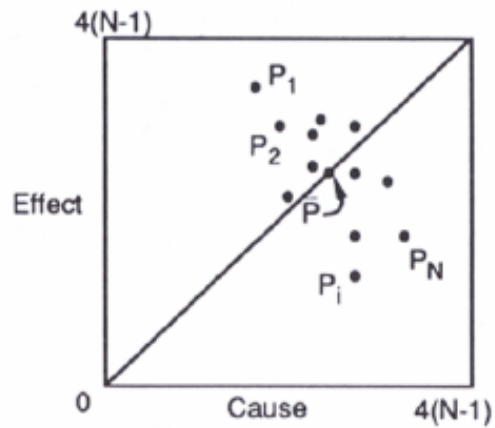
$$\bar{P} = (\bar{C}, \bar{E}) = \left(\sum I_{ij} / n, \sum I_{ij} / n \right)$$

Η σχετική θέση των παραμέτρων στο χώρο C-E, μπορεί να προσδιορίσει τον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρεται η κάθε παράμετρος. Έτσι, ο παράγοντας με την μεγαλύτερη αλληλεπίδραση (most interactive) είναι αυτός που εμφανίζει την υψηλότερη τιμή (C+E), ενώ αντίθετα, η μικρότερη αλληλεπίδραση (least interactive) στο σύστημα, δίνεται από την παράμετρο που εμφανίζει τη μικρότερη τιμή (C+E). Αντίστοιχα, η παράμετρος με την υψηλότερη τιμή (C-E), χαρακτηρίζεται ως η πλέον κυρίαρχος (most dominant), δηλαδή επηρεάζει το σύστημα πολύ περισσότερο από ότι επηρεάζεται από αυτό, ενώ η παράμετρος με την μικρότερη τιμή (C-E), θεωρείται ότι είναι αυτή που υφίσταται την μεγαλύτερη επίδραση (most subordinate) (Εικόνα 5.7).



Παράμετροι ανάλυσης:
 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$

Αλληλεπίδραση παραμέτρων:
 $I_{ij} = (0, 1, 2, 3, 4)$



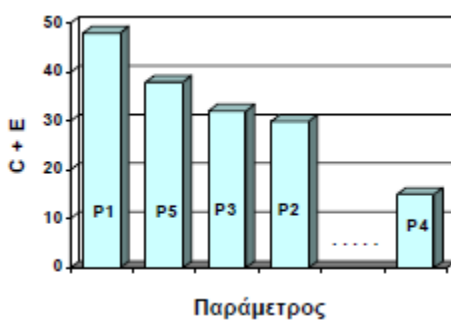
Εικόνα 5.7 - Χώρος C-E. Παρουσίαση του κέντρου βάρους και του «αστερισμού» των παραμέτρων του (Benardos et al. 2004).

Μετά από την κατασκευή του γραφήματος και τον προσδιορισμό της τιμής (C+E), μπορεί να υπολογιστεί η σχετική βαρύτητα (weighting) κάθε παραμέτρου στο σύστημα (Εικόνα 5.8) και να εξαχθεί η τελική τιμή ταξινόμησης της βραχώμαζας (rock classification index), ως γραμμικός συνδυασμός της μορφής:

$$RCI = \sum_{i=1}^n e_i \cdot P_i, \text{ όπου}$$

e_i : η σχετική βαρύτητα της i -οστής παραμέτρου (P_i), όπως προκύπτει από τις τιμές C_i+E_i

P_i : η τιμή της παραμέτρου, όπως προκύπτει από τις δοκιμές και μετρήσεις



$$RCI = aP_1 + bP_5 + cP_3 + dP_2 + \dots$$

Οι παράμετροι a, b, c, \dots
 υπολογίζονται από την
 εκτίμηση της τιμής $C + E$

Οι τιμές των παραμέτρων
 P_i υπολογίζονται από δοκιμές
 και μετρήσεις

Εικόνα 5.8 - Υπολογισμός της βαρύτητας κάθε παραμέτρου στο σύστημα (Benardos et al. 2004).

Αν και η βασική μορφή της φιλοσοφίας των RES που παρουσιάστηκε χρησιμοποιείται ευρέως, έχουν γίνει προσπάθειες για την βελτίωση των αλληλοσυσχετίσεων μεταξύ των μεταβλητών, όπως για παράδειγμα από τον Jiao et al. (1995), ο οποίος ανέπτυξε το πλήρες συζευγμένο μοντέλο του πίνακα αλληλεπίδρασης (Fully coupled model).

5.1.7 Υπολογισμός της βαρύτητας των παραμέτρων

Η βαρύτητα που έχει κάθε παράμετρος στο τελικό αποτέλεσμα, υπολογίζεται σύμφωνα με την αρχή των Rock Engineering Systems - RES. Για το σκοπό αυτό κατασκευάζεται ο πίνακας αλληλεπίδρασης (Πίνακας 5.8) μεταξύ των εμπλεκόμενων παραμέτρων και στη συνέχεια πραγματοποιείται η βαθμονόμηση της μεταξύ τους επιρροής, υιοθετώντας την τεχνική ESQ (expert semi-qualitative coding).

Πίνακας 5.8 - Πίνακας αλληλεπίδρασης για την ανάλυση της τρωτότητας του γεωλογικού μέσου.

Ασυνέχειες RQD	4	1	4	1	1	4	3	C a u s e
2	Αποσάθρωση	1	4	4	1	2	4	
3	1	Συντελεστής Ευστάθειας	2	2	3	0	2	
1	2	2	Ποιότητα Βραχώμαζας GSI	3	0	2	4	
3	1	3	4	Αντοχή Πετρώματος	2	0	1	
3	1	4	2	1	Βάθος Κατασκευής	3	1	
4	4	2	4	3	1	Υδρογεωλογικές Συνθήκες	2	
1	2	3	2	1	0	3	Διαπερατότητα	
Effect								

Με βάση τον πίνακα αλληλεπίδρασης δίνονται οι πληροφορίες που αφορούν στη βαρύτητα, αλλά και αναγνωρίζεται ο τρόπος που οι παράμετροι επιδρούν στο σύστημα και αντίστροφα, δηλαδή το πώς το σύστημα επιδρά πάνω στην κάθε παράμετρο. Στον Πίνακα 5.9 παρουσιάζονται αναλυτικά οι συνολικές τιμές Cause, Effect των παραμέτρων, παράλληλα με τις τιμές (C+E) και (C-E).

Πίνακας 5.9 - Υπολογισμός των χαρακτηριστικών τιμών των παραμέτρων, όπως προκύπτουν από τον πίνακα αλληλεπίδρασης.

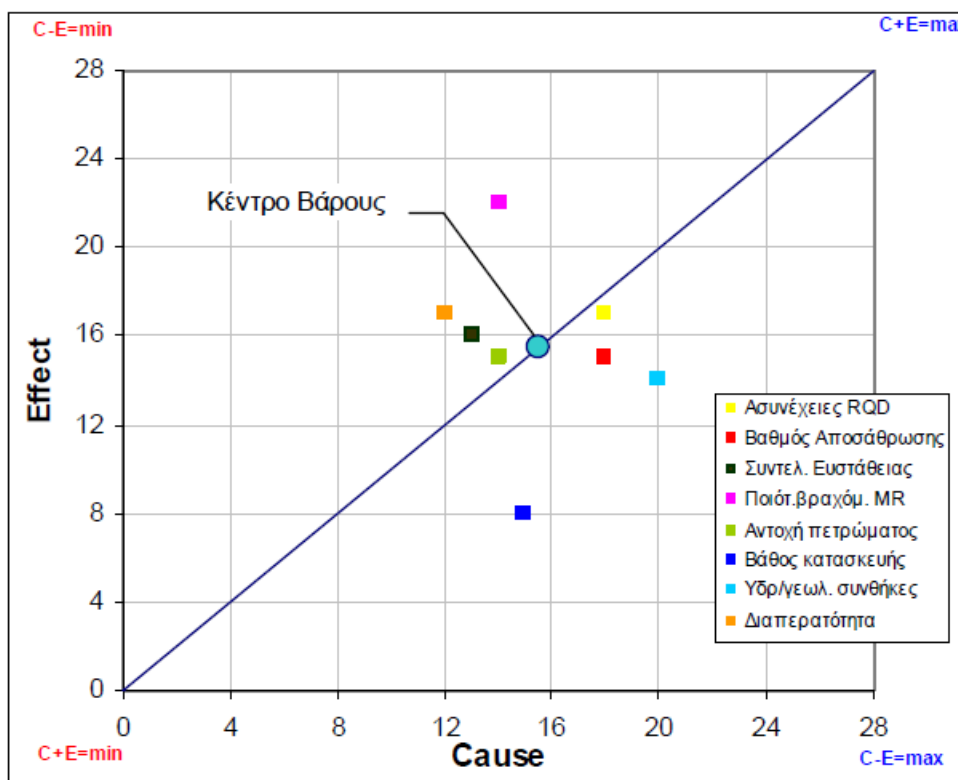
Παράμετρος	Cause	Effect	C+E	C-E
Ασυνέχειες RQD	18	17	35	1
Αποσάθρωση	18	15	33	3
Συντελεστής Ευστάθειας	13	16	29	-3
Ποιότητα Βραχόμαζας GSI	14	22	36	-8
Αντοχή Πετρώματος	14	15	29	-1
Βάθος Κατασκευής	15	8	23	7
Υδρογεωλογικές Συνθήκες	20	14	34	6
Διαπερατότητα	12	17	29	-5

Με βάση τις τιμές αλληλεπίδρασης, δημιουργείται η κατανομή των θέσεων των παραμέτρων εντός του χώρου παρουσίας C-E, όπως φαίνονται στο Σχήμα 5.1. Οι παράμετροι διατάσσονται σχετικά κάθετα ως προς την διαγώνιο C=E. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι εμφανίζουν μικρή διασπορά όσον αφορά στην ένταση της αλληλεπίδρασής (interaction intensity) τους στο σύστημα, ενώ αντίθετα η διασπορά της κυριαρχίας τους (dominance) είναι αρκετά σημαντική. Αν και σύμφωνα με τον Hudson στις περισσότερες περιπτώσεις είναι δυνατόν να γίνει η επιλογή των πιο σημαντικών παραμέτρων για να εκτιμηθεί η τελική ταξινόμηση, ο συγκεκριμένος τύπος συμπεριφοράς που εμφανίζει το σύστημα υποδεικνύει ότι, για το συγκεκριμένο έργο είναι απαραίτητο να συνυπολογιστεί το σύνολο των εμπλεκόμενων παραμέτρων. Στο Διάγραμμα 5.10 παρουσιάζεται το ιστόγραμμα των τιμών (C+E) για κάθε παράμετρο, το οποίο δίνει και τη σχετική βαρύτητα της κάθε παραμέτρου στο σύστημα αξιολόγησης.

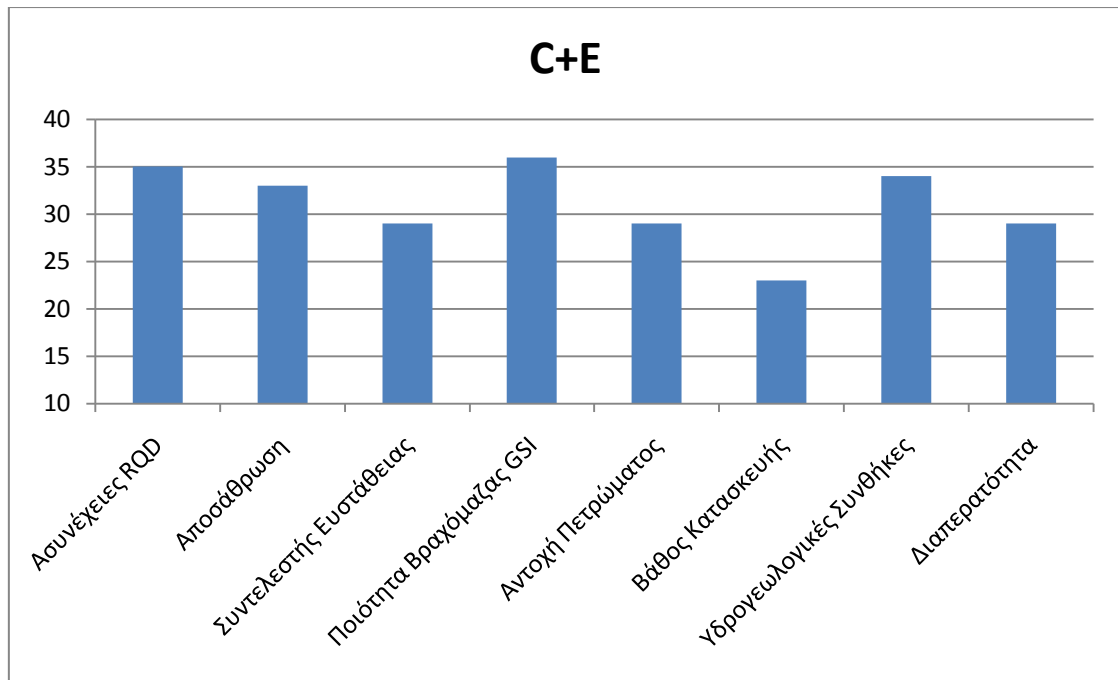
Οι παρατηρήσεις για το συγκεκριμένο σύστημα, είναι:

- Οι παράγοντες που αλληλεπιδρούν περισσότερο στο σύστημα (most interactive) είναι η ποιότητα βραχόμαζας, ο βαθμός ρηγμάτωσης και οι υδρογεωλογικές συνθήκες.
- Ο παράγοντας που αλληλεπιδρά λιγότερο στο σύστημα (least interactive) είναι το βάθος κατασκευής.

- Οι παράγοντες που κυριαρχούν στο σύστημα (most dominant), δηλαδή επηρεάζουν το σύστημα πολύ περισσότερο από ότι επηρεάζονται από αυτό, είναι το βάθος και οι υδρογεωλογικές συνθήκες.
- Οι παράγοντες που επηρεάζονται περισσότερο από το σύστημα (most subordinate) είναι η ποιότητα βραχώμαζας και η διαπερατότητα.



Σχήμα 5.1 – Παρουσίαση του «αστερισμού» των παραμέτρων του συστήματος για το Μετρό των Αθηνών



Διάγραμμα 5.10 - Ιστόγραμμα των τιμών της συνολικής επίδρασης (C+E) των παραμέτρων στο σύστημα

Οι βαρύτητες των παραμέτρων, υπολογίζονται από το γνωστό τύπο:

$$\alpha_i = \frac{C_i + E_i}{\sum_i C_i + \sum_i E_i} \cdot \frac{100}{max\ value}$$

όπου α_i η βαρύτητα της i -οστής παραμέτρου.

Ο συντελεστής max_{value} χρησιμοποιείται έτσι ώστε να υπάρξει μια κλίμακα τελικής κατάταξης της τρωτότητας από το 0 έως το 100, δηλαδή να υπάρξει η κανονικοποίηση των τελικών τιμών. Για τη συγκεκριμένη περίπτωση, η τιμή του είναι ίση με 3 ($max_{value} = 3$). Αν ο όρος αυτός δεν είχε συμπεριληφθεί στην ανάλυση, οι τιμές που θα προέκυπταν τελικά, θα ήταν σε μια κλίμακα με εύρος από το 0 έως το 300. Οι τιμές βαρύτητας των παραμέτρων που προκύπτουν από την εφαρμογή του τύπου, παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα 5.10.

Πίνακας 5.10 - Συντελεστές βαρύτητας των παραμέτρων εξέτασης.

Παράμετρος	%	α _i
Ασυνέχειες RQD	14,11	4,704
Αποσάθρωση	13,31	4,435
Συντελεστής Ευστάθειας	11,69	3,898
Ποιότητα Βραχώμαζας GSI	14,52	4,839
Αντοχή Πετρώματος	11,69	3,898
Βάθος Κατασκευής	9,27	3,091
Υδρογεωλογικές Συνθήκες	13,71	4,57
Διαπερατότητα	11,69	3,898

5.1.8 Εκτίμηση της τρωτότητας των υπό εξέταση περιοχών

Τα αποτελέσματα των πιθανολογικών αναλύσεων των βαθμονομημένων πλέον μεταβλητών ανά περιοχή εξέτασης χρησιμοποιούνται για την τελική φάση της μεθοδολογίας κατά την οποία γίνεται πιθανολογική προσομοίωση ώστε να προκύψουν οι τιμές του δείκτη τρωτότητας για τις εν λόγω περιοχές ανάλυσης.

Ο τύπος που μας δίνει τον δείκτη τρωτότητας για κάθε περιοχή είναι:

$$W = 100 - \sum_{i=1}^n a_i P_i$$

Όπου,

α_i = η βαρύτητα της i-οστής παραμέτρου στο σύστημα

P_i = η τιμή της i-οστής παραμέτρου

Με τον τρόπο αυτό, ο δείκτης υπολογίζει το συνδυασμένο αθροιστικό αποτέλεσμα των παραμέτρων, σε μια κλίμακα από 0 έως 100, και αυξάνεται καθώς οι συνθήκες μεταβαίνουν από τις ευνοϊκότερες προς δυσμενέστερες.

Δίνεται επίσης η δυνατότητα να εκτιμηθεί σε ποιες περιοχές υπάρχει αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης συγκεκριμένων ανεπιθύμητων συμβάντων, όπως αυτά έχουν ήδη οριστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

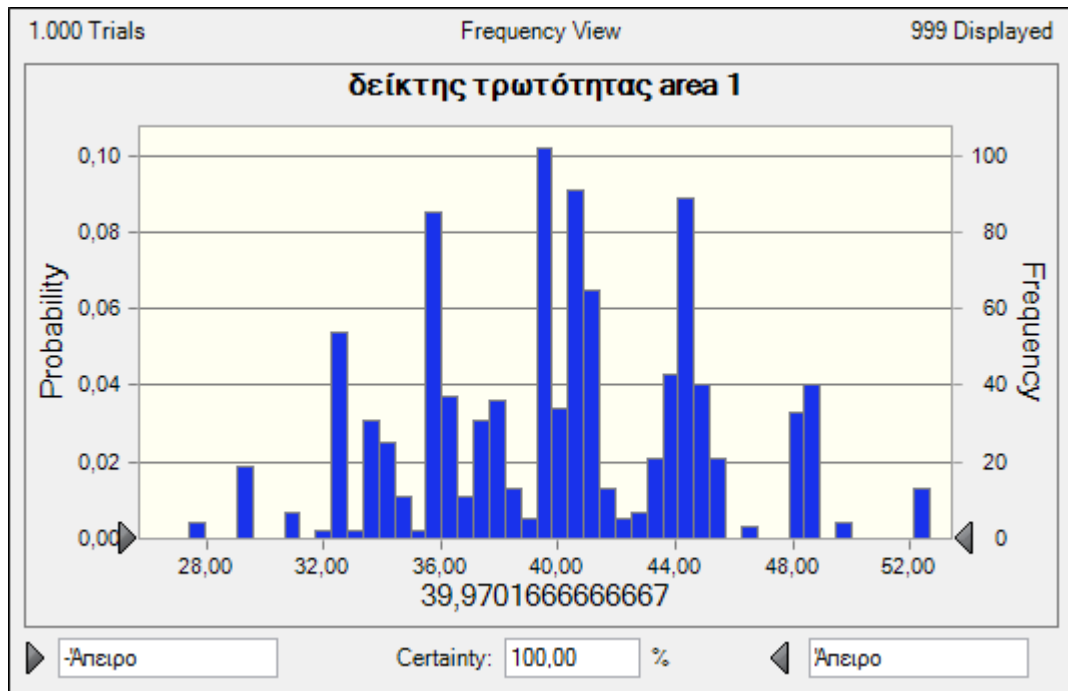
5.2 Αποτελέσματα πιθανολογικής ανάλυσης

Η μορφή των διαγραμμάτων (Εικόνες 5.9 έως 5.14) παρουσιάζει αυτή τη διακριτή μορφή, ακριβώς εξ' αιτίας της εισαγωγής διακριτών τιμών πιθανότητας. Παρ' όλα αυτά, όμως, το τελικό αποτέλεσμα είναι άμεσα κατανοητό και μπορεί να προσφέρει τις αναγκαίες πληροφορίες για την πλήρη εκτίμηση του τρόπου μεταβολής του δείκτη τρωτότητας. Κάτι τέτοιο, γίνεται καλύτερα αντιληπτό στην Εικόνα 5.15, στο οποίο παρουσιάζονται οι τιμές που λαμβάνει ο δείκτης για το σύνολο των περιοχών που εξετάστηκαν. Στο συγκεκριμένο σχήμα δίνονται επιπλέον τα ποσοστά βεβαιότητας, για το αντίστοιχο εύρος των τιμών του δείκτη τρωτότητας, με βάση τη μέση τιμή του και μετά από τη διάκριση τριών βασικών κλάσεων, αυτές των 25%, 50% και 90%. Όπως είναι προφανές, υπάρχει μια αντιστρόφως ανάλογη σχέση μεταξύ του εύρους που εμφανίζουν οι τιμές του δείκτη και της βεβαιότητας.

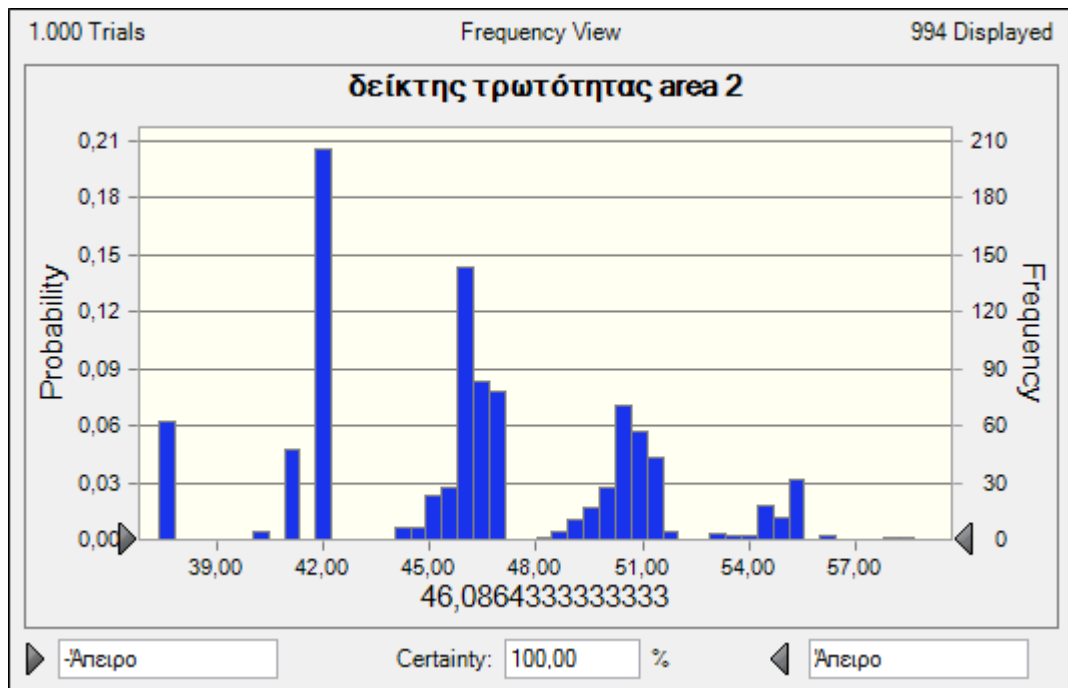
Συνεπώς, το εύρος των τιμών περιορίζεται με την αύξηση του ποσοστού βεβαιότητας και αντίστροφα. Για παράδειγμα, για την περιοχή 4 υπολογίζεται, ότι:

- με βεβαιότητα 90%, η τιμή του δείκτη λαμβάνει τιμές από 41 έως 63,
- με βεβαιότητα 50%, η τιμή του δείκτη λαμβάνει τιμές από 46 έως 58,
- με βεβαιότητα 25%, η τιμή του δείκτη λαμβάνει τιμές από 50 έως 54,
- με βεβαιότητα 10%, η τιμή του δείκτη λαμβάνει τιμές από 52 έως 53,6

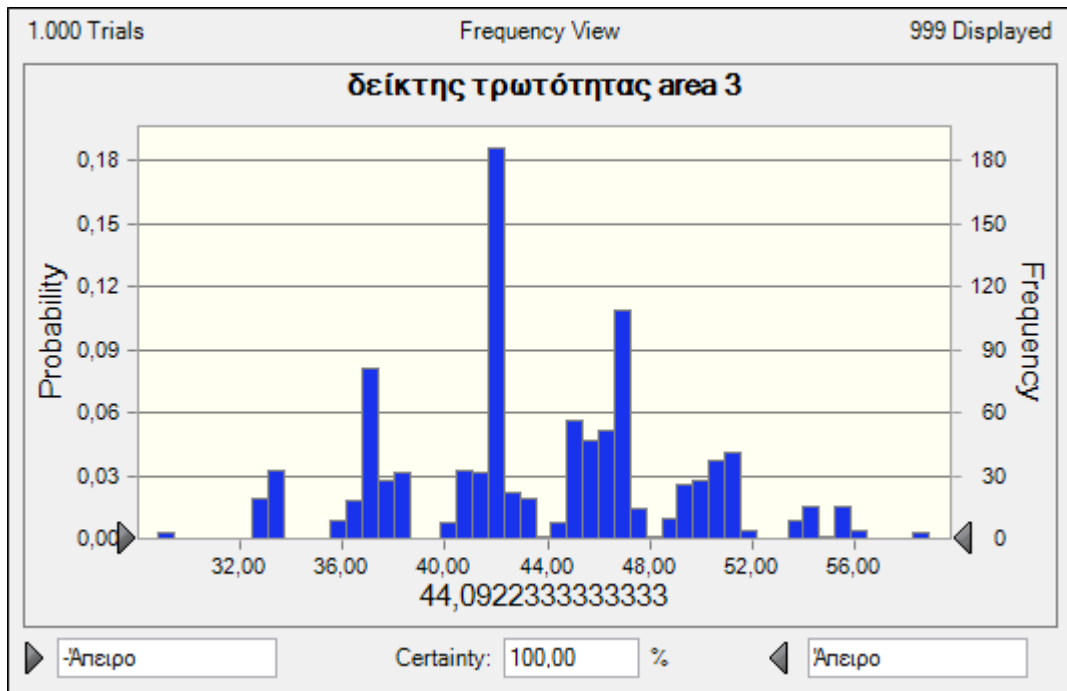
Στον Πίνακα 5.11 εμφανίζονται συγκεντρωτικά όλα τα στατιστικά στοιχεία που σχετίζονται με το δείκτη τρωτότητας κάθε υποπεριοχής μελέτης, ενώ στην εικόνα 5.16 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αντίστοιχα ιστογράμματα από την εκτέλεση 1000 επαναλήψεων της πιθανολογικής προσομοίωσης.



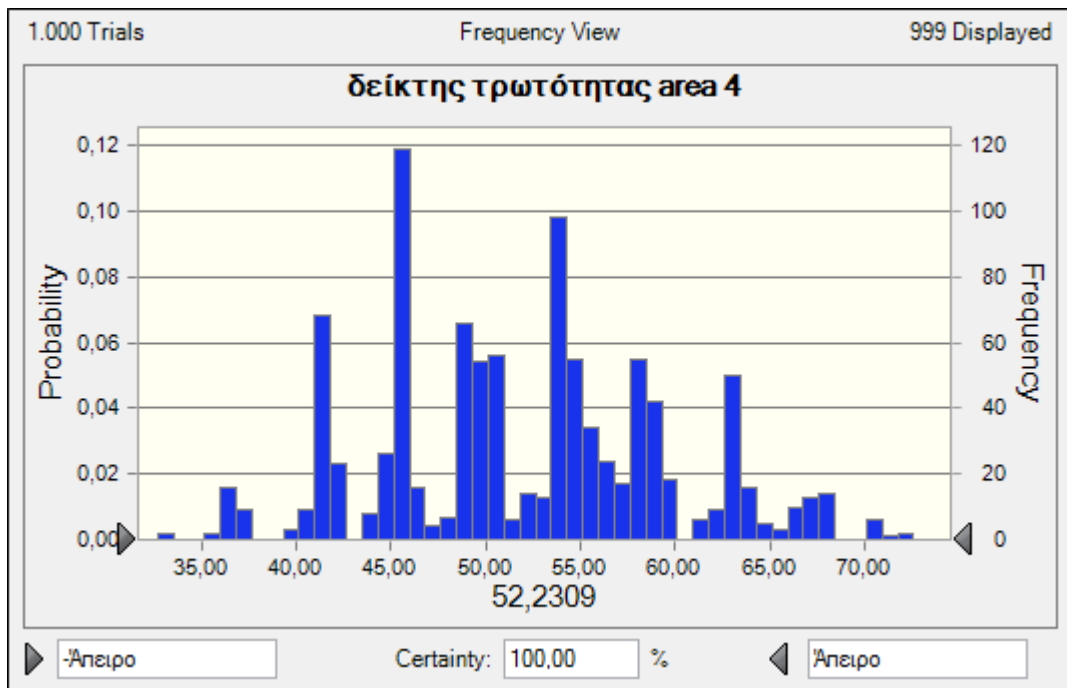
Εικόνα 5.9 – Crystal Ball- Διάγραμμα κατανομής του δείκτη τρωτότητας για την περιοχή εξέτασης 1.



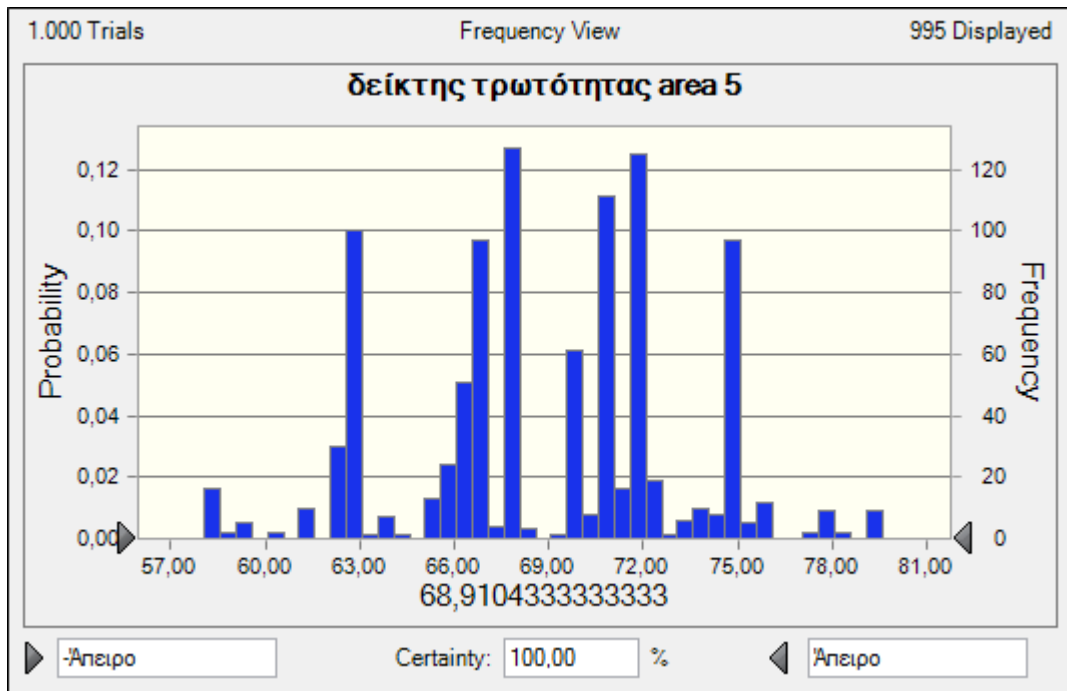
Εικόνα 5.10 - Crystal Ball- Διάγραμμα κατανομής του δείκτη τρωτότητας για την περιοχή εξέτασης 2.



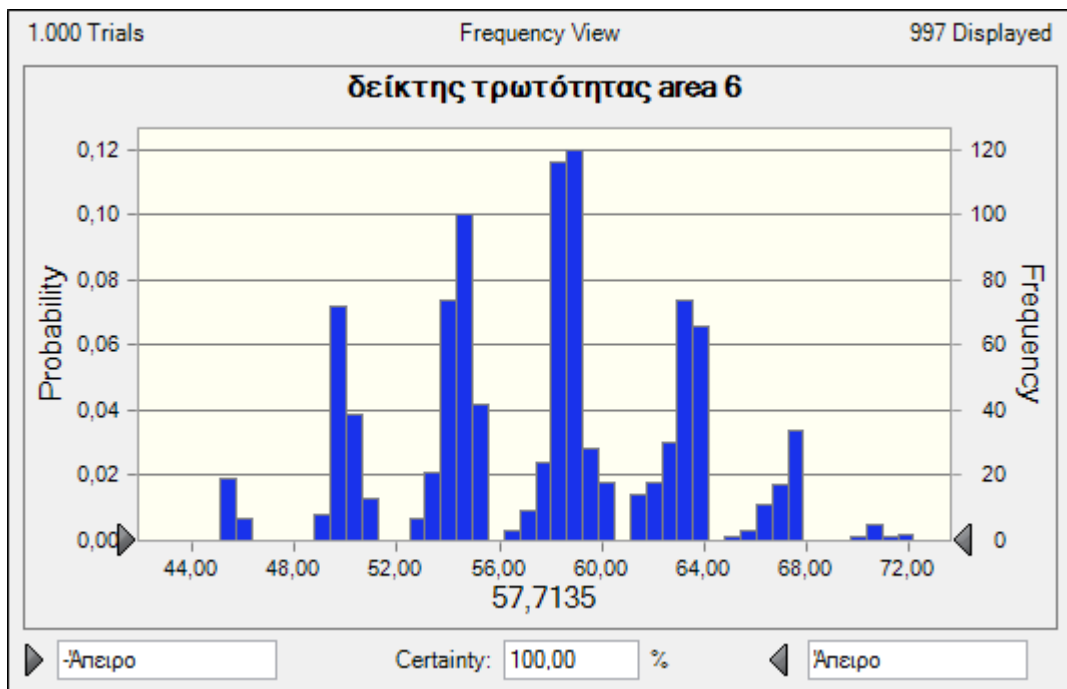
Εικόνα 5.11 - Crystal Ball- Διάγραμμα κατανομής του δείκτη τρωτότητας για την περιοχή εξέτασης 3.



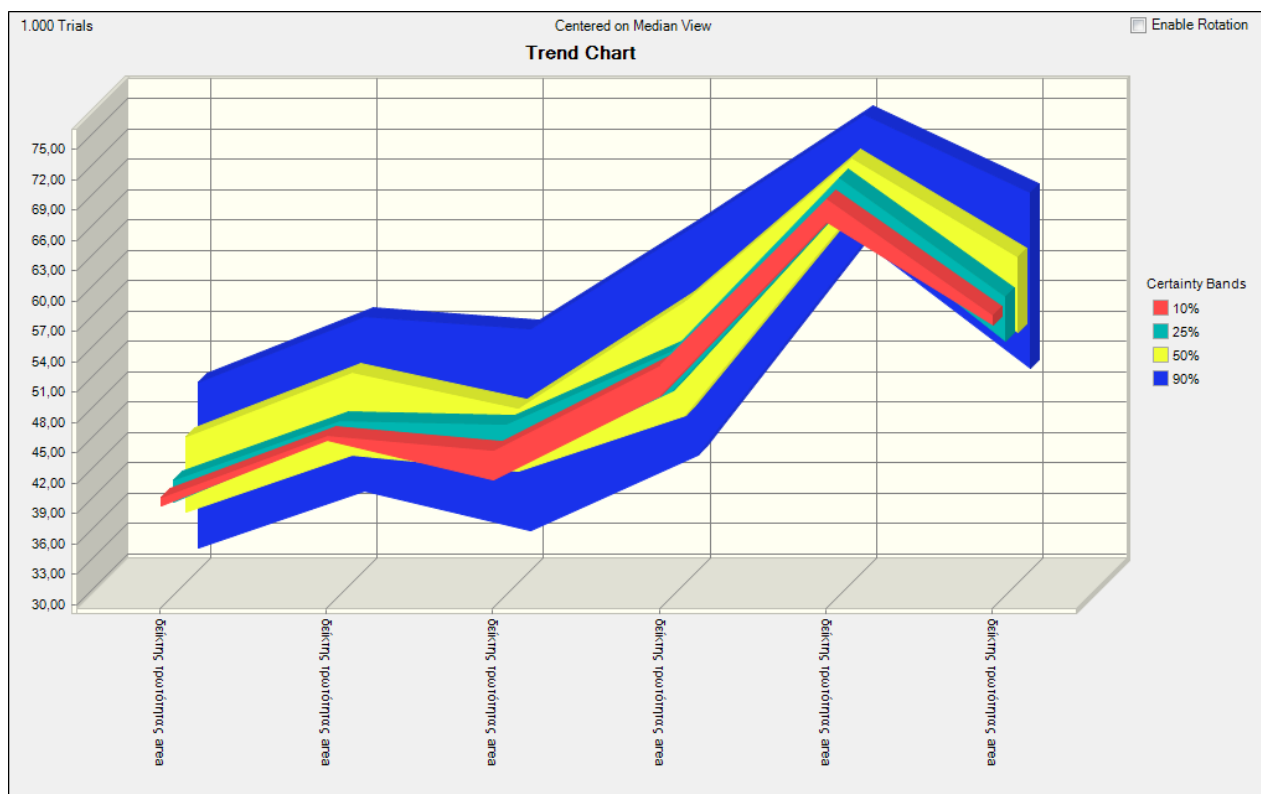
Εικόνα 5.12 - Crystal Ball- Διάγραμμα κατανομής του δείκτη τρωτότητας για την περιοχή εξέτασης 4



Εικόνα 5.13 - Crystal Ball- Διάγραμμα κατανομής του δείκτη τρωτότητας για την περιοχή εξέτασης 5.



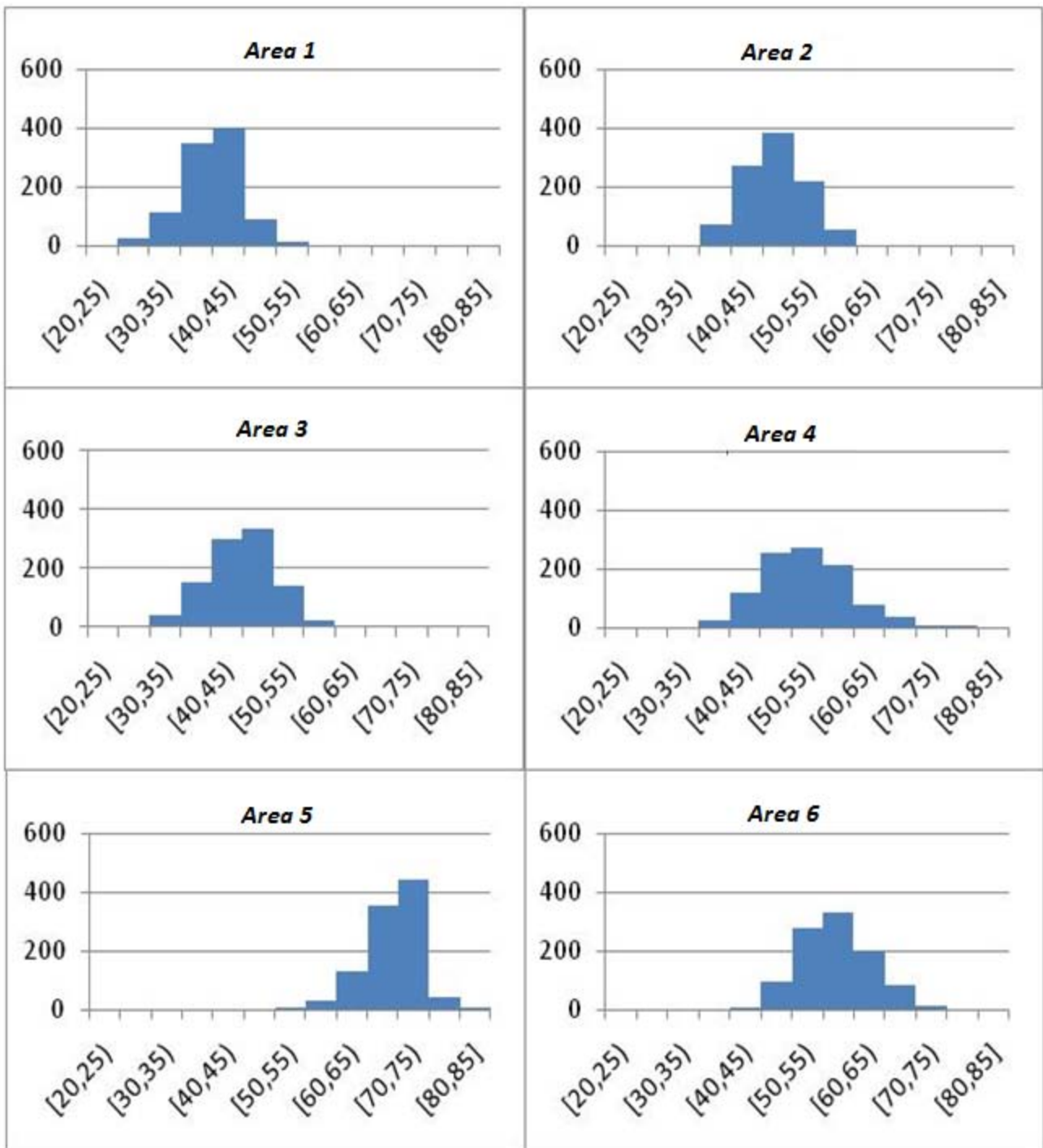
Εικόνα 5.14 - Crystal Ball- Διάγραμμα κατανομής του δείκτη τρωτότητας για την περιοχή εξέτασης 6.



Εικόνα 5.15 – Crystal Ball -Παρουσίαση των τιμών του δείκτη τρωτότητας των περιοχών ανάλυσης, σε συνάρτηση με το ποσοστό βεβαιότητάς τους.

Πίνακας 5.11- Στατιστικά στοιχεία της ανάλυσης τρωτότητας για τις περιοχές εξέτασης

Statistics	area 1	area 2	area 3	area 4	area 5	area 6
Trials	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Mean	39,97	46,10	44,11	52,23	68,91	57,72
Median	40,19	46,11	44,90	52,22	69,89	58,34
Mode	44,36	42,21	42,07	45,84	67,74	59,14
Standard Deviation	4,84	4,72	5,50	7,10	4,29	5,70
Variance	23,46	22,29	30,23	50,41	18,43	32,51
Skewness	0,1314	0,1740	-0,0426	0,1936	-0,2323	-0,0649
Kurtosis	2,81	2,65	2,93	2,75	3,03	2,60
Coeff. of Variability	0,1212	0,1024	0,1247	0,1359	0,0623	0,0988
Minimum	27,83	37,37	28,77	35,76	54,30	41,27
Maximum	52,69	59,41	63,04	75,27	82,26	71,64
Range Width	24,86	22,04	34,27	39,51	27,95	30,37
Mean Std.Error	0,15	0,15	0,17	0,22	0,14	0,18



Εικόνα 5.16 - Ιστογράμματα κατανομής των τιμών του δείκτη τρωτότητας για εύρη τιμών, όπως δίνονται από τις δοκιμές πιθανολογικής προσομοίωσης

5.2.1 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων πιθανολογικής ανάλυσης – Κατηγοριοποίηση Περιοχών σύμφωνα με το δείκτη τρωτότητας

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, γίνονται οι ακόλουθες παρατηρήσεις σχετικά με το δείκτη τρωτότητας στις έξι υποπεριοχές:

- Το εύρος στο οποίο κινείται ο δείκτης τρωτότητας για το σύνολο των περιοχών, είναι της τάξης των 50 μονάδων περίπου, με ακραίες τιμές τις 27 (area 1) και 82 (area 5) μονάδες, αντίστοιχα.
- Οι μέσες τιμές του δείκτη που υπολογίζονται, κυμαίνονται από 40 έως 69 μονάδες, παρουσιάζοντας έτσι μια διαφορά, της τάξης του 72,5% περίπου.
- Οι περιοχές ανάλυσης μπορούν να διακριθούν σε τρεις βασικές ομάδες. Η περιοχή 1 εμφανίζει τον χαμηλότερο δείκτη τρωτότητας, με τη μέση τιμή του να είναι 5 έως 13 μονάδες μικρότερη από τις περιοχές 2, 3, 4 που απαρτίζουν την δεύτερη ομάδα. Η Τρίτη ομάδα που αποτελείται από τις περιοχές 5 και 6 εμφανίζεται να είναι κατά μέσο όρο 5 έως 10 μονάδες πιο ψηλά στη βαθμονόμηση του δείκτη τρωτότητας αποτελώντας και την ομάδα με τις δυσμενέστερες προβλεπόμενες συνθήκες.

Πιο αναλυτικά, η περιοχή η οποία αναμένεται να εμφανίσει τη καλύτερη συμπεριφορά κατά την όρυξη της σήραγγας είναι η περιοχή 1 (Χ.Θ. 1+264 έως Χ.Θ. 1+364), ενώ η περιοχή με την χειρότερη συμπεριφορά είναι η περιοχή 5 (Χ.Θ. 1+664 έως Χ.Θ. 1+764). Αυτό γίνεται σαφές, τόσο από τη μέση τιμή που εμφανίζουν όσο και από τη γενικότερη συμπεριφορά της κατανομής του δείκτη τρωτότητας. Έτσι, η μικρότερη τιμή που δίνεται για το δείκτη στην περιοχή 5 είναι 54 μονάδες, ενώ στην περιοχή 1, η τιμή αυτή είναι μειωμένη κατά 50%, εκτιμώμενη σε 27 μονάδες περίπου.

Σχετικά με τη διάκριση των περιοχών, η πρώτη ομάδα αφορά την περιοχή 1, για την οποία οι τιμές του δείκτη εμφανίζεται μετατοπισμένη προς τα αριστερά, δηλαδή προς τις μικρότερες τιμές βαθμολογίας. Η δεύτερη ομάδα, αφορά τις περιοχές 2, 3 και 4 (Χ.Θ. 1+364 έως Χ.Θ. 1+664), οι οποίες εμφανίζουν μέσες τιμές δείκτη τρωτότητας 44, 46 και 52 μονάδες αντίστοιχα. Η τρίτη ομάδα αφορά τις περιοχές 5 και 6 (Χ.Θ. 1+664 έως Χ.Θ. 1+864), οι οποίες εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές δείκτη τρωτότητας με τις μέσες τιμές τους να είναι 69 και 58 αντίστοιχα.

Συγκεντρωτικά, οι κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται οι 6 υποπεριοχές εξέτασης σύμφωνα με το δείκτη τρωτότητάς τους, από την καλύτερη στην χειρότερη, είναι:

Κατηγορία 1: Περιοχή 1, με μέση τιμή δείκτη τρωτότητας 40 περίπου μονάδες (Ελάχιστο:28, Μέγιστο: 53).

Κατηγορία 2: Περιοχές 2, 3, 4, με μέσες τιμές δείκτη τρωτότητας 44-52 μονάδες (Ελάχιστο:29-37, Μέγιστο: 59-75).

Κατηγορία 3: Περιοχές 5,6, με μέσες τιμές δείκτη τρωτότητας 57-68 μονάδες (Ελάχιστο:41-54, Μέγιστο: 71-82).



Εικόνα 5.17 - Αναγνώριση των κατηγοριών τρωτότητας στις επιλεγθείσες υποπεριοχές ανάλυσης

Η κατηγοριοποίηση των έξι υποπεριοχών σύμφωνα με το δείκτη τρωτότητας, εκφράζει τα πιθανά προβλήματα που μπορούν να παρουσιαστούν κατά τη διάνοιξη της σήραγγας, εκτιμώντας έτσι την επικινδυνότητα των υποπεριοχών εξέτασης συγκριτικά μεταξύ τους.

5.3 Έλεγχος αξιοπιστίας μοντέλου – Επαλήθευση Αποτελεσμάτων

Ο έλεγχος της αξιοπιστίας του μοντέλου γίνεται βάση του ημερολογίου ημερήσιας προχώρησης της σήραγγας και του υπογείου τμήματος του σταθμού, όπως αυτό συντάχθηκε από τους μηχανικούς του εργοταξίου (Πίνακας 5.12). Το ημερολόγιο καλύπτει τις περιοχές 2 έως 5 (Χ.Θ. 1+392,50 έως Χ.Θ. 1+723,70). Για αυτές τις περιοχές γίνεται άμεση σύγκριση μεταξύ τους, ενώ οι περιοχές 1 και 6 για τις οποίες δεν υπάρχουν στοιχεία ημερολογίου ελέγχονται ποιοτικά μέσω της έμμεσης σύγκρισης τους με γειτνιάζουσες περιοχές.

Πίνακας 5.12 - Μορφή δεδομένων στο ημερολόγιο εργοταξίου, όπως αυτό δόθηκε

	ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ IIIα				ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ I		IIIα
	ΧΘ:ΑΠΟ	1557,72	1557,32	1559,0	1560,0	1561,0	1563,0
ΕΩΣ	1558,32	1559,0	1560,0	1561,0	1563,0	1565,0	1566,0
Η/Μ	2/1/08	7/1/08	8/1/08	10/1/08	11/1/08	17/1/08	20/1/08
ΕΚΣΚΑΦ	3/1/08		9/1/08	11/1/08	14/1/08	19/1/08	22/1/08
GSI				65-70	65-70	70-80	80-90
Η/Μ	20/07/08	21/07/08	21/07/08	21/07/08	22/07/08	22/07/08	22/07/08
ΕΚΣΚΑΦ							
GSI Βαθμίδας (όπου υπάρχει)							
ΒΗΜΑ:	1	2	3	4	5	6	7

Οι πληροφορίες που αντλούνται από το ημερολόγιο δίνουν μετά από επεξεργασία τον λόγο μέτρων προχώρησης ανά ημέρα (m/day), αλλά και τις τυπικές διατομές υποστήριξης που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και τον τύπο υποστήριξης με την πιο συχνή εφαρμογή ανά περιοχή.

Οι περιοχές αυτές οι οποίες συμπεριλήφθησαν στην ανάλυση κατά το στάδιο της κατασκευής των τρισδιάστατων μοντέλων απεικόνισης και στο στάδιο αυτό της επαλήθευσης μας δίνουν τη δυνατότητα να κάνουμε και τη σύγκριση περιοχών που έχουν διανοιχθεί με τη μεθόδου NATM έναντι περιοχών που έχουν διανοιχθεί με TBM, ώστε να φανεί μέσω της απόκλισης του δείκτη τρωτότητας η αναγκαιότητα για μετάβαση στη μέθοδο NATM, παρόλο που ο δείκτης τρωτότητας είναι προσαρμοσμένος στις συνθήκες της μεθόδου NATM.

Στον Πίνακα 5.13 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές ρυθμού προχώρησης ανά ημέρα καθώς και οι εφαρμοζόμενοι τύποι εκσκαφής και υποστήριξης των περιοχών μελέτης.

Πίνακας 5.13 - Ρυθμοί προχώρησης και τύποι εκσκαφής και υποστήριξης

Περιοχή Εξέτασης	Μέσος δείκτης τρωτότητας	m/ημέρα	Εμφανιζόμενοι Τύποι Διάνοιξης - Υποστήριξης	Επικρατέστερος Τύπος Διάνοιξης - Υποστήριξης
Περιοχή 1	39,97	Δεν υπάρχουν πλήρη στοιχεία	I/TBM	TBM
Περιοχή 2	46,10	1,5	I/II	I
Περιοχή 3	44,11	1,1	I/II/III	I
Περιοχή 4	52,23	1	III	III
Περιοχή 5	68,91	0,57	III/Cut and Cover	III
Περιοχή 6	57,72	Δεν υπάρχουν πλήρη στοιχεία	Cut and Cover	Cut and Cover

Όσον αφορά στην κατασκευή της σήραγγας, παρατηρείται μία γενική ανομοιομορφία όσον αφορά τους ρυθμούς προχώρησης, η οποία οφείλεται τόσο στην εναλλαγή των τύπων υποστήριξης στις περιοχές για τις οποίες υπάρχουν στοιχεία, αλλά και σε εξωτερικούς παράγοντες που αφορούν το εργοτάξιο. Παρ όλα αυτά οι ρυθμοί προχώρησης συμφωνούν με τους προβλεπόμενους δείκτες τρωτότητας με τις περιοχές 2, 3 και 4 να εμφανίζουν μεγαλύτερο ρυθμό προχώρησης από την

περιοχή 5, με τη διαφορά στους ρυθμούς προχώρησης να κυμαίνεται από 0,5 έως 1 m/ημέρα παραπάνω.

Το κυριότερο στοιχείο που συνάδει στην επαλήθευση των εκτιμήσεων σχετικά με το δείκτη τρωτότητας είναι οι εφαρμοζόμενοι τύποι διάνοιξης και υποστήριξης ανά περιοχή. Στις περιοχές που διανοίχθηκαν καθαρά με τη μέθοδο NATM και εμφανίζουν τους χαμηλότερους δείκτες τρωτότητας, εφαρμόζεται κυρίως η Τυπική Διατομή I, με μικρές εναλλαγές με την ελαφρώς βαρύτερη Τυπική Διατομή II και ακόμα λιγότερο την Τυπική Διατομή III. Όταν ο μέσος δείκτης τρωτότητας υπερβεί τις 50 μονάδες παρατηρείται μετάβαση προς βαρύτερους τύπους διάνοιξης και υποστήριξης, αλλά και αύξηση των φάσεων διάνοιξης από δύο σε τέσσερεις .

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι στην περιοχή 1, όπου εμφανίζεται ο χαμηλότερος μέσος δείκτης τρωτότητας, το σύνολο σχεδόν της διάνοιξης έχει διανοιχθεί υπό τις συνθήκες προηγούμενης εργολαβίας με TBM και η εναλλαγή σε NATM έγινε κοντά στην αρχή της περιοχής 2 όπου ο δείκτης τρωτότητας αρχίζει και ανέρχεται. Επίσης, μικρό μέρος της περιοχής 6 βρίσκεται εκτός της περιοχής του σταθμού «Περιστέρι» και έχει διανοιχθεί με OFS (Open Face Shield) ερχόμενο από το φρέαρ πρόσβασης μετά τον σταθμό «Ανθούπολη», πάλι αλλάζοντας τον τρόπο διάνοιξης σε συμβατικά μέσα λόγω των άσχημων γεωτεχνικών συνθηκών που αντιμετωπίστηκαν

Κεφάλαιο 6 – Συμπεράσματα – Προτάσεις

6.1 Συμπεράσματα

Η κατασκευή υπογείων έργων για την ικανοποίηση διαφόρων αναγκών υποδομής, τόσο εντός όσο και εκτός αστικού περιβάλλοντος, αποτελεί τη βέλτιστη λύση για πολλούς λόγους, προσφέροντας προφύλαξη των έργων από και προς τρίτους, παρέχοντας οφέλη περιβαλλοντικά και ενεργειακά, κάνοντας χρήση ανεκμετάλλευτου χώρου και άλλα γνωστά πλεονεκτήματα έναντι της κλασσικής υπέργειας ανάπτυξης. Η παγκόσμια ζήτηση για υπόγειες κατασκευές παντός είδους έχει αυξηθεί, τόσο για έργα προοριζόμενα για δημόσια χρήση όσο και για ιδιωτικές πρωτοβουλίες.

Πέρα τα πολλαπλά οφέλη της υπόγειας ανάπτυξης, όμως, είναι γνωστοί και οι κίνδυνοι που την συνοδεύουν, οι οποίοι γεννούν το κλίμα προκατάληψης που δρα ανασταλτικά στην καθολική υιοθέτηση και εφαρμογή της. Και ενώ η πλειοψηφία των υπογείων έργων περατώνεται και λειτουργεί με ασφάλεια, ακολουθώντας την εξέλιξη των τεχνικών εκσκαφής και υποστήριξης, η εκτίμηση κινδύνων μέσα από γεωτεχνικές μελέτες δεν είναι ορισμένες φορές επαρκής ή περιεκτική αρκετά, οδηγώντας σε υπερβάσεις προϋπολογισμού και καθυστερήσεις, και σε ορισμένες περιπτώσεις τραυματισμούς και απώλεια ζωής.

Καθώς τα πλεονεκτήματα των υπογείων έργων είναι αδιαμφισβήτητα, και σε ορισμένες περιπτώσεις οι εναλλακτικές λύσεις περιορισμένες, το βάρος της αύξησης της ανταγωνιστικότητάς τους μέσω της ελαχιστοποίησης της επικινδυνότητας τους πέφτει κυρίως στους σύγχρονους μηχανικούς.

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την ελαχιστοποίηση της επικινδυνότητας σε σήραγγες που διανοίγονται με την μέθοδο NATM (New Austrian Tunnelling Method), εξετάζοντας την περίπτωση της επέκτασης της Γραμμής 2 του Αττικό Μετρό, Άγιος Αντώνιος – Ανθούπολη. Αυτό επιδιώκεται να γίνει με την διαχείριση και τον περιορισμό της αβεβαιότητας που χαρακτηρίζει το γεωλογικό μέσο, η οποία συχνά οδηγεί σε σημαντικά προβλήματα και κατασκευαστικούς κινδύνους. Κάτι τέτοιο επιχειρείται με την εφαρμογή μίας προκαθορισμένης μεθοδολογίας εκτίμησης της τρωτότητας του γεωλογικού μέσου, και κατ' επέκταση της επικινδυνότητας που χαρακτηρίζει το

έργο. Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από αυτήν την εργασία αφορούν την μεθοδολογία εκτίμησης κινδύνου και το έργο στο οποίο εφαρμόστηκε.

6.1.1 Συμπεράσματα Μεθοδολογίας

Η σωστή εφαρμογή της μεθοδολογίας στηρίζεται σε 5 βασικούς παράγοντες:

1. Τον καθορισμό της περιοχής εξέτασης και την κατασκευή μοντέλων ιδιοτήτων του υπογείου χώρου με ικανοποιητική ακρίβεια, χρησιμοποιώντας διαθέσιμα γεωλογικά και τοπογραφικά στοιχεία.
2. Την αναγνώριση των διαφόρων παραμέτρων που μπορούν να οδηγήσουν στην εμφάνιση ανεπιθύμητων συμβάντων, και συμπερίληψη τους ως συστατικές παραμέτρους του συντελεστή τρωτότητας του γεωλογικού μέσου.
3. Την βαθμονόμηση των εξεταζόμενων παραμέτρων τόσο σύμφωνα με τα συνδεόμενα με αυτές προβλήματα, όσο και με τις κατασκευαστικές τεχνικές που αναμένεται ή επιδιώκεται να εφαρμοστούν.
4. Τον υπολογισμό της αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραμέτρων βάσει εμπειρικών και επιστημονικών στοιχείων.
5. Την πιθανολογική έκφραση των παραμέτρων μέσω ευρών τιμών και κατανομών, και αποφυγή σημειακών εκφράσεων των του δείκτη τρωτότητας και των αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας.

Πέρα από αυτούς, κάποια γενικά συμπεράσματα σχετικά με την μεθοδολογία είναι:

- Το κρίσιμο στάδιο κατά το οποίο είναι σημαντικό να εφαρμοστεί η μεθοδολογία είναι κατά τα πρώτα στάδια της γεωλογικής διερεύνησης της περιοχής ενδιαφέροντος, καθώς τα αποτελέσματά της μπορούν να επηρεάσουν σημαντικές αποφάσεις σχετικά με το έργο, ακόμα και την πραγματοποιησιμότητά του.
- Η μεθοδολογία είναι εφαρμόσιμη για διάνοιξη σηράγγων με την μέθοδο NATM, λόγω της προβλέψιμης κυκλικότητας των διεργασιών της, και θεωρείται μάλιστα απαραίτητη η χρήση της λόγω της μεγαλύτερης ανισοτροπίας του γεωλογικού που καλείται συνήθως να αντιμετωπίσει σε σχέση με μηχανοποιημένες τεχνικές σήραγγοποιίας.

6.1.2 Συμπεράσματα Σχετικά με το Εξεταζόμενο Έργο

Τα συμπεράσματα σχετικά με το εξεταζόμενο έργο αφορούν την αξιολόγηση των τεχνικών στοιχείων του ολοκληρωμένου έργου τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στην μεθοδολογία.

Η απόφαση της επιλογής της μεθόδου NATM, και της επιλεκτικής εφαρμογής διαφόρων τυπικών διατομών ανάλογα με τις γεωλογικές συνθήκες συμφωνεί με τα αποτελέσματα του δείκτη τρωτότητας για την περιοχή εξέτασης.

Ενδεχομένως με εφαρμογή της μεθοδολογίας κατά τα πρώτα στάδια μελέτης του έργου επέκτασης να είχε επιλεχθεί η μέθοδος NATM ως μέθοδος διάνοιξης για ευρύτερο μέρος του μεσοδιαστήματος, δεδομένων των προβλημάτων που αντιμετώπισαν οι μηχανοποιημένες μέθοδοι διάνοιξης που εφαρμόστηκαν (OFS, TBM).

Η πληθώρα γεωτεχνικών και χωρικών στοιχείων που παρήχθησαν από την ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. διευκόλυναν τον καθορισμό των παραμέτρων εξέτασης, την μοντελοποίηση του υπογείου χώρου και γενικά την μεθοδολογία εκτίμησης κινδύνου.

Η υιοθέτηση ενός πληρέστερου ημερολογίου εργοταξίου που εμπεριέχει τα γεωτεχνικά προβλήματα που συναντήθηκαν (από μικρής έως μεγάλης επιρροής στο έργο), θα βοηθούσε σε μία καλύτερη ποιοτικά αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας, τα οποία εκτιμήθηκαν εμμέσως μέσω των διαφοροποιήσεων σε τεχνικές εκσκαφής και υποστήριξης κατά μήκος του έργου.

6.2 Προτάσεις

Η μεθοδολογία εκτίμησης κινδύνου αποτελεί μία τεχνική διαχείρισης της αβεβαιότητας σε δραστηριότητες σχετισμένες τόσο με το αντικείμενο του μηχανικού, όσο και με οποιαδήποτε δραστηριότητα εμπεριέχει κάποια έκφραση της έννοιας του κινδύνου. Παρόλα αυτά η προτάσεις που διατυπώνονται στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας αφορούν την εφαρμογή της στα υπόγεια έργα:

Θεωρείται εφικτή και απαραίτητη η επέκταση της μεθοδολογίας στις διάφορες τεχνικές κατασκευής υπογείων κατασκευών, καθώς και η πιθανή ανάπτυξη μίας ενιαίας προσέγγισης προς τα υπόγεια έργα, με προκαθορισμένες διαφοροποιήσεις στις παραμέτρους εξέτασης ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες της κάθε περιοχής μελέτης και χρησιμοποιούμενης μεθοδολογίας.

Η χρήση λογισμικού μοντελοποίησης του υπογείου χώρου με ενσωματωμένες δυνατότητες χωρικής παρεμβολής πολυμεταβλητών, ή άλλου είδους ημί-πιθανολογικές τεχνικές μοντελοποίησης (όπως το Surpac), μπορεί δυνητικά να ελαττώσει της ανάγκες για πιθανολογική περαιτέρω προσομοίωση παραμέτρων όπως η διαπερατότητα σχηματισμών, η οποία εκτελείται μέσα από την αντιστοίχιση της μεταβλητότητας της με τις γεωλογικές ενότητες της περιοχής. Σε πιθανή απευθείας αντιστοίχιση της ως μεταβλητή με χωρικό μοντέλο ανάλυσης δύναται να δώσει ακριβέστερα αποτελέσματα.

Η εισαγωγή κινδύνων από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (δίκτυα κοινής ωφέλειας, παλαιά πηγάδια και υπόγειες εκμεταλλεύσεις, ύπαρξη παλαιών αποθηκευμένων ή μη ενεργοποιημένων πυρομαχικών κτλ), κινδύνων από ανθρώπινη αμέλεια (χρήση εξοπλισμού, εφαρμογή κανόνων ασφαλείας κτλ) ή αστοχία εξοπλισμού (εκρήξεις, πυρκαγιές) ως παράγοντες συνεκτίμησης ενδέχεται να αυξήσει σημαντικά τη δυναμικότητα εκτίμησης κινδύνων, και το εύρος πιθανών κινδύνων που μπορούν να εκτιμηθούν.

Χωρική ανάλυση των τιμών τρωτότητας για κάθετα χωρισμένες υποπεριοχές ανάλυσης που καλύπτουν την αψίδα, της παρειάς και τη βάση της σήραγγας με σκοπό την εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης τοπικών αστοχιών σε συγκεκριμένα τμήματα της κατασκευής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αττικό Μετρό Α.Ε., (<http://www.ametro.gr>)

Αττικό Μετρό Α.Ε., 'Έκθεση Μελέτης Γραφείου, επέκταση της γραμμής 2 «Τμήμα Άγιος Αντώνιος-Ανθούπολη», αρχείο: 2GW0PW385R901B.doc, 2007

Αττικό Μετρό Α.Ε., 'Γενική Έκθεση Αξιολόγησης Αποτελεσμάτων Γεωτεχνικών Ερευνών , (αρχείο: 2GW0CW180S901C.doc), 2007

Αττικό Μετρό Α.Ε., 'Επέκταση της Γραμμής 2 «Άγιος Αντώνιος – Ανθούπολη», 2GW0CW180S902C, 2007

Αττικό Μετρό Α.Ε., 'Επέκταση της Γραμμής 2 "Άγιος Αντώνιος - Ανθούπολη", Σήραγγα Διπλής τροχιάς, Έκθεση Γεωτεχνικής Αξιολόγησης', 2007

Αττικό Μετρό Α.Ε., 'Επέκταση της Γραμμής 2 "Άγιος Αντώνιος - Ανθούπολη", Σταθμός «Περιστέρι», Υπόγεια Εκσκαφή, Έκθεση Γεωτεχνικής Αξιολόγησης', 2007

Αττικό Μετρό Α.Ε., 'Σταθμός Περιστέρι, Έκθεση Παρουσίασης Αποτελεσμάτων γεωτεχνικών ερευνών', 2007

Αττικό Μετρό Α.Ε., 'Σήραγγα Χ.Θ. 1+392.5 έως Χ.Θ. 1+691,29, Έκθεση Παρουσίασης Αποτελεσμάτων γεωτεχνικών ερευνών', 2007

Attewell, P.B., Farmer, I.W., "Principles of Engineering Geology", John Wiley, New York, 1976.

Attewell, P.B., "Engineering Contracts. Site Investigation and Surface Movements", Tunnelling Works, Soft Ground Tunnelling Failures and Displacements, Eds. Resentis, D., Romo M.P., Balkema, pp. 5-12, 1981.

Βέττας, Π. Ν., «Σταθερότητα του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου», Ημερίδα για τα Γεωτεχνικά Προβλήματα του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου, ΤΕΕ, Αθήνα, pp. 61-77, 1981.

Barton N., 'Fault Zones and TBM. Geotechnical Risk In Rock Tunnels', e.d. Matos; Sousa; Kleberger and Pinto, Taylor and Francis, pp 75-118, 2008

Benardos A, 'A methodology for accessing geotechnical hazards for TBM tunneling – illustrated by the Athens Metro, Greece', 2004

Bieniawski, Z.T., "Engineering Rock Mass Classifications", Johh Wiley & Sons, 1989.

British Tunnelling Society 'THE JOINT CODE OF PRACTICE FOR RISK MANAGEMENT OF TUNNEL WORKS IN THE UK', 2003

Γενική Μελετών Ε.Π.Ε Ιστρία, 'Πρόδρομη έκθεση παρουσίασης και αξιολόγησης αποτελεσμάτων στην περιοχή του Shaft', 2001.

- Canselli, I., Crosta, G., "Hazard and Risk Assessment in Rockfall Prone Areas", Proc. Of symposium in Risk and Reliability in Ground Engineering, Ed. Shipp B., Thomas Telford, pp. 177-190, 1993.
- Clough, G.W., Schmidt, B., "Design and Performance of Excavations and Tunnels in Soft Clay", Soft Clay Engineering, Eds. Brand, E.W, Brenner, R.P., Elsevier, pp. 569-634, 1981.
- Deere, D.U., Deere, D.W., "The RQD Index in Practice", Proc. Symp. of Rock Classification for Engineering Purposes, ASTM Special Technical Publication 984, pp. 91-101, 1988.
- Duncan-Fama, M.E., "Numerical Modelling of Yield Zones in Weak Rocks", Comprehensive Rock Engineering, Ed. Hudson, J.A., Pergamon Press, pp. 49-75, 1993.
- Grandori R. et al. 'Evinos - Mornos Tunnel- Greece Construction of 30 km Long Hydraulic Tunnel in Less Than Three Years Under The most Adverse Geological Conditions', RETC Proceedings, 1995
- Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F., "Support of Underground Excavations in Hard Rock", Balkema, 1995.
- Hoek., E., Marinos, P., Benissi, M., "Applicability of the Geological Strength Index (GSI) Classification for Very Weak and Sheared Rock Masses. The Case of the Athens Schist Formation", Bulletin of Engineering Geology and the Environment, vol. 57, pp. 515- 160, 1998.
- Hoek E., Marinos P., 'GSI: A GEOLOGICALLY FRIENDLY TOOL FOR ROCK MASS STRENGTH ESTIMATION', 2000
- Hoek E., Marinos P., 'estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch', 2001
- Hudson, J.A., "Atlas of Rock Engineering Mechanics: Underground Excavations", Int. Journal of Rock Mechanics Mining Science & Geomechanics Abstracts, no. 28, pp. 523- 526, 1991.
- Hudson, J.A., "Rock Engineering Systems: Theory and Practice", Ellis Horwood Limited, 1992.
- Iman, R.L., Davenport, J.M., Zeigler D.K., "Latin Hypercube Sampling: A Program's User Guide", Technical Report SAND79-1473, Sandia Laboratories, 1980.
- International Tunnelling Association, 'Guidelines for Tunnelling Risk Management', 2002
- Jiao, Y., Hudson, J.A., "The Fully-Coupled Model for Rock Engineering Systems", Int. Journal of Rock Mechanics Mining Science & Geomechanics Abstracts, Vol. 32, no. 5, pp. 491-512, 1995.
- Καββαδάς Μ., 'Διάνοιξη Σηράγγων με τη Μέθοδο NATM, Σημειώσεις Σχεδιασμού Υπογείων Έργων', 2004
- Καλιαμπάκος Δ., 'Σημειώσεις Μαθήματος Υπόγεια Έργα', 2003.
- Κουμαντάκης, Ι., «Κεφάλαια Τεχνικής Γεωλογίας: Μέθοδοι Ερευνών Υπεδάφους, Κατολισθήσεις – Ευστάθεια Κλιτύων – Καθιζήσεις, Γεωλογία Σηράγγων – Θεμελιώσεων», Αθήνα, 1984
- Kaliampakos, D.C., Benardos, A.G., "Sustainable Aggregate Quarrying in Athens (Greece): Problems and Solutions", Global Minerals and the Environment '99 Conference, 24-27 May, China, pp. 182-185, 1999.

- Latham, J-P., Lu, P., "Development of an Assessment System for the Blastability of the Rock Masses", *Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, no. 36, pp. 41-55, 1999
- Lee S.M., Park B.S., Lee S.W., 'Analysis of rockbursts that have occurred in a waterway Tunnel in Korea', 2004
- Lepsius, R., "Geologie von Attika", *Zeitschr. Prakt. Geol.* 4, Berlin, 1893.
- Lu, P., Hudson, J.A., "A Fuzzy Evaluation Approach to the Stability of Underground Excavations", *Proc. of the ISRM Symposium: EUROCK '93*, Ed. Ribeiro e Sousa & Grossman, Lisbon, Balkema, pp. 615-622, 1993
- Μενεγάκη Μ., 'Σημειώσεις του Μαθήματος Σχεδιασμός Υπαιθρίων Εκμεταλλεύσεων', 2010
- Μπενάρδος Α., 'Εκτίμηση Επικινδυνότητας Κατά την Κατασκευή Υπογείων Έργων με Μηχανήματα Ολομέτωπης Κοπής. Η Περίπτωση του Μετρό Αθηνών' 2002
- Mazzocola, D.F., Hudson, J.A., "A Comprehensive Method of Rock Mass Characterisation for Indicating Natural Slope Stability", *Quarterly Journal of Engineering Geology*, vol. 29, pp. 37-56, 1996.
- McCusker, T.G., "Tunnelling in Difficult Ground", *Tunnelling Engineering Handbook*, Ed. by Bickel J., Kuesel T., King E., Chapman and Hall, pp. 153-176, 1996.
- McFeat-Smith, I., "Considerations for Mechanised Excavation of Rock Tunnels", *Proc. Of 6th Australian Tunnelling Conference*, Melbourne, pp. 149-157, 1987.
- McKay, M.D., Conover, W.J., Beckman, R.J., "A Comparison of Three Methods for Selecting Values of Input Variables in the Analysis of Output from a Computer Code", *Technometrics*, vol. 21, no. 2, pp. 239-245, 1979.
- Metropolis, N., Ulam, S., "The Monte Carlo Method", *Journal of American Statistical Association*, vol. 44, no. 247, pp. 335-341, 1949.
- Peck, R., "State of the Art Report: Deep Excavations and Tunnelling in Soft Ground", *Proc. of the 7th Int. Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Mexico City, pp. 225-290, 1969.
- Phienwaja, N., "Ground Response and Support Performance in a Sheared Shale, Stillwater Tunnel, Utah" Ph.D. Thesis, Univ. of Illinois, 1987.
- Ρόζος Δ, Βακόνδιος Ι., Κυνηγαλάκης Μ., 'Γεωτεχνική Μελέτη Εδαφικών Υποχωρήσεων στην Ανθούπολη Περιστερίου', 1998
- Shang, Y.J., Wang, S.J., Li, G.C., Yang, Z.F. "Retrospective Case Example Using a Comprehensive Suitability Index (CSI) for Siting the Shisan-Ling Power Station, China", *Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, no. 34, pp. 839-853, 2000.
- Sousa. Rita L, 'Risk Analysis for Tunnelling Projects', Massachusetts Institute of technology (MIT), 2010
- Stallmann M., 'Verbruche im Tunnelbau Ursachen und Sanierung', *Technik Stuttgart University Of Applied Sciences*, 122 pages, 2005

ΤΕΕ, 'Ενημερωτικό Δελτίο του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος, Σελ 31 Το ΜΕΤΡΟ της ΑΘΗΝΑΣ: Μέθοδοι Κατασκευής και τα σχετικά Τεχνικά Προβλήματα Του Στέλιου Κουκουτά', (Τεύχος 2156 - Δευτέρα 25 Ιουνίου 2001)

Terzaghi, K., "Geologic Aspects of Soft Ground Tunnelling", Applied Sedimentation, Chap. 11, Ed. Trask, J., John Wiley, 1950.

Voreadis, G., Τα λιγνιτωρυχεία του Λεκανοπεδίου της Αθήνας, Αθήνα 1940

Vose, D., "Quantitative Risk Analysis: A Guide to Monte Carlo Simulation Modelling", John Wiley & Sons, 1996.

Wallis S., 'Non Shielded TBM holds Squeezing clay in check' Tunnells and Tunnelling International, 1991

Wanner, H., Aeberli, U., "Tunnelling Machine Performance in Jointed Rock", Proc. of the 4th Int. Congress on Rock Mechanics, Montreux, Balkema, pp. 573-580, 1979.

Παράρτημα 1 – Γεωτρητικά Δεδομένα

HOLE	LNGT	TUNN	FLID	XX	YY	ZZ	SAMP	DPT1	DPT2	GSI	RQD	GEOL	STRU
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	1	0.0	1.0			A	
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	2	1.0	2.1			A	
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	3	2.1	2.5		0	Ps/L	
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	4	2.5	3.4	77.5	52	Ps/L	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	5	3.4	4.7	77.5	87	L	III
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	6	4.7	5.2	32.5	0	Mps/Mil	V/IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	7	5.2	6.3	32.5	45	Mps/Mil	V/IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	8	6.3	7.3	32.5	15	Mps/Mil	V/IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	9	7.3	8.2	32.5	20	Mps/Mil	V/IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	10	8.2	9.1	32.5	22	Mps/Mil	V/IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	11	9.1	9.9	30.0	30	Mps/Mil	IV/III
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	12	9.9	10.5	30.0	0	Mps/Mil	IV/III
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	13	10.5	11.1	30.0	0	Mps/Mil	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	14	11.1	11.4	30.0	0	Mps	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	15	11.4	12.0	40.0	10	Mps	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	16	12.0	12.3	40.0	0	Mps	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	17	12.3	12.7	40.0	0	Mps	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	18	12.7	13.0	40.0	50	Mps	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	19	13.0	14.0	40.0	20	Mps	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	20	14.0	14.4	30.0	0	Mps/Mil	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	21	14.4	14.6	30.0	0	Mps/Mil	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	22	14.6	15.6	30.0	0	Mps/Mil	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	23	15.6	16.5	54.5	33	Mps	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	24	16.5	17.0	54.5	80	Mps	II
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	25	17.0	17.5	54.5	50	Mps	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	26	17.5	18.1	54.5	42	Mps	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	27	18.1	19.6	35.5	43	Mps	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	28	19.6	20.5	21.5	0	Mil/Sx	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	29	20.5	21.2	21.5	0	Mil/Sx	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	30	21.2	22.2	21.5	0	Mil/Sx	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	31	22.2	23.3	21.5	0	Mil/Sx	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	32	23.3	24.3	21.5	0	Mil/Sx	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	33	24.3	25.1	30.5	0	Mil	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	34	25.1	26.1	30.5	0	Mil	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	35	26.1	26.7	30.5	0	Mil	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	36	26.7	27.7	30.5	10	Mil	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	37	27.7	28.5	30.5	0	Mil	IV
CASE1T	29.5	STP - TAP	CASE1T	96559.04	104036.05	55.58	38	28.5	29.5	30.5	0	Mil	IV
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	1	0.0	0.9			A	
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	2	0.9	1.5			A	
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	3	1.5	2.3	67.5	31	A/Ps/L	III
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	4	2.3	3.3	67.5	100	A/Ps/L	III
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	5	3.3	4.9	67.5	48	A/Ps/L	III
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	6	4.9	6.3	67.5	68	A/Ps/L	III
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	7	6.3	7.0	37.5	0	A/Ps/L	V
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	8	7.0	7.8	37.5	62	A/Ps/L	III
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	9	7.8	8.8	37.5	20	A/Ps/L	IV
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	10	8.8	10.0	37.5	12	A/Ps/L	IV/III

HOLE	LNGT	TUNN	FLID	XX	YY	ZZ	SAMP	DPT1	DPT2	GSI	RQD	GEOL	STRU
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	11	10.0	10.7	27.5	0	Mps	IV/III
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	12	10.7	11.6	27.5	0	Mps	IV/III
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	13	11.6	12.3	27.5	0	Mps	IV/III
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	14	12.3	13.5	27.5	0	Mps	IV/III
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	15	13.5	14.5	27.5	0	Mps	IV/III
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	16	14.5	15.5	27.5	0	Mps	IV/III
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	17	15.5	16.5	27.5	0	Mps	IV/III
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	18	16.5	17.6	27.5	0	Mps/Mil	IV/III
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	19	17.6	18.3	30.0	0	Mps/Mil	IV
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	20	18.3	19.4	30.0	45	Mps/Mil	III
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	21	19.4	20.0	30.0	30	Mps/Mil	III
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	22	20.0	21.2	25.5	0	Sx	V/IV
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	23	21.2	22.4	25.5	0	Sx	V/IV
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	24	22.4	23.5	25.5	8	Sx	V/IV
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	25	23.5	24.4	25.5	0	Sx	V/IV
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	26	24.4	25.2	25.5	0	Sx	V/IV
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	27	25.2	26.2	25.5	18	Sx	V/IV
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	28	26.2	26.7	25.5	0	Sx	V/IV
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	29	26.7	27.4	25.5	0	Sx	V/IV
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	30	27.4	28.2	25.5	0	Sx	V/IV
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	31	28.2	28.7	25.5	0	Sx	V/IV
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	32	28.7	29.5	25.5	0	Sx	V/IV
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	33	29.5	30.4	25.5	0	Sx/A	V/IV
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	34	30.4	31.4	25.5	0	Sx/A	V/IV
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	35	31.4	32.4	25.5	0	Sx/A	V/IV
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	36	32.4	33.1	32.5	0	Mil	IV
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	37	33.1	34.1	32.5	0	Mil	IV
CASN1T	35.0	STP	CASN1T	96497.18	104050.91	56.36	38	34.1	35.0	32.5	0	Mil	IV
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	1	0.0	1.0			A/Mps/Mil	
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	2	1.0	2.0			A/Mps/Mil	
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	3	2.0	3.6	57.5	68	Kr	III/II
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	4	3.6	4.8	22.5	84	Kr/Mil/Sx/Ps	IV/III
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	5	4.8	5.9	22.5	31	Mil/Sx/Ps	IV/III
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	6	5.9	7.4	22.5	39	Mps	III
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	7	7.4	8.2	22.5	0	Mps	IV
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	8	8.2	8.8	22.5	0	Mps	IV
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	9	8.8	10.0	22.5	0	Mps	V
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	10	10.0	11.2	65.0	63	Mps/Mil	II
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	11	11.2	12.1	40.0	35	L/Ar/A	IV
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	12	12.1	13.5	40.0	70	L/Ar/A	III/II
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	13	13.5	14.4	40.0	27	L/Ar/A	IV
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	14	14.4	15.4	40.0	20	L/Ar/A	IV
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	15	15.4	16.6	40.0	50	L/Ar/A	III
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	16	16.6	17.4	40.0	25	L/Ar/A	IV
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	17	17.4	18.2	40.0	0	L/Ar/A	IV
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	18	18.2	19.1	20.5	0	Mps/Mil	IV
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	19	19.1	20.7	20.5	0	Mps/Mil	IV
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	20	20.7	21.8	20.5	0	Mps/Mil/Sx/A	IV

HOLE	LNGT	TUNN	FLID	XX	YY	ZZ	SAMP	DPT1	DPT2	GSI	RQD	GEOL	STRU
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	21	21.8	22.3	17.5	0	Sx/A	IV
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	22	22.3	22.8	17.5	0	Sx/A	IV
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	23	22.8	23.5	17.5	0	Sx/A	IV
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	24	23.5	24.6	17.5	0	Sx/A	IV
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	25	24.6	25.4	17.5	0	Sx/A	IV
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	26	25.4	26.4	17.5	0	Sx/A	IV
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	27	26.4	27.4	17.5	0	Sx/A	IV
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	28	27.4	28.2	17.5	0	Sx/A	IV
CASP3T	29.0	STP - TAP	CASP3T	96534.23	104024.35	55.85	29	28.2	29.0	17.5	30	Sx/A	IV
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	1	0.0	1.0			A	
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	2	1.0	1.3			A	
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	3	1.3	2.6		0	Sx	V
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	4	2.6	4.0		54	Sx/Mps	III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	5	4.0	5.6	57.5	100	Mps	III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	6	5.6	6.8	57.5	50	Mps/A	III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	7	6.8	7.8	25.5	0	Mps/A	III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	8	7.8	8.4	25.5	0	Mps/A	III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	9	8.4	9.5	25.5	17	Mps/A	III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	10	9.5	10.5	25.5	0	Mps/A	III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	11	10.5	11.5	25.5	10	Mps/A	III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	12	11.5	12.7	37.5	20	Mps/X/A	IV/III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	13	12.7	13.4	37.5	43	Mps/X/A	IV/III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	14	13.4	14.7	37.5	19	Mps/X/A	IV/III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	15	14.7	15.9	37.5	8	Mps/X/A	IV/III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	16	15.9	17.0	37.5	0	Mps/X/A	IV/III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	17	17.0	17.8	37.5	15	Mps/X/A	IV/III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	18	17.8	18.8	37.5	12	Mps/X/A	IV/III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	19	18.8	20.0	37.5	30	Mps/X/A	IV/III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	20	20.0	20.9	37.5	44	Mps/X/A	IV/III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	21	20.9	21.6	22.5	0	Mps/A	IV/III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	22	21.6	22.7	22.5	10	Mps/A/Mil	IV/III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	23	22.7	23.3	37.5	33	Mps/Mil	III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	24	23.3	24.4	37.5	48	Mps/Mil	III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	25	24.4	25.4	37.5	15	Mps/Mil	III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	26	25.4	26.6	37.5	0	Mps/Mil	III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	27	26.6	27.6	37.5	15	Mps/Mil	III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	28	27.6	28.3	37.5	0	Mps/Mil	III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	29	28.3	29.0	37.5	0	Mps/Mil	III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	30	29.0	30.1	27.5	0	Mps/Mil	IV/III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	31	30.1	31.0	27.5	0	Mps/Mil/X/A	IV/III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	32	31.0	32.0	27.5	0	Mil/X/A	IV/III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	33	32.0	33.0	27.5	0	Mil/X/A	IV/III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	34	33.0	34.2	27.5	17	Mil/X/A	IV/III
CASP4T	35.0	STP	CASP4T	96531.73	104069.94	56.09	35	34.2	35.0	27.5	12	Mil/X/A	IV/III
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	1	0.0	2.0			A/X	
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	2	2.0	3.0		65	Kr	III
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	3	3.0	4.1		100	Kr	III
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	4	4.1	5.7		90	Mps/Mil/A	III

HOLE	LNGT	TUNN	FLID	XX	YY	ZZ	SAMP	DPT1	DPT2	GSI	RQD	GEOL	STRU
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	5	5.7	7.0		0	Mps/Mil/A	VI
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	6	7.0	8.0		10	Mps/Mil/A	VI
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	7	8.0	8.6		0	Mps/Mil/A	VI
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	8	8.6	9.3		0	Mps/Mil/A	VI
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	9	9.3	9.8		0	Mps/Mil/A	VI
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	10	9.8	10.25		0	Mps/Mil/A	VI
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	11	10.25	10.8		0	Mps/Mil/A	III
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	12	10.8	11.4		0	Mps/Mil/A	VI
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	13	11.4	12.3		0	Mps/Mil/A	III
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	14	12.3	13.0		0	Mps/Mil/A	VI/V
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	15	13.0	14.0		0	Mps/Mil/A	VI
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	16	14.0	14.7		0	Mps/Mil/A	VI
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	17	14.7	15.4		0	Mps/Mil/A	III
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	18	15.4	16.1		0	Mps/Mil/A	V
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	19	16.1	17.2		0	Mps/X	II
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	20	17.2	18.1		10	Mps/X	II
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	21	18.1	19.4		0	Mps/X	III
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	22	19.4	20.4		0	Mps/X	VI
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	23	20.4	21.1		0	Mps/X	II
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	24	21.1	22.6		15	Mps/X	II
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	25	22.6	23.3		20	Mps/X	II
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	26	23.3	24.2		35	Mps/X/Mil/Sx/A	III/II
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	27	24.2	25.2		0	Sx/A	V
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	28	25.2	26.0		0	Sx/A	III
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	29	26.0	27.0		0	Sx/A	III
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	30	27.0	27.8		0	Sx/A	V
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	31	27.8	28.5		0	Sx/A	V
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	32	28.5	29.2		0	Sx/A	III
CP3818	30.0	STP	CP3818	96520.22	104024.08	55.70	33	29.2	30.0		0	Sx/A	VI
Г05	30.8	STP	Г05	96535.7	104086.69	56.84	1	0.0	1.5				
Г05	30.8	STP	Г05	96535.7	104086.69	56.84	2	1.5	3.9		0	Ar	
Г05	30.8	STP	Г05	96535.7	104086.69	56.84	3	3.9	11.5	34,6	0	Sx/Ar	VI/V
Г05	30.8	STP	Г05	96535.7	104086.69	56.84	4	11.5	16.5	37,5	0	Sx	V/IV
Г05	30.8	STP	Г05	96535.7	104086.69	56.84	5	16.5	18.0	37,5	7	Sx	V/IV
Г05	30.8	STP	Г05	96535.7	104086.69	56.84	6	18.0	19.5	37,5	0	Sx	V/IV
Г05	30.8	STP	Г05	96535.7	104086.69	56.84	7	19.5	21.0	48,7	6	Sx	III
Г05	30.8	STP	Г05	96535.7	104086.69	56.84	8	21.0	22.75	22,5	12	Sx	III
Г05	30.8	STP	Г05	96535.7	104086.69	56.84	9	22.75	23.4	37,5	7	Sx	III
Г05	30.8	STP	Г05	96535.7	104086.69	56.84	10	23.4	24.25	37,5	7	Sx	III
Г05	30.8	STP	Г05	96535.7	104086.69	56.84	11	24.25	26.0	37,5	6	Sx	III
Г05	30.8	STP	Г05	96535.7	104086.69	56.84	12	26.0	27.5	37,5	7	Sx	III
Г05	30.8	STP	Г05	96535.7	104086.69	56.84	13	27.5	30.8	32,5	0	Sx	III
Г025	20.8	STP	Г025	96540.87	104031.72	55.8	1	0.0	0.7				
Г025	20.8	STP	Г025	96540.87	104031.72	55.8	2	0.7	1.7			Ar	
Г025	20.8	STP	Г025	96540.87	104031.72	55.8	3	1.7	3.0	57,5		Ar	
Г025	20.8	STP	Г025	96540.87	104031.72	55.8	4	3.0	3.7	57,5	17	Sx	III/II
Г025	20.8	STP	Г025	96540.87	104031.72	55.8	5	3.7	4.5	22,5	17	L	V/IV
Г025	20.8	STP	Г025	96540.87	104031.72	55.8	6	4.5	5.3	22,5	0	L	V/IV

HOLE	LNGT	TUNN	FLID	XX	YY	ZZ	SAMP	DPT1	DPT2	GSI	RQD	GEOL	STRU
FO25	20.8	STP	FO25	96540.87	104031.72	55.8	7	5.3	18.0	35,2	0	Sx/Ar	VI/V
FO25	20.8	STP	FO25	96540.87	104031.72	55.8	8	18.0	19.5	20,5	21	Sx	IV
FO25	20.8	STP	FO25	96540.87	104031.72	55.8	9	19.5	20.1	20,5	14	Sx	VI/V
FO25	20.8	STP	FO25	96540.87	104031.72	55.8	10	20.1	20.8	20,5	14	Sx/Ar	VI/V
FO23	20.0	STP	FO23	96530.99	104048.17	55.9	1	0.0	0.4				
FO23	20.0	STP	FO23	96530.99	104048.17	55.9	2	0.4	3.2			A	
FO23	20.0	STP	FO23	96530.99	104048.17	55.9	3	3.2	5.8	57.5		Sx	
FO23	20.0	STP	FO23	96530.99	104048.17	55.9	4	5.8	6.7	57.5	16	Sx	V
FO23	20.0	STP	FO23	96530.99	104048.17	55.9	5	6.7	7.0	25.5	16	Sx/Ar	V
FO23	20.0	STP	FO23	96530.99	104048.17	55.9	6	7.0	13.2	29,5	0	Sx/Ar	VI/V
FO23	20.0	STP	FO23	96530.99	104048.17	55.9	7	13.2	15.4	37,5	0	Sx	IV/III
FO23	20.0	STP	FO23	96530.99	104048.17	55.9	8	15.4	16.8	37,5	19	Sx	IV/III
FO23	20.0	STP	FO23	96530.99	104048.17	55.9	9	16.8	20.0	37,5	0	Sx/Ar	VI/V
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	1	0.0	2.0			A	
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	2	2.0	2.5		30	Ps/X	III
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	3	2.5	3.0	57.5	80	Ps/X	III
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	4	3.0	3.3	57.5	80	Ps/L	III
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	5	3.3	3.7	57.5	77	Ps/L	III
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	6	3.7	3.9	52.5	77	L/Mps	III
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	7	3.9	4.8	52.5	52	L/Mps	III
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	8	4.8	6.8	37.5	0	Mps/A	III
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	9	6.8	7.7	37.5	51	Mps/A	III
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	10	7.7	8.5	37.5	43	Mps/A	III
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	11	8.5	10.3	27.5	0	Mps/A	IV
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	12	10.3	11.6	37.5	43	Mps/A	III
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	13	11.6	13.0	37.5	71	Mps/A	II
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	14	13.0	14.1	37.5	30	Mps/A	III
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	15	14.1	16.0	37.5	0	Mps/A	V
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	16	16.0	16.2	37.5	100	Mps/A	I
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	17	16.2	16.8	57.5	100	Mps	I
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	18	16.8	17.8	57.5	92	Mps	I
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	19	17.8	18.5	57.5	0	Mps	I
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	20	18.5	19.1	47.5	42	Mps	III
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	21	19.1	19.5	47.5	0	Mps	IV
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	22	19.5	20.3	27.5	75	Mps	III
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	23	20.3	21.2	27.5	30	Mps	III
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	24	21.2	22.1	27.5	0	Mps	III
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	25	22.1	22.8	27.5	60	Mps	III
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	26	22.8	25.4	27.5	0	Mps	IV
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	27	25.4	26.3	47.5	10	Mps	IV
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	28	26.3	27.4	47.5	9	Mps	II
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	29	27.4	28.1	47.5	25	Mps	IV
CBKN1	30.1	STP	CBKN1	96452.89	104124.19	57.72	30	28.1	30.1	47.5	0	Mps	IV/III
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	1,00	0,00	1,00		0,00		
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	2,00	1,00	2,00		0,00	A	
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	3,00	2,00	3,00	57.5	80,00	L	III

HOLE	LNGT	TUNN	FLID	XX	YY	ZZ	SAMP	DPT1	DPT2	GSI	RQD	GEOL	STRU
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	4,00	3,00	3,70	62.5	10,00	Mps	III
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	5,00	3,70	4,40	62.5	90,00	Mps	III
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	6,00	4,40	5,10	62.5	85,00	Mps	III
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	7,00	5,10	6,70	62.5	100,00	Mps	III
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	8,00	6,70	8,10	62.5	95,00	Mps	III
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	9,00	8,10	9,60	62.5	90,00	Mps	III
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	10,00	9,60	10,70	62.5	100,00	Mps	III
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	11,00	10,70	12,00	62.5	100,00	Mps	III
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	12,00	12,00	13,60	62.5	100,00	Mps	III
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	13,00	13,60	14,50	62.5	100,00	Mps	III
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	14,00	14,50	16,10	62.5	90,00	Mps	III
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	15,00	16,10	17,00	62.5	85,00	Mps	III
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	16,00	17,00	17,40	22.5	0,00	Mps	VI
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	17,00	17,40	18,00	22.5	0,00	Mps/Mil	VI
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	18,00	18,00	18,50	22.5	0,00	Mps/Mil	VI
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	19,00	18,50	19,00	22.5	0,00	Mps/Mil	VI
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	20,00	19,00	19,70	22.5	0,00	Mps/Mil	VI
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	21,00	19,70	20,10	22.5	0,00	Mps/Mil	VI
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	22,00	20,10	20,40	22.5	0,00	Mps/Mil	VI
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	23,00	20,40	20,90	22.5	0,00	Mps/Mil	VI
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	24,00	20,90	21,80	27.5	77,00	Mps/Mil	VI
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	25,00	21,80	23,00	27.5	33,00	Mps/Mil	VI
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	26,00	23,00	23,60	27.5	0,00	Mps/Mil	VI
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	27,00	23,60	23,90	27.5	0,00	Mps/Mil	VI
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	28,00	23,90	24,50	27.5	0,00	Mps/Mil	VI
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	29,00	24,50	25,60	27.5	0,00	Mps/Mil	VI
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	30,00	25,60	26,60	27.5	0,00	Mps/Mil	VI
CATE1	27,30	TAP		96605,65	103947,19	53,16	31,00	26,60	27,30	27.5	0,00	Mps/Mil	VI
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	1,00	0,00	1,00			A	
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	2,00	1,00	2,00			A	
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	3,00	2,00	3,00		0,00	Ps	VI
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	4,00	3,00	3,45			Ps	VI
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	5,00	3,45	4,10		0,00	PS	VI
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	6,00	4,10	5,50	47.5	0,00	Ps/Mps	VI
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	7,00	5,50	7,10	47.5	0,00	Mps	IV
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	8,00	7,10	7,15	47.5		Mps	III
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	9,00	7,15	7,90	47.5	0,00	Mps	III
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	10,00	7,90	8,50	32.5	0,00	Mps	III
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	11,00	8,50	9,60	47.5	36,00	Mps	III
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	12,00	9,60	11,10	47.5	80,00	Mps/X	III
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	13,00	11,10	12,10	30.5	0,00	Mps/x	IV
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	14,00	12,10	13,50	30.5	60,00	Mps/x	III/V
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	15,00	13,50	14,30	30.5	0,00	Mps/x	V
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	16,00	14,30	15,40	47.5	72,00	Mps	II/IV
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	17,00	15,40	16,40	47.5	74,00	Mps	II
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	18,00	16,40	18,00	47.5	53,00	Mps	II
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	19,00	18,00	18,80	47.5	60,00	Mps	II
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	20,00	18,80	19,50	47.5	72,00	Mps	II

HOLE	LNGT	TUNN	FLID	XX	YY	ZZ	SAMP	DPT1	DPT2	GSI	RQD	GEOL	STRU
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	21,00	19,50	20,40	47.5	20,00	Mps	II
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	22,00	20,40	21,80	47.5	45,00	Mps	II
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	23,00	21,80	22,80	47.5	65,00	Mps	II
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	24,00	22,80	23,80	32.5	16,00	Mps	II
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	25,00	23,80	25,40	32.5	32,00	Mps	II
CATP1	27,00	TAP		96665,37	103786,41	49,65	26,00	25,40	27,00	32.5	0,00	Mps	II
CATP4	25,00	TAP		96620,32	103902,97	52,51	1,00	0,00	0,90			A	
CATP4	25,00	TAP		96620,32	103902,97	52,51	2,00	0,90	1,80			A	
CATP4	25,00	TAP		96620,32	103902,97	52,51	3,00	1,80	2,30			A	
CATP4	25,00	TAP		96620,32	103902,97	52,51	4,00	2,30	3,70	30,00	95,00	A/Mps	II
CATP4	25,00	TAP		96620,32	103902,97	52,51	5,00	3,70	5,20	30,00	90,00	Mps	II
CATP4	25,00	TAP		96620,32	103902,97	52,51	6,00	5,20	6,70	30,00	90,00	Mps	II
CATP4	25,00	TAP		96620,32	103902,97	52,51	7,00	6,70	8,25	30,00	100,00	Mps	II
CATP4	25,00	TAP		96620,32	103902,97	52,51	8,00	8,25	9,75	65,00	100,00	Mps	II
CATP4	25,00	TAP		96620,32	103902,97	52,51	9,00	9,75	11,20	65,00	100,00	Mps	II
CATP4	25,00	TAP		96620,32	103902,97	52,51	10,00	11,20	12,70	65,00	90,00	Mps	II
CATP4	25,00	TAP		96620,32	103902,97	52,51	11,00	12,70	14,30	65,00	85,00	Mps	II
CATP4	25,00	TAP		96620,32	103902,97	52,51	12,00	14,30	15,90	65,00	47,00	Mps	II
CATP4	25,00	TAP		96620,32	103902,97	52,51	13,00	15,90	17,40	65,00	86,00	Mps	II
CATP4	25,00	TAP		96620,32	103902,97	52,51	14,00	17,40	18,80	65,00	81,00	Mps	II
CATP4	25,00	TAP		96620,32	103902,97	52,51	15,00	18,80	20,30	65,00	30,00	Mps	II
CATP4	25,00	TAP		96620,32	103902,97	52,51	16,00	20,30	21,60	65,00	55,00	Mps	II
CATP4	25,00	TAP		96620,32	103902,97	52,51	17,00	21,60	22,50	42.5	22,00	Mps	II
CATP4	25,00	TAP		96620,32	103902,97	52,51	18,00	22,50	23,40	42.5	44,00	Mps	II
CATP4	25,00	TAP		96620,32	103902,97	52,51	19,00	23,40	25,00	42.5	38,00	Mps	II
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	1,00	0,00	1,00			A	
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	2,00	1,00	2,00			Ps/X	
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	3,00	2,00	3.2		0,00	Ps/X	
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	4,00	3.2	4.7		43,00	Ps/X	
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	5,00	4.7	5.7	65,00	75,00	Ps/L	III
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	6,00	5.7	6.4	20.5	0,00	L/Mil/Mps	IV
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	7,00	6.4	7.1	20.5	0,00	L/Mil/Mps	V
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	8,00	7.1	7.35	20.5		L/Mil/Mps	V
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	9,00	7.35	7.7	20.5	0,00	L/Mil/Mps	V
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	10,00	7.7	8.9	20.5	0,00	L/Mil/Mps	V
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	11,00	8.9	9.8	20.5	15,00	L/Mil/Mps	IV
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	12,00	9.8	10.8	20.5	0,00	L/Mil/Mps	V
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	13,00	10.8	11.8	20.5	0,00	L/Mil/Mps	V
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	14,00	11.8	12.3	20.5	0,00	L/Mil/Mps	V
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	15,00	12.3	13.3	20.5	0,00	L/Mil/Mps	V
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	16,00	13.3	14.6	20.5	0,00	L/Mil/Mps	V
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	17,00	14.6	15.1	20.5	0,00	L/Mil/Mps	V
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	18,00	15.1	15.9	15,00	8,00	Sx/A	VI
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	19,00	15.9	17,00	15,00	0,00	Sx/A	VI
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	20,00	17,00	18.1	15,00	0,00	Sx/A	VI
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	21,00	18.1	18.8	15,00	0,00	Sx/A	VI
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	22,00	18.8	19.6	15,00	0,00	Sx/A	VI
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	23,00	19.6	20.30	15,00	0,00	Sx/A	VI

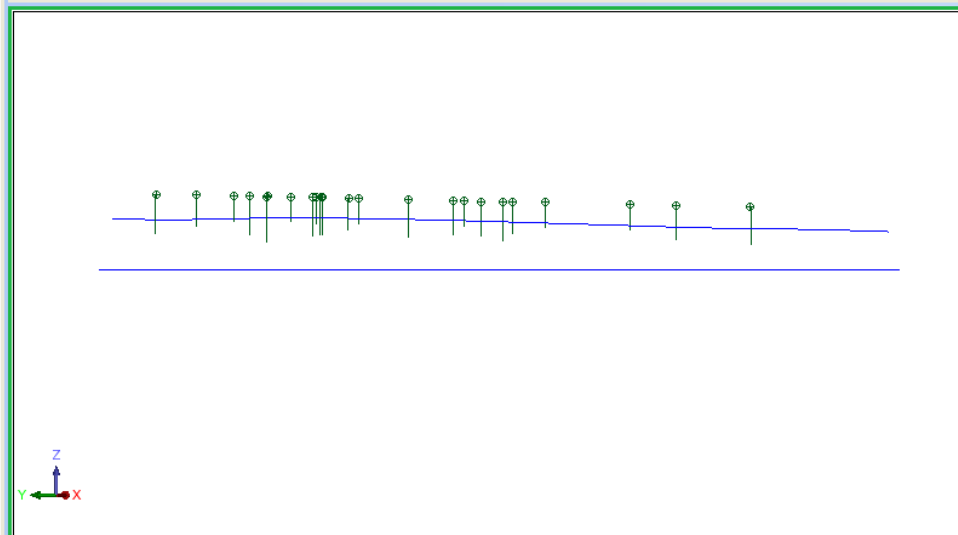
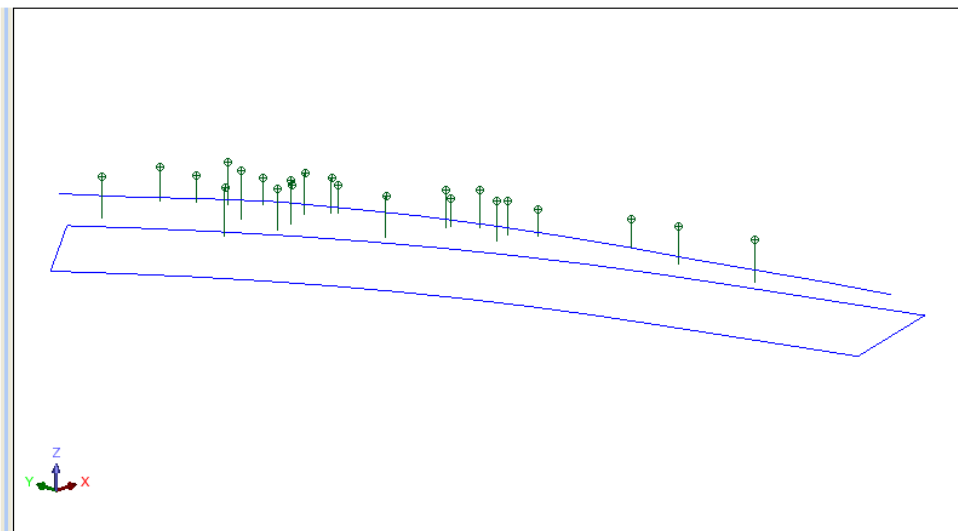
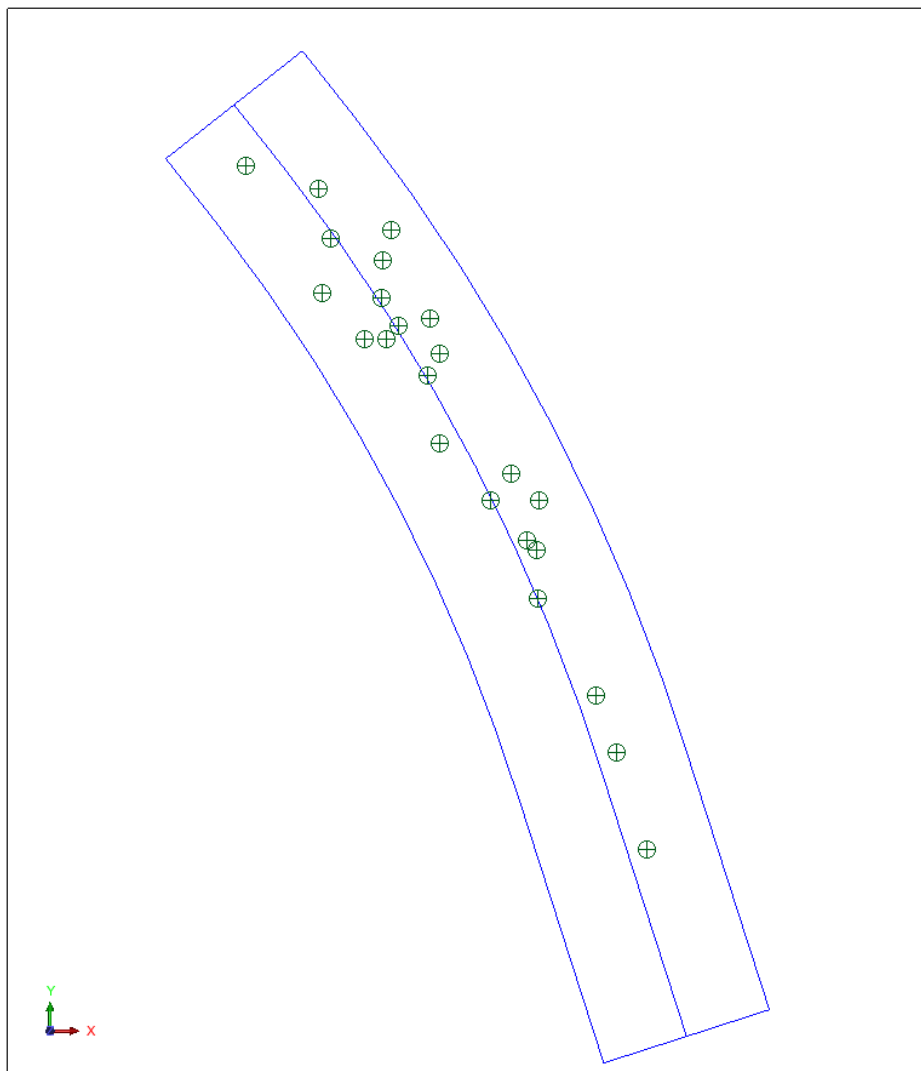
HOLE	LNGT	TUNN	FLID	XX	YY	ZZ	SAMP	DPT1	DPT2	GSI	RQD	GEOL	STRU
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	24,00	20.3	20.8	15,00	0,00	Sx/A	VI
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	25,00	20.8	21.3	15,00	0,00	Sx/A	VI
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	26,00	21.3	22.9	15,00	0,00	Sx/A	VI
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	27,00	22.9	23.2	15,00	0,00	Sx/A	VI
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	28,00	23.2	24,00	15,00	0,00	Sx/A	VI
CATP5	25,00	TAP		96564.53	104016.03	55180,00	29,00	24,00	25,00	15,00	0,00	Sx/A	VI
CAFP1AC	27.1	TAP		96621.87	103931.59	52620,00	1,00	0,00	0.9			A	
CAFP1AC	27.1	TAP		96621.87	103931.59	52620,00	2,00	0.9	1.8			Ar	
CAFP1AC	27.1	TAP		96621.87	103931.59	52620,00	3,00	1.8	2.1			Ar	
CAFP1AC	27.1	TAP		96621.87	103931.59	52620,00	4,00	2.1	2.7	17.5	0,00	L	
CAFP1AC	27.1	TAP		96621.87	103931.59	52620,00	5,00	2.7	3.4	17.5	0,00	L	V
CAFP1AC	27.1	TAP		96621.87	103931.59	52620,00	6,00	3.4	4.9	35,00	62,00	L	II
CAFP1AC	27.1	TAP		96621.87	103931.59	52620,00	7,00	4.9	6.4	35,00	56,00	L/Mps	II
CAFP1AC	27.1	TAP		96621.87	103931.59	52620,00	8,00	6.4	8.0	35,00	45,00	L/Mps	II
CAFP1AC	27.1	TAP		96621.87	103931.59	52620,00	9,00	8.0	9.25	55,00	66,00	Mps	II
CAFP1AC	27.1	TAP		96621.87	103931.59	52620,00	10,00	9.25	10.85	55,00	76,00	Mps	II
CAFP1AC	27.1	TAP		96621.87	103931.59	52620,00	11,00	10.85	12.35	55,00	79,00	Mps	II
CAFP1AC	27.1	TAP		96621.87	103931.59	52620,00	12,00	12.35	13.85	55,00	53,00	Mps	II
CAFP1AC	27.1	TAP		96621.87	103931.59	52620,00	13,00	13.85	15.4	55,00	43,00	Mps	II
CAFP1AC	27.1	TAP		96621.87	103931.59	52620,00	14,00	15.4	16.7	55,00	78,00	Mps	II
CAFP1AC	27.1	TAP		96621.87	103931.59	52620,00	15,00	16.7	18.3	55,00	58,00	Mps	II
CAFP1AC	27.1	TAP		96621.87	103931.59	52620,00	16,00	18.3	19.8	55,00	40,00	Mps	II
CAFP1AC	27.1	TAP		96621.87	103931.59	52620,00	17,00	19.8	21.3	55,00	55,00	Mps	II
CAFP1AC	27.1	TAP		96621.87	103931.59	52620,00	18,00	21.3	22.7	55,00	37,00	Mps	II
CAFP1AC	27.1	TAP		96621.87	103931.59	52620,00	19,00	22.7	24.3	55,00	60,00	Mps	II
CAFP1AC	27.1	TAP		96621.87	103931.59	52620,00	20,00	24.3	25.7	55,00	65,00	Mps	II
CAFP1AC	27.1	TAP		96621.87	103931.59	52620,00	21,00	25.7	27.1	55,00	61,00	Mps	II
G026	20,00	STP-TAP		96557.4557	104003.1437	54.90	1,00	0,00	0.6				
G026	20,00	STP-TAP		96557.4557	104003.1437	54.90	2,00	0.6	1.6			Ar	
G026	20,00	STP-TAP		96557.4557	104003.1437	54.90	3,00	1.6	3.6			Kr	V/VI
G026	20,00	STP-TAP		96557.4557	104003.1437	54.90	4,00	3.6	4.9		25,00	Kr	III/IV
G026	20,00	STP-TAP		96557.4557	104003.1437	54.90	5,00	4.9	5.3			Sx	III/IV
G026	20,00	STP-TAP		96557.4557	104003.1437	54.90	6,00	5.3	5.7			Sx	III/IV
G026	20,00	STP-TAP		96557.4557	104003.1437,00	54.90	7,00	5.7	9.10			Sx	V
G026	20,00	STP-TAP		96557.4557	104003.1437	54.90	8,00	9.10	10.7		35,00	Sx	III/IV
G026	20,00	STP-TAP		96557.4557	104003.1437	54.90	9,00	10.7	12.7			Sx	III/IV
G026	20,00	STP-TAP		96557.4557	104003.1437	54.90	10,00	12.7	18.2			Sx	V
G026	20,00	STP-TAP		96557.4557	104003.1437	54.90	11,00	18.2	20.0			Sx	V
G07	29.8	TAP		96563.84	103964.07	54.26	1,00	0,00	1.5				
G07	29.8	TAP		96563.84	103964.07	54.26	2,00	1.5	2.8			A	
G07	29.8	TAP		96563.84	103964.07	54.26	3,00	2.8	3.2		88,00	A	III
G07	29.8	TAP		96563.84	103964.07	54.26	4,00	3.2	4.1		88,00	Kr	III
G07	29.8	TAP		96563.84	103964.07	54.26	5,00	4.1	4.3		57,00	As-Sx	III
G07	29.8	TAP		96563.84	103964.07	54.26	6,00	4.3	5.7		57,00	As-Sx	III
G07	29.8	TAP		96563.84	103964.07	54.26	7,00	5.7	6.8		34,00	As-Sx	III
G07	29.8	TAP		96563.84	103964.07	54.26	8,00	6.8	7.3		10,00	As-Sx	III
G07	29.8	TAP		96563.84	103964.07	54.26	9,00	7.3	8.3		10,00	Sx	IV
G07	29.8	TAP		96563.84	103964.07	54.26	10,00	8.3	13.7			Sx	IV

HOLE	LNGT	TUNN	FLID	XX	YY	ZZ	SAMP	DPT1	DPT2	GSI	RQD	GEOL	STRU
G07	29.8	TAP		96563.84	103964.07	54.26	11,00	13.7	21.8			Sx	V
G07	29.8	TAP		96563.84	103964.07	54.26	12,00	21.8	22.8		11,00	L-As-Sx	II/III
G07	29.8	TAP		96563.84	103964.07	54.26	13,00	22.8	23.6		20,00	L-As-Sx	V
G07	29.8	TAP		96563.84	103964.07	54.26	14,00	23.6	24,00			Sx	V
G07	29.8	TAP		96563.84	103964.07	54.26	15,00	24,00	24.9			Sx	V
G07	29.8	TAP		96563.84	103964.07	54.26	16,00	24.9	26.1			Sx-	IV
G07	29.8	TAP		96563.84	103964.07	54.26	17,00	26.1	28.9			Sx	V
G07	29.8	TAP		96563.84	103964.07	54.26	18,00	28.9	29.8		11,00	Sx	V
G013	20.6	TAP		96654.20	103819.24	50.63	1,00	0,00	1,00				
G013	20.6	TAP		96654.20	103819.24	50.63	2,00	1,00	2.8			Ar	
G013	20.6	TAP		96654.20	103819.24	50.63	3,00	2.8	6,00			Sx	V
G013	20.6	TAP		96654.20	103819.24	50.63	4,00	6,00	7.5		9,00	Sx	III/IV
G013	20.6	TAP		96654.20	103819.24	50.63	5,00	7.5	9.3		32,00	Sx	II/III
G013	20.6	TAP		96654.20	103819.24	50.63	6,00	9.3	11,00		12,00	Sx	V
G013	20.6	TAP		96654.20	103819.24	50.63	7,00	11,00	14.1			Sx	
G013	20.6	TAP		96654.20	103819.24	50.63	8,00	14.1	15.7		15,00	Sx	
G013	20.6	TAP		96654.20	103819.24	50.63	9,00	15.7	17.5			Sx	
G013	20.6	TAP		96654.20	103819.24	50.63	10,00	17.5	19.1		34,00	Sx	
G013	20.6	TAP		96654.20	103819.24	50.63	11,00	19.1	20.6			Sx	
G028	20,00	TAP		96621.10	103875.20	52.00	1,00	0,00	0.7			Sx	
G028	20,00	TAP		96621.10	103875.20	52.00	2,00	0.7	3.5			A	
G028	20,00	TAP		96621.10	103875.20	52.00	3,00	3.5	5,00			Sx	IV/V
G028	20,00	TAP		96621.10	103875.20	52.00	4,00	5,00	6,00		10,00	Sx	III/IV
G028	20,00	TAP		96621.10	103875.20	52.00	5,00	6,00	7.2			Sx	III/IV
G028	20,00	TAP		96621.10	103875.20	52.00	6,00	7.2	8.5		17,00	As	III/IV
G028	20,00	TAP		96621.10	103875.20	52.00	7,00	8.5	10,00		13,00	As	III/IV
G028	20,00	TAP		96621.10	103875.20	52.00	8,00	10,00	11.8		10,00	As	III/IV
G028	20,00	TAP		96621.10	103875.20	52.00	9,00	11.8	14,60		0,00	As	IV
G028	20,00	TAP		96621.10	103875.20	52.00	10,00	14,60	15,00		0,00	Xz	III/IV
G028	20,00	TAP		96621.10	103875.20	52.00		15,00	18,30		11,00	As	III/IV
G028	20,00	TAP		96621.10	103875.20	52.00	11,00	18.3	20,00		0,00	As	III/IV
G027	21,00	TAP		96593.8068	103931.4688	53.34	1,00	0,00	0.7				
G027	21,00	TAP		96593.8068	103931.4688	53.34	2,00	0.7	1.6			Ar	
G027	21,00	TAP		96593.8068	103931.4688	53.34	3,00	1.6	2.6			Kr	
G027	21,00	TAP		96593.8068	103931.4688	53.34	4,00	2.6	3.4		60,00	kr	
G027	21,00	TAP		96593.8068	103931.4688	53.34	5,00	3.4	4.2		60,00	As	II/III
G027	21,00	TAP		96593.8068	103931.4688	53.34	6,00	4.2	5.9		67,00	As	II/III
G027	21,00	TAP		96593.8068	103931.4688	53.34	7,00	5.9	7.4		86,00	As	II/III
G027	21,00	TAP		96593.8068	103931.4688	53.34	8,00	7.4	8.5		92,00	As	II/III
G027	21,00	TAP		96593.8068	103931.4688	53.34	9,00	8.5	13.2		93,00	As	II/III
G027	21,00	TAP		96593.8068	103931.4688	53.34	10,00	13.2	14.5		92,00	As	II/III
G027	21,00	TAP		96593.8068	103931.4688	53.34	11,00	14.5	16.4		88,00	As	II/III
G027	21,00	TAP		96593.8068	103931.4688	53.34	12,00	16.4	17.8		93,00	As	II/III
G027	21,00	TAP		96593.8068	103931.4688	53.34	13,00	17.8	19.4		88,00	As	II/III
G027	21,00	TAP		96593.8068	103931.4688	53.34	14,00	19.4	21,00		68,00	As	II/III
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	1,00	0,00	2,00			A	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	2,00	2,00	3,00			A	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	3,00	3,00	7,00			Sx	

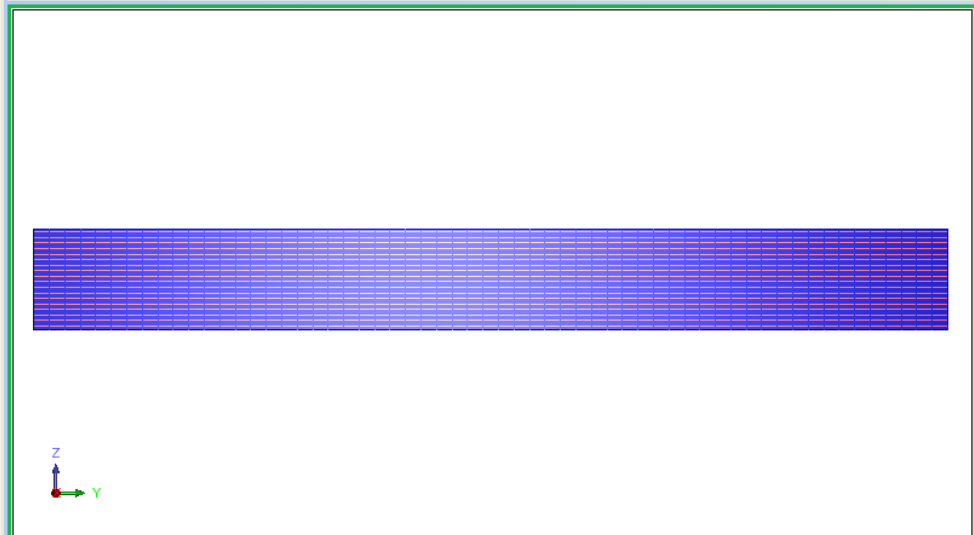
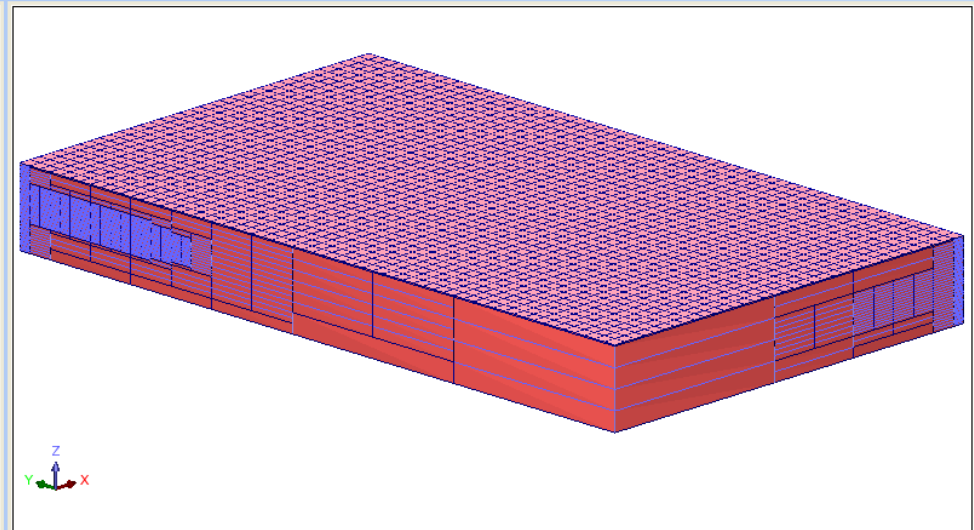
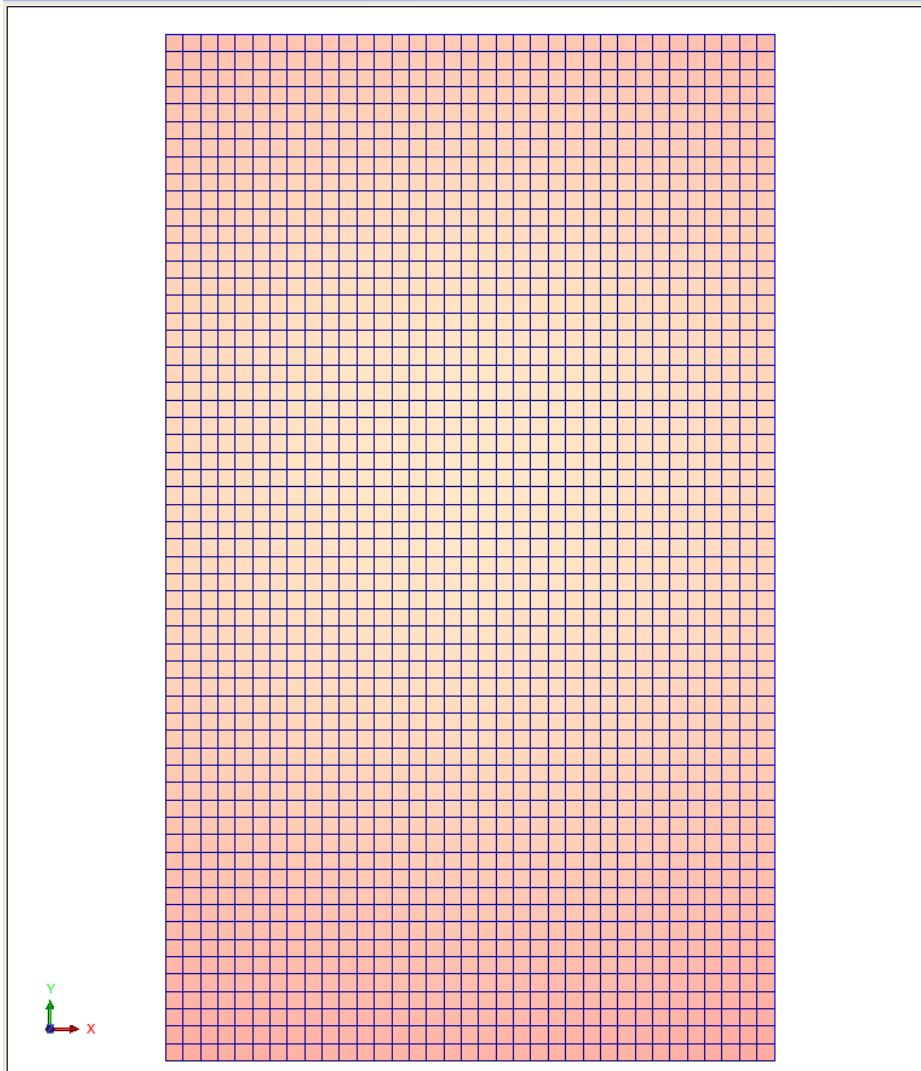
HOLE	LNGT	TUNN	FLID	XX	YY	ZZ	SAMP	DPT1	DPT2	GSI	RQD	GEOL	STRU
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	4,00	7,00	8,00		20,00	Sx	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	5,00	8,00	8.5		30,00	Sx	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	6,00	8.5	9,00		0,00	Sx	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	7,00	9,00	9.5		60,00	Sx	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	8,00	9.5	10.5		0,00	Sx	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	9,00	10.5	11.5		53,00	Sx	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	10,00	11.5	12.5		0,00	Sx	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	11,00	12.5	13.5		10,00	Sx	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	12,00	13.5	14,00		30,00	Sx	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	13,00	14,00	15.5		35,00	As	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	14,00	15.5	17,00		90,00	As	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	15,00	17,00	18.5		70,00	As	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	16,00	18.5	20,00		15,00	As	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	17,00	20,00	20.5		10,00	As	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	18,00	20.5	21.5		10,00	As	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	19,00	21.5	23,00		12,00	As	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	20,00	23,00	24.5		30,00	As	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	21,00	24.5	25,00		10,00	As	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	22,00	25,00	26,00		10,00	As	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	23,00	26,00	27.5		25,00	As	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	24,00	27.5	28,00		13,00	Sx	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	25,00	28,00	29,00		24,00	Sx	
G25	30,00	TAP		96684.0480	103730.8743	48.65	26,00	29,00	30,00			Sx	
G17	30,00	TAP		96615.1041	103908.5556	52.34	1,00	0,00	2.4			X	
G17	30,00	TAP		96615.1041	103908.5556	52.34	2,00	2.4	4,00		25,00	Mps	
G17	30,00	TAP		96615.1041	103908.5556	52.34	3,00	4,00	5.5		70,00	Sx	
G17	30,00	TAP		96615.1041	103908.5556	52.34	4,00	5.5	6.5		19,00	Sx	
G17	30,00	TAP		96615.1041	103908.5556	52.34	5,00	6.5	8,00		70,00	Sx	
G17	30,00	TAP		96615.1041	103908.5556	52.34	6,00	8,00	10,00		80,00	Sx	
G17	30,00	TAP		96615.1041	103908.5556	52.34	7,00	10,00	11.5		100,00	Sx	
G17	30,00	TAP		96615.1041	103908.5556	52.34	8,00	11.5	13,00		100,00	Sx	
G17	30,00	TAP		96615.1041	103908.5556	52.34	9,00	13,00	14.5		98,00	Sx	
G17	30,00	TAP		96615.1041	103908.5556	52.34	10,00	14.5	15.5		100,00	Sx	
G17	30,00	TAP		96615.1041	103908.5556	52.34	11,00	15.5	17.5		77,00	Sx	
G17	30,00	TAP		96615.1041	103908.5556	52.34	12,00	17.5	18,00		60,00	Sx	
G17	30,00	TAP		96615.1041	103908.5556	52.34	13,00	18,00	20,00		60,00	Sx	
G17	30,00	TAP		96615.1041	103908.5556	52.34	14,00	20,00	21.5		18,00	Sx	
G17	30,00	TAP		96615.1041	103908.5556	52.34	15,00	21.5	23.5		15,00	Sx	
G17	30,00	TAP		96615.1041	103908.5556	52.34	16,00	23.5	25,00		0,00	Sx	
G17	30,00	TAP		96615.1041	103908.5556	52.34	17,00	25,00	26.5		44,00	Sx	
G17	30,00	TAP		96615.1041	103908.5556	52.34	18,00	26.5	28,00		0,00	Sx	
G17	30,00	TAP		96615.1041	103908.5556	52.34	19,00	28,00	30,00		0,00	Sx	
G024	20.5	STP		965016974,00	1040824716,00	66.98	1,00	0,00	0.7			A	
G024	20.5	STP		965016974,00	1040824716,00	66.98	2,00	0.7	2.2			A	
G024	20.5	STP		965016974,00	1040824716,00	66.98	3,00	2.2	3.5		32,00	Kr	V/VI
G024	20.5	STP		965016974,00	1040824716,00	66.98	4,00	3.5	5.4		44,00	Kr	IV
G024	20.5	STP		965016974,00	1040824716,00	66.98	5,00	5.4	6.5			Kr	V
G024	20.5	STP		965016974,00	1040824716,00	66.98	6,00	6.5	16.6			Sx	V

HOLE	LNGT	TUNN	FLID	XX	YY	ZZ	SAMP	DPT1	DPT2	GSI	RQD	GEOL	STRU
GO24	20.5	STP		965016974,00	1040824716,00	66.98	7,00	16.6	18.3		13,00	Sx	V
GO24	20.5	STP		965016974,00	1040824716,00	66.98	8,00	18.3	19.5		12,00	Sx	V
GO24	20.5	STP		965016974,00	1040824716,00	66.98	9,00	19.5	20.5		0,00	Sx	V
GO22	25,00	STP		96495.14	104110.98	57.4	1,00	0,00	0.2			A	
GO22	25,00	STP		96495.14	104110.98	57.4	2,00	0.2	0.7			Ar	
GO22	25,00	STP		96495.14	104110.98	57.4	3,00	0.7	1.8			A	
GO22	25,00	STP		96495.14	104110.98	57.4	4,00	1.8	2.95			Kr/Ar	
GO22	25,00	STP		96495.14	104110.98	57.4	5,00	2.95	3.6		16,00	Kr	
GO22	25,00	STP		96495.14	104110.98	57.4	6,00	3.6	4.2		16,00	A/Sx	
GO22	25,00	STP		96495.14	104110.98	57.4	7,00	4.2	5.2		13,00	A/Sx	
GO22	25,00	STP		96495.14	104110.98	57.4	8,00	5.2	9.5			A/Sx	
GO22	25,00	STP		96495.14	104110.98	57.4	9,00	9.5	10.6		10,00	A/Sx	
GO22	25,00	STP		96495.14	104110.98	57.4	10,00	10.6	13.2			A/Sx	
GO22	25,00	STP		96495.14	104110.98	57.4	11,00	13.2	14.8		12,00	A/Sx	
GO22	25,00	STP		96495.14	104110.98	57.4	12,00	14.8	17.4		8,00	A/Sx	
GO22	25,00	STP		96495.14	104110.98	57.4	13,00	17.4	25,00		0,00	A/Sx	

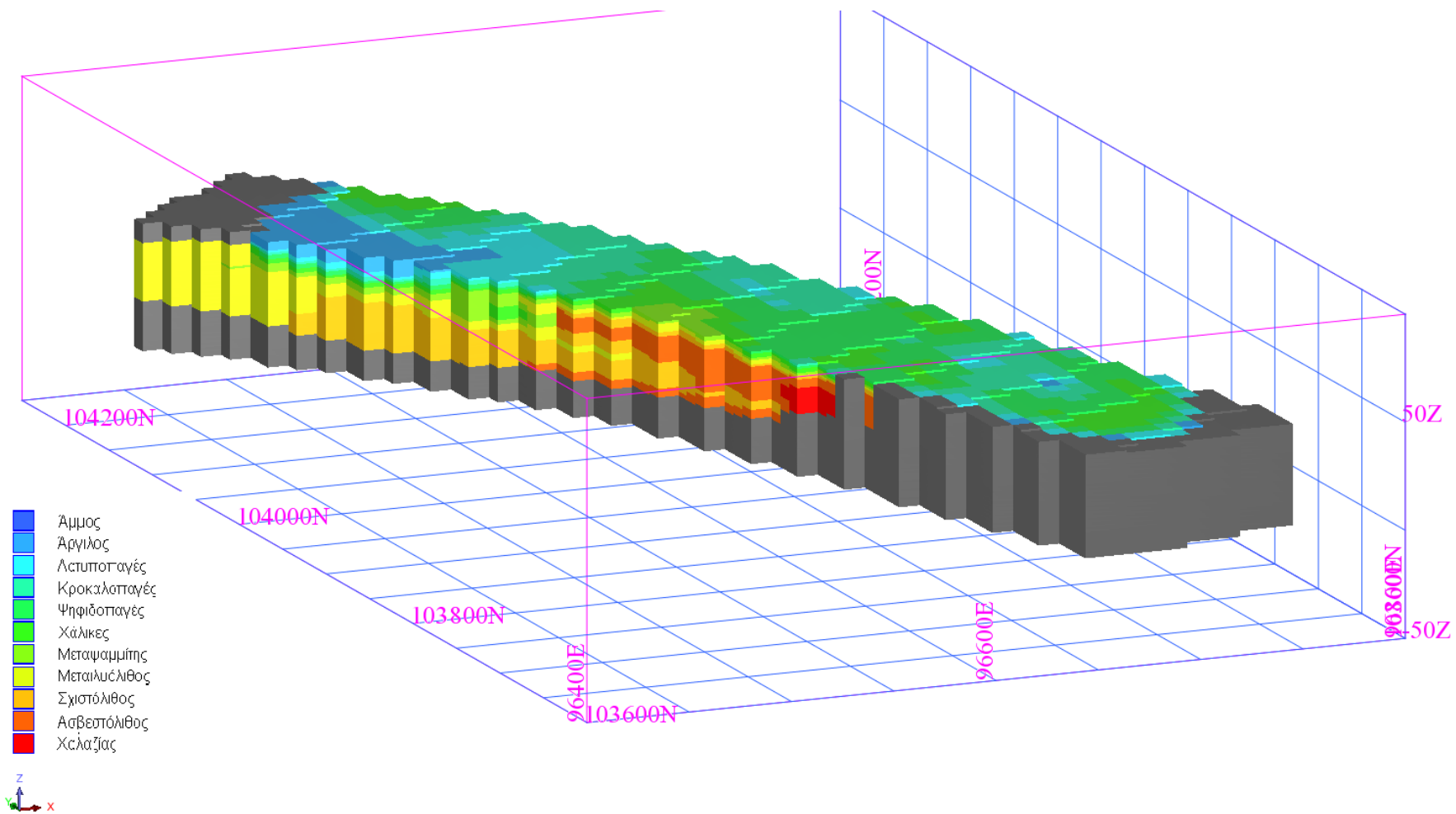
Παράρτημα 2 – Surpac



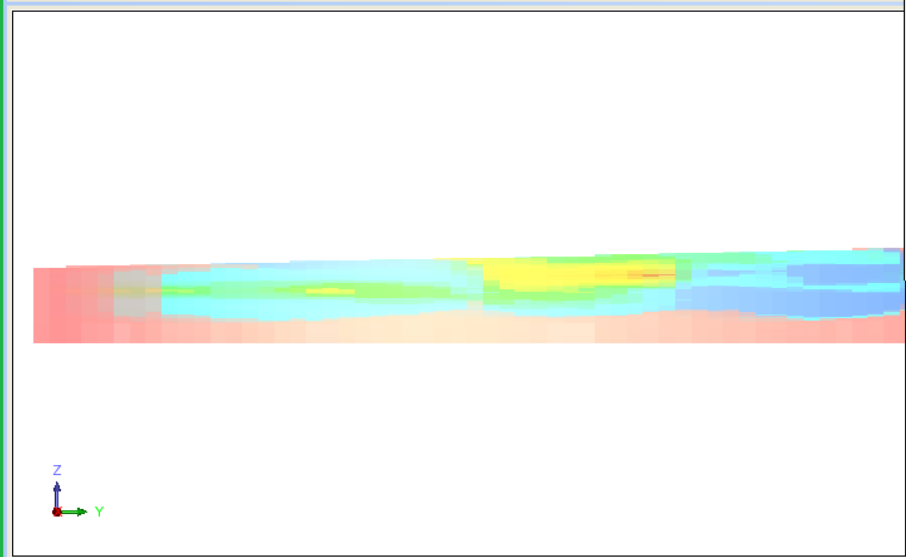
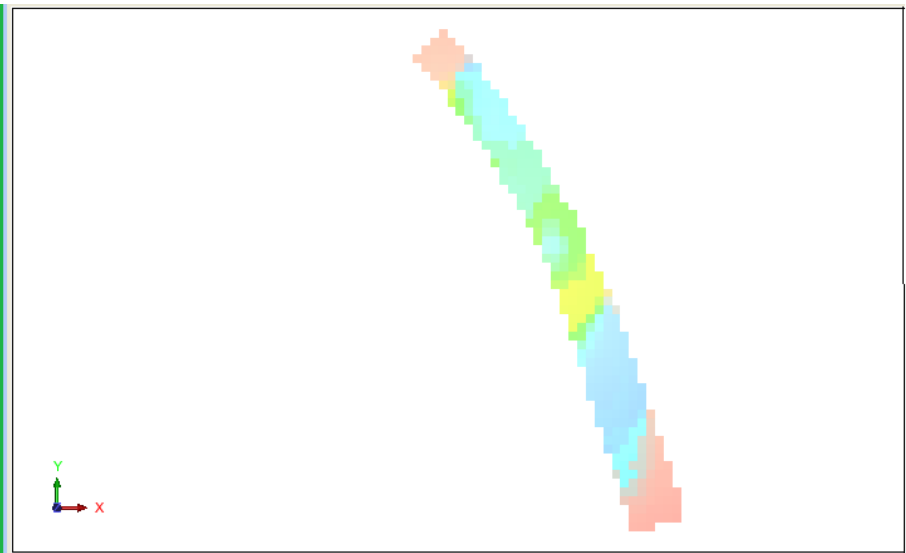
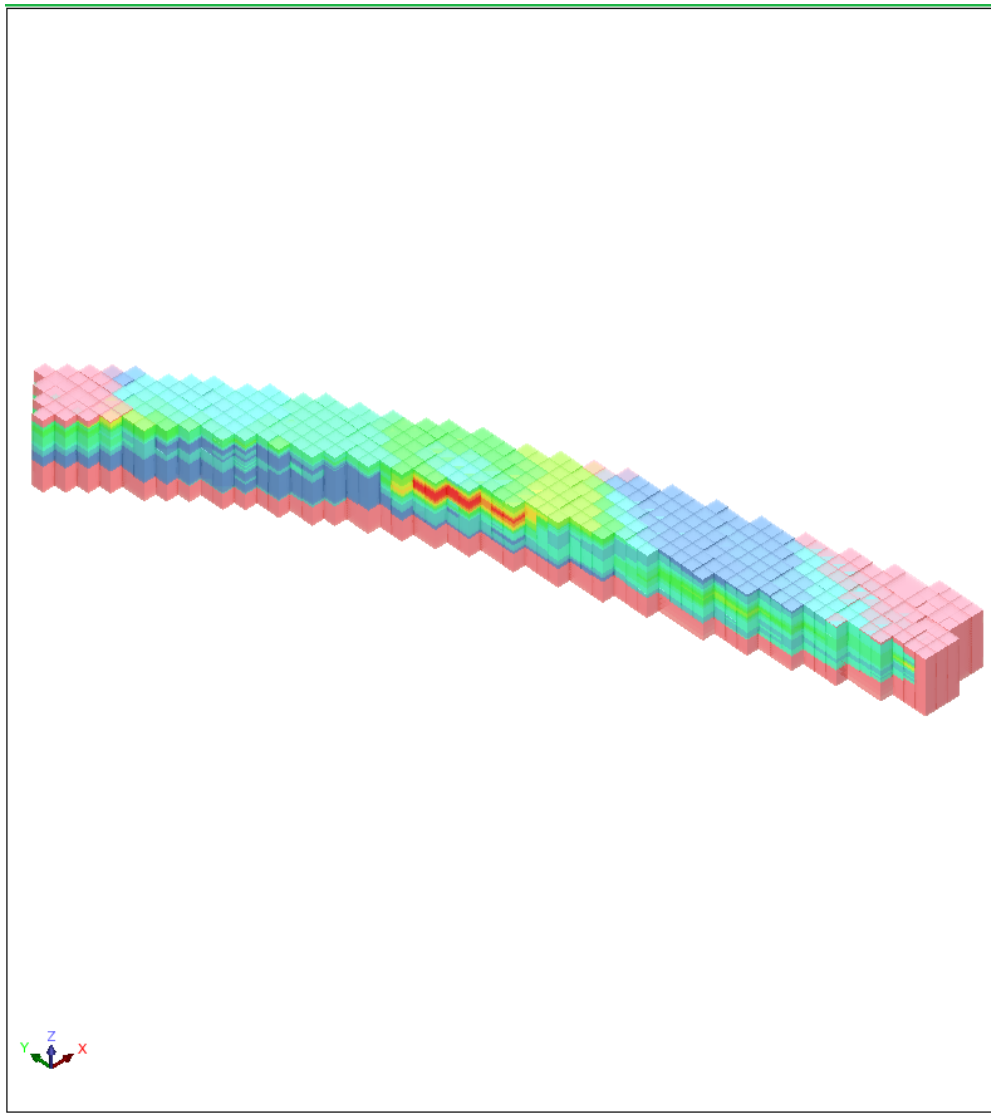
Βάση δεδομένων όπου φαίνονται οι γεωτρήσεις σε σχέση με τη χάραξη του έργου και τον άξονα της σήραγγας



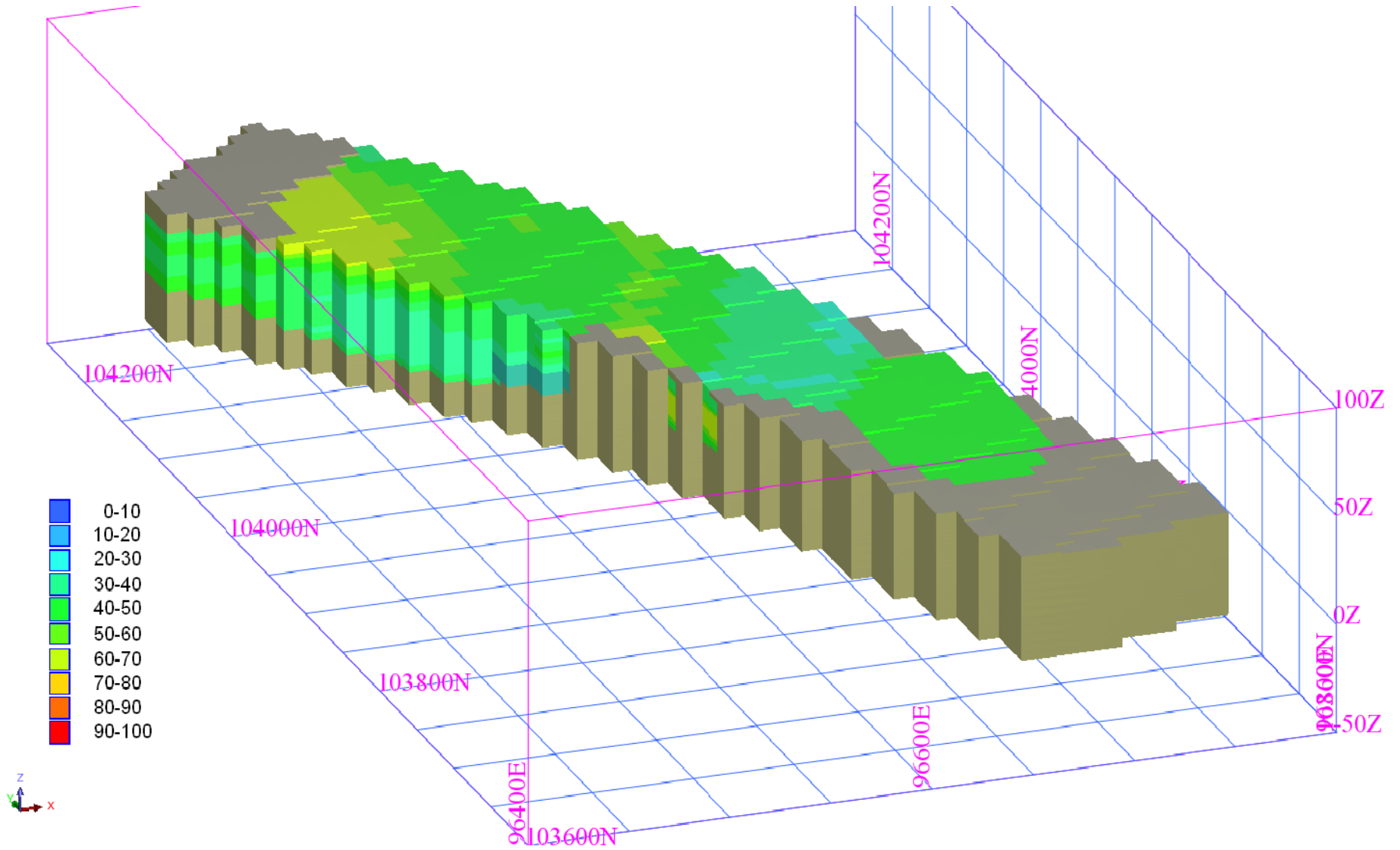
Δημιουργία αρχικού τρισδιάστατου μοντέλου με τις συντεταγμένες της περιοχής μελέτης



Μοντέλο Geol, όπου απεικονίζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης

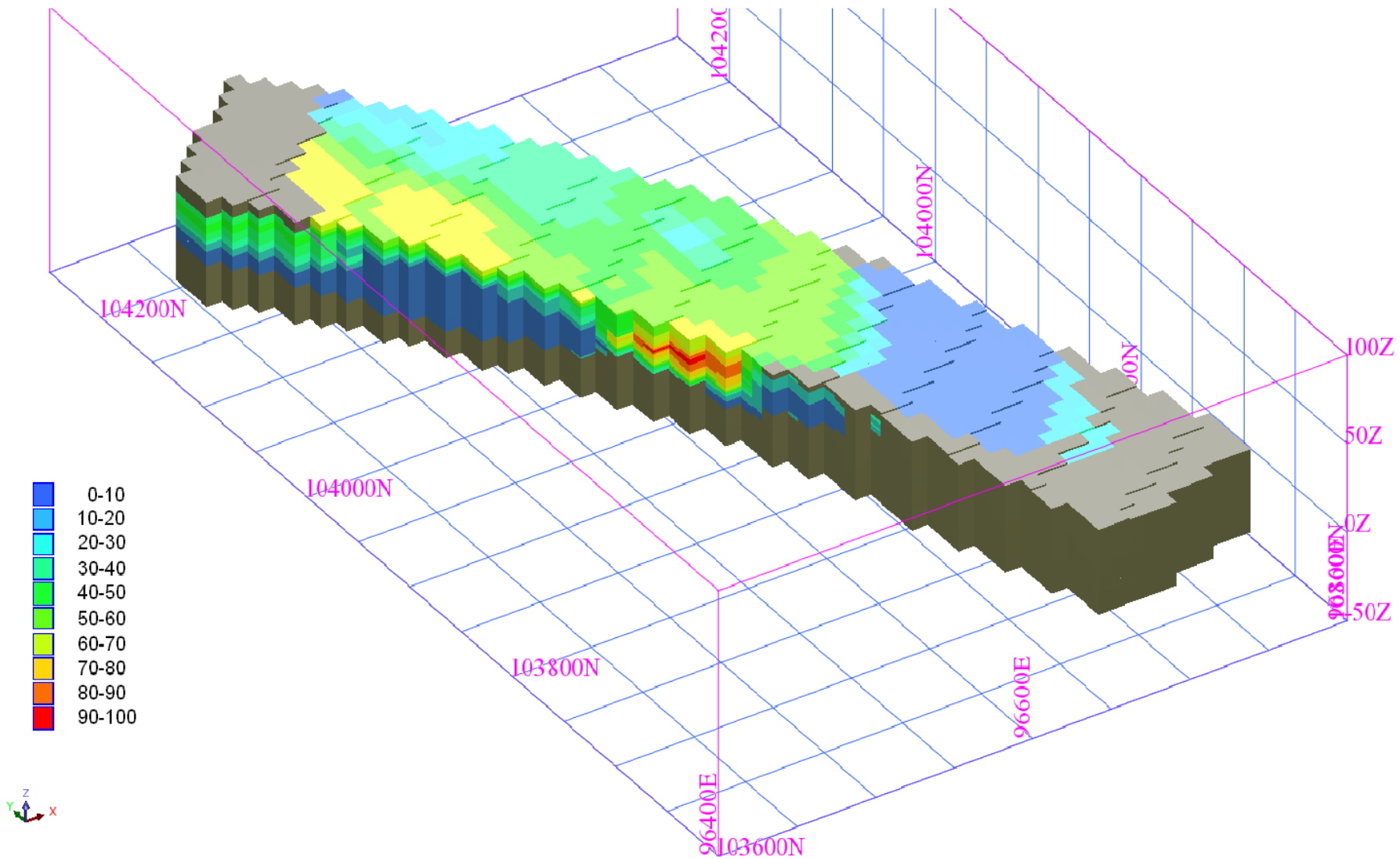


Μοντέλο Geol, τομή στον άξονα της σήραγγας

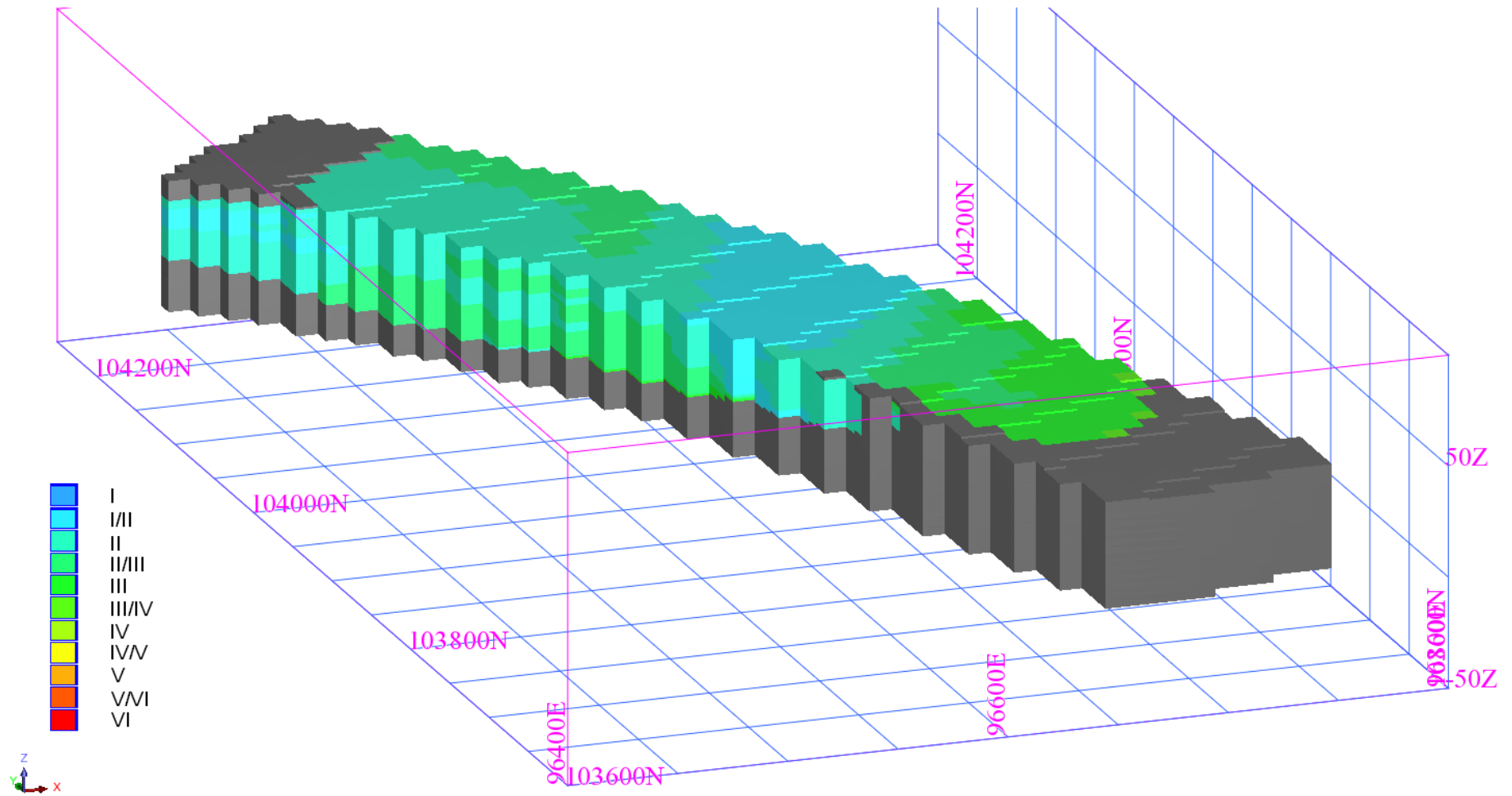


- 0-10
- 10-20
- 20-30
- 30-40
- 40-50
- 50-60
- 60-70
- 70-80
- 80-90
- 90-100

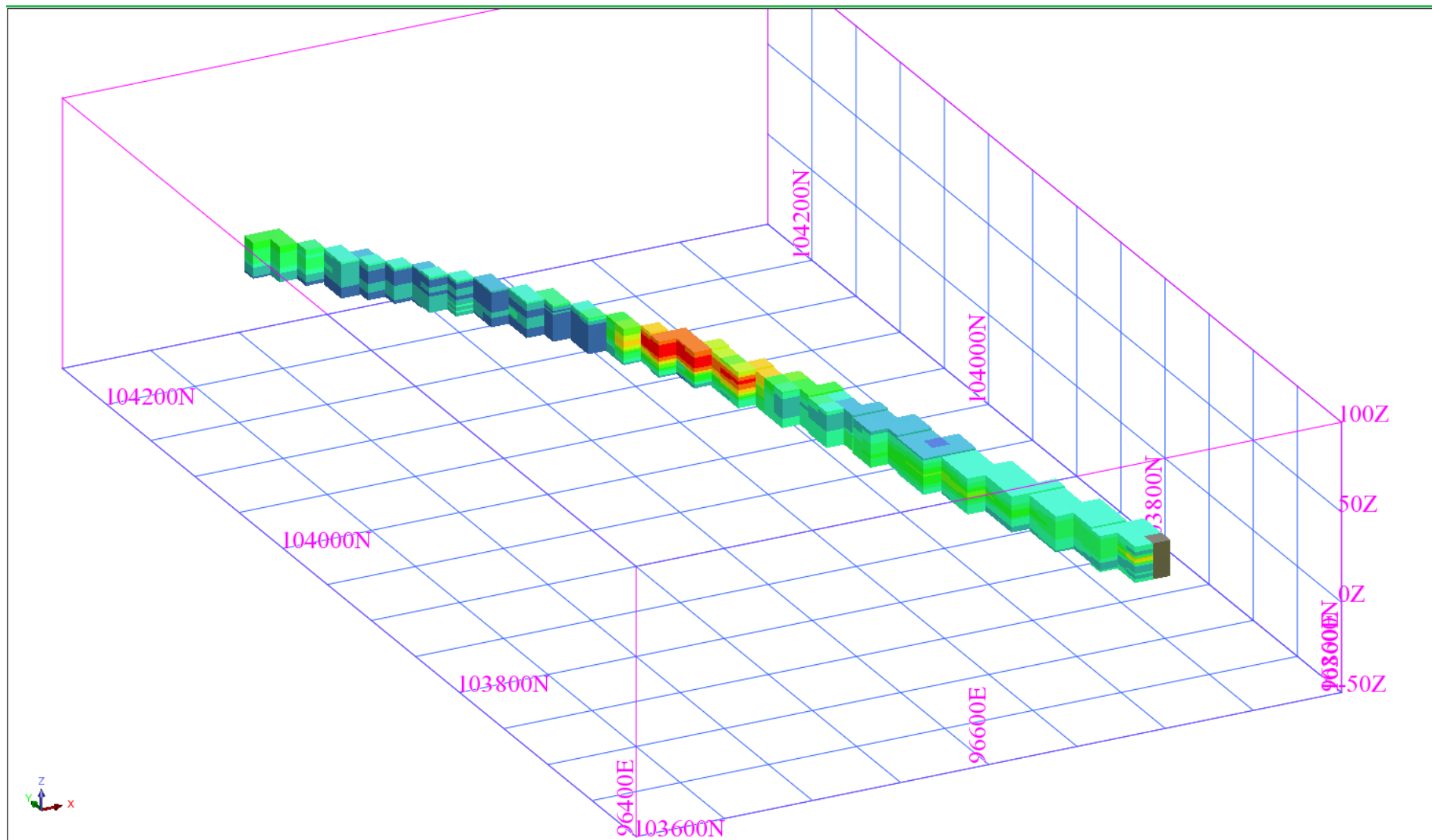
Μοντέλο GSI



Μοντέλο RQD



Μοντέλο Stru, Βαθμός αποσάθρωσης γεωλογικών σχηματισμών



Μοντέλο Stru με οπτικό περιορισμό στις διαστάσεις της σήραγγας

Αποτελέσματα GEOL

Area 1

Geol	Cumulative Volume	%
1	0	0%
2	0	0%
3	0	0%
4	0	0%
5	0	0%
6	0	0%
7	0	0%
8	500	0%
9	40400	28%
10	101600	71%
11	0	0%

Area 4

Geol	Cumulative Volume	%
1	0	0%
2	0	0%
3	0	0%
4	300	0%
5	3700	2%
6	9200	5%
7	49900	26%
8	62100	33%
9	51900	27%
10	12900	7%
11	0	0%

Area 2

Geol	Cumulative Volume	%
1	0	0%
2	0	0%
3	0	0%
4	0	0%
5	0	0%
6	0	0%
7	46400	26%
8	68200	38%
9	43700	24%
10	21500	12%
11	0	0%

Area 5

Geol	Cumulative Volume	%
1	100	0%
2	1700	1%
3	1700	1%
4	2100	1%
5	15900	8%
6	20600	11%
7	42500	23%
8	78500	42%
9	25000	13%
10	0	0%
11	0	0%

Area 3

Geol	Cumulative Volume	%
1	0	0%
2	0	0%
3	0	0%
4	0	0%
5	100	0%
6	800	0%
7	12900	7%
8	56200	29%
9	87900	46%
10	33000	17%
11	0	0%

Area 6

Geol	Cumulative Volume	%
1	0	0%
2	600	0%
3	2100	1%
4	3200	2%
5	4900	3%
6	8800	5%
7	107500	58%
8	49100	27%
9	8100	4%
10	0	0%
11	0	0%

Αποτελέσματα STRU

Area 1			Area 4		
Stru	Volume	%	Stru	Volume	%
0 - 1	0	0,0%	0 - 1	0	0,0%
1 - 2	0	0,0%	1 - 2	0	0,0%
2 - 3	24200	0,0%	2 - 3	59000	31,1%
3 - 4	9600	0,0%	3 - 4	47700	25,1%
4 - 5	100	0,0%	4 - 5	68900	36,3%
5 - 6	0	0,0%	5 - 6	14400	7,6%
6 - 7	0	0,0%	6 - 7	0	0,0%
7 - 8	0	0,0%	7 - 8	0	0,0%
8 - 9	0	0,0%	8 - 9	0	0,0%
9 - 10	0	0,0%	9 - 10	0	0,0%
10 - 11	0	0,0%	10 - 11	0	0,0%
11 - 12	0	0,0%	11 - 12	0	0,0%
Area 2			Area 5		
Stru	Volume	%	Stru	Volume	%
0 - 1	0	0,0%	0 - 1	0	0,0%
1 - 2	0	0,0%	1 - 2	0	0,0%
2 - 3	113600	63,9%	2 - 3	500	0,3%
3 - 4	63100	35,5%	3 - 4	68300	36,3%
4 - 5	1100	0,6%	4 - 5	100000	53,2%
5 - 6	0	0,0%	5 - 6	19300	10,3%
6 - 7	0	0,0%	6 - 7	0	0,0%
7 - 8	0	0,0%	7 - 8	0	0,0%
8 - 9	0	0,0%	8 - 9	0	0,0%
9 - 10	0	0,0%	9 - 10	0	0,0%
10 - 11	0	0,0%	10 - 11	0	0,0%
11 - 12	0	0,0%	11 - 12	0	0,0%
Area 3			Area 6		
Stru	Volume	%	Stru	Volume	%
0 - 1	0	0,0%	0 - 1	0	0,0%
1 - 2	0	0,0%	1 - 2	100	0,1%
2 - 3	107900	56,6%	2 - 3	42000	22,8%
3 - 4	79000	41,4%	3 - 4	111800	60,7%
4 - 5	3600	1,9%	4 - 5	29400	16,0%
5 - 6	100	0,1%	5 - 6	1000	0,5%
6 - 7	0	0,0%	6 - 7	0	0,0%
7 - 8	0	0,0%	7 - 8	0	0,0%
8 - 9	0	0,0%	8 - 9	0	0,0%
9 - 10	0	0,0%	9 - 10	0	0,0%
10 - 11	0	0,0%	10 - 11	0	0,0%
11 - 12	0	0,0%	11 - 12	0	0,0%

Αποτελέσματα GSI

Area 1

Cumulative Gsi Range			Cumulative Volume	%
0	10	0-10	0	0%
10	20	10-20	0	0%
20	30	20-30	0	0%
30	40	30-40	13300	39%
40	50	40-50	20600	61%
50	60	50-60	0	0%
60	70	60-70	0	0%
70	80	70-80	0	0%
80	90	80-90	0	0%
90	100	90-100	0	0%

Area 4

Cumulative Gsi Range			Cumulative Volume	%
0	10	0-10	0	0%
10	20	10-20	19500	10%
20	30	20-30	41900	22%
30	40	30-40	38500	20%
40	50	40-50	25100	13%
50	60	50-60	48600	26%
60	70	60-70	14400	8%
70	80	70-80	0	0%
80	90	80-90	0	0%
90	100	90-100	0	0%

Area 2

Cumulative Gsi Range			Cumulative Volume	%
0	10	0-10	0	0%
10	20	10-20	0	0%
20	30	20-30	0	0%
30	40	30-40	38900	23%
40	50	40-50	133900	77%
50	60	50-60	0	0%
60	70	60-70	0	0%
70	80	70-80	0	0%
80	90	80-90	0	0%
90	100	90-100	0	0%

Area 5

Cumulative Gsi Range			Cumulative Volume	%
0	10	0-10	0	0%
10	20	10-20	13500	7%
20	30	20-30	78600	42%
30	40	30-40	90800	48%
40	50	40-50	5200	3%
50	60	50-60	0	0%
60	70	60-70	0	0%
70	80	70-80	0	0%
80	90	80-90	0	0%
90	100	90-100	0	0%

Area 3

Cumulative Gsi Range			Cumulative Volume	%
0	10	0-10	0	0%
10	20	10-20	0	0%
20	30	20-30	0	0%
30	40	30-40	5200	3%
40	50	40-50	65300	35%
50	60	50-60	73600	39%
60	70	60-70	42900	23%
70	80	70-80	0	0%
80	90	80-90	0	0%
90	100	90-100	0	0%

Area 6

Cumulative Gsi Range			Cumulative Volume	%
0	10	0-10	0	0%
10	20	10-20	0	0%
20	30	20-30	15300	8%
30	40	30-40	124800	68%
40	50	40-50	44100	24%
50	60	50-60	100	0%
60	70	60-70	0	0%
70	80	70-80	0	0%
80	90	80-90	0	0%
90	100	90-100	0	0%

Αποτελέσματα RQD

Area 1		
Rqd Range	Volume	%
0-10	0	0%
10-20	25600	18%
20-30	47700	33%
30-40	55200	39%
40-50	9600	7%
50-60	3600	3%
60-70	700	0%
70-80	100	0%
80-90	0	0%
90-100	0	0%

Area 2		
Rqd Range	Volume	%
0-10	2200	1%
10-20	15800	9%
20-30	50300	28%
30-40	49300	28%
40-50	47000	26%
50-60	13400	8%
60-70	400	0%
70-80	0	0%
80-90	0	0%
90-100	0	0%

Area 3		
Rqd Range	Volume	%
0-10	3700	2%
10-20	35400	19%
20-30	52700	28%
30-40	40300	21%
40-50	23600	12%
50-60	9400	5%
60-70	7800	4%
70-80	7700	4%
80-90	7100	4%
90-100	3100	2%

Area 4

Rqd Range	Volume	%
0-10	26500	14%
10-20	16500	9%
20-30	22000	12%
30-40	16500	9%
40-50	18200	10%
50-60	11700	6%
60-70	18800	10%
70-80	21200	11%
80-90	21600	11%
90-100	17000	9%

Area 5

Rqd Range	Volume	%
0-10	114900	61%
10-20	56000	30%
20-30	13400	7%
30-40	2800	1%
40-50	1000	1%
50-60	0	0%
60-70	0	0%
70-80	0	0%
80-90	0	0%
90-100	0	0%

Area 6

Rqd Range	Volume	%
0-10	49000	27%
10-20	51600	28%
20-30	27600	15%
30-40	39200	21%
40-50	16200	9%
50-60	600	0%
60-70	100	0%
70-80	0	0%
80-90	0	0%
90-100	0	0%

Παράρτημα 3 – CRYSTAL BALL

Εκτίμηση Δείκτη Τρωτότητας

Area 1

Παράμετρος	αι%	Βαθμονόμηση				έλεγχος	CB Data	Weighting	σταθμισμένα
		0	1	2	3				
Ασυνέχειες RQD	0,1411	0	51	48	1	100	1,5	0,1411	7,06
Αποσάθρωση	0,1331	0	0	29	71	100	2,71	0,1331	12,02
Συντελεστής Ευστάθειας	0,1169	0	39	61	0	100	1,61	0,1169	6,27
Ποιότητα Βραχώμαζας GSI	0,1452	0	0	94	6	100	2,06	0,1452	9,97
Αντοχή Πετρώματος	0,1169	0	0	30	70	100	2,7	0,1169	10,52
Βάθος Κατασκευής	0,0927	58	25	17	0	100	0,59	0,0927	1,82
Υδρογεωλογικές Συνθήκες	0,1371	0	100	0	0	100	1	0,1371	4,57
Διαπερατότητα	0,1169	0	0	100	0	100	2	0,1169	7,79

δείκτης τρωτότητας area 1

39,97

Area 2

Παράμετρος	αι%	Βαθμονόμηση				έλεγχος	CB Data	Weighting	
		0	1	2	3				
Ασυνέχειες RQD	0,141								
Αποσάθρωση	0,133								
Συντελεστής Ευστάθειας	0,117								
Ποιότητα Βραχώμαζας GSI	0,145								
Αντοχή Πετρώματος	0,117								
Βάθος Κατασκευής	0,093								
Υδρογεωλογικές Συνθήκες	0,137								
Διαπερατότητα	0,117								
rqd		1	37	61	0	100	1,61	0,1411	7,57
stru		0	0	36	64	100	2,64	0,1331	11,71
gsi		0	23	77	0	100	1,77	0,1169	6,90
sc		0	59	41	0	100	1,41	0,1452	6,82
N		0	33	67	0	100	1,67	0,1169	6,51
permeability		0	8	92	0	100	1,92	0,0927	5,93
upsos udroforou		0	100	0	0	100	1	0,1371	4,57
uperkeimena		0	100	0	0	100	1	0,1169	3,90

δείκτης τρωτότητας area 2

46,09

Area 3

Παράμετρος	αι%	Βαθμονόμηση				έλεγχος	CB Data	Weighting	
		0	1	2	3				
Ασυνέχειες RQD	0,141								
Αποσάθρωση	0,133								
Συντελεστής Ευστάθειας	0,117								
Ποιότητα Βραχώμαζας GSI	0,145								
Αντοχή Πετρώματος	0,117								
Βάθος Κατασκευής	0,093								
Υδρογεωλογικές Συνθήκες	0,137								
Διαπερατότητα	0,117								
		0	1	2	3				
rqd		2	46	38	13	100	1,63	0,1411	7,67
stru		0	0	43	57	100	2,57	0,1331	11,40
gsi		0	3	74	23	100	2,2	0,1169	8,57
sc		0	49	51	0	100	1,51	0,1452	7,31
N		0	19	81	0	100	1,81	0,1169	7,05
permeability		0	24	76	0	100	1,76	0,0927	5,44
upsos udroforou		0	100	0	0	100	1	0,1371	4,57
uperkeimena		0	100	0	0	100	1	0,1169	3,90

δείκτης τρωτότητας area 3

44,09

Area 4

Παράμετρος	αι%
Ασυνέχειες RQD	0,141
Αποσάθρωση	0,133
Συντελεστής Ευστάθειας	0,117
Ποιότητα Βραχώμαζας GSI	0,145
Αντοχή Πετρώματος	0,117
Βάθος Κατασκευής	0,093
Υδρογεωλογικές Συνθήκες	0,137
Διαπερατότητα	0,117

	Βαθμονόμηση				έλεγχος	CB Data	Weighting	
	0	1	2	3				
rqd	14	20	24	41	100	1,93	0,1411	9,08
stru	0	8	61	31	100	2,23	0,1331	9,89
gsi	32	21	40	7	100	1,22	0,1169	4,75
sc	0	71	29	0	100	1,29	0,1452	6,24
N	4	96	0	0	100	0,96	0,1169	3,74
permeability	0	19	81	0	100	1,81	0,0927	5,59
upsos udroforou	0	100	0	0	100	1	0,1371	4,57
uperkeimena	0	100	0	0	100	1	0,1169	3,90

δείκτης τρωτότητας area 4

52,23

Area 5

Παράμετρος	αι%	Βαθμονόμηση				έλεγχος	CB Data	Weighting	
		0	1	2	3				
Ασυνέχειες RQD	0,141								
Αποσάθρωση	0,133								
Συντελεστής Ευστάθειας	0,117								
Ποιότητα Βραχώμαζας GSI	0,145								
Αντοχή Πετρώματος	0,117								
Βάθος Κατασκευής	0,093								
Υδρογεωλογικές Συνθήκες	0,137								
Διαπερατότητα	0,117								
rqd		61	37	2	0	100	0,41	0,1411	1,93
stru		0	10	90	0	100	1,9	0,1331	8,43
gsi		49	48	3	0	100	0,54	0,1169	2,10
sc		0	86	14	0	100	1,14	0,1452	5,52
N		99	1	0	0	100	0,01	0,1169	0,04
permeability		4	43	53	0	100	1,49	0,0927	4,60
upsos udroforou		0	100	0	0	100	1	0,1371	4,57
uperkeimena		0	100	0	0	100	1	0,1169	3,90

δείκτης τρωτότητας area 5

68,91

Area 6

Παράμετρος	αι%	Βαθμονόμηση				έλεγχος	CB Data	Weighting	
		0	1	2	3				
Ασυνέχειες RQD	0,141								
Αποσάθρωση	0,133								
Συντελεστής Ευστάθειας	0,117								
Ποιότητα Βραχώμαζας GSI	0,145								
Αντοχή Πετρώματος	0,117								
Βάθος Κατασκευής	0,093								
Υδρογεωλογικές Συνθήκες	0,137								
Διαπερατότητα	0,117								
rqd		27	43	30	0	100	1,03	0,1411	4,84
stru		0	1	77	23	100	2,22	0,1331	9,85
gsi		8	68	24	0	100	1,16	0,1169	4,52
sc		0	68	32	0	100	1,32	0,1452	6,39
N		6	94	0	0	100	0,61	0,1169	2,38
permeability		0	11	89	0	100	1,89	0,0927	5,84
upsos udroforou		0	100	0	0	100	1	0,1371	4,57
uperkeimena		0	100	0	0	100	1	0,1169	3,90

δείκτης τρωτότητας area 6

57,71

area1				
Number	1000	Up to		0
Mean	39,97	25	[20,25)	0
St Dev	4,84	30	[25,30)	28
Skew	0,13	35	[30,35)	116
Min	27,83	40	[35,40)	349
Q1	36,56	45	[40,45)	403
Median	40,19	50	[45,50)	88
Q3	44,09	55	[50,55)	16
Max	52,69	60	[55,60)	0
		65	[60,65)	0
		70	[65,70)	0
		75	[70,75)	0
		80	[75,80)	0
		85	[80,85]	0

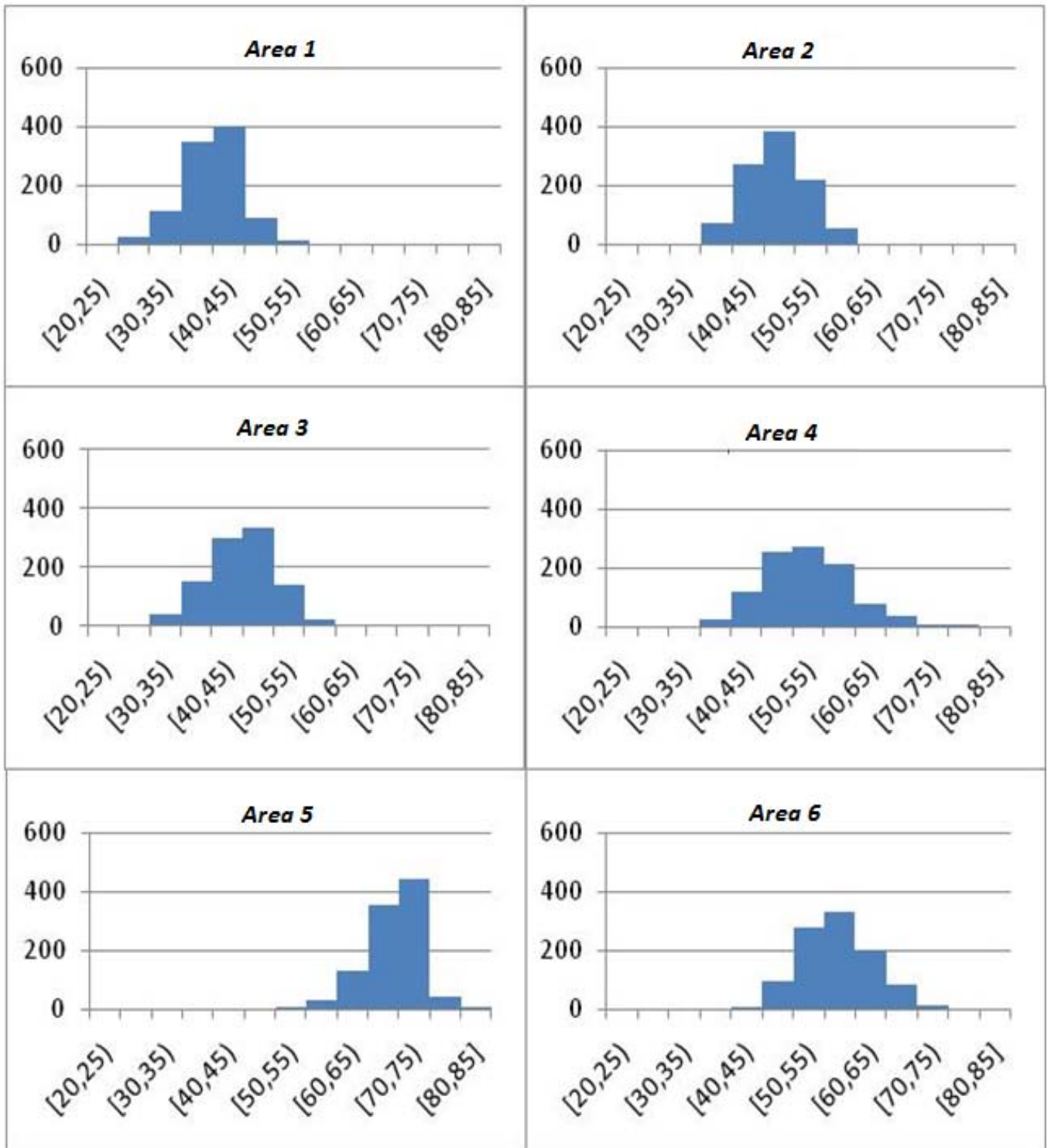
area2				
Number	1000	Up to		0
Mean	46,1	25	[20,25)	0
St Dev	4,72	30	[25,30)	0
Skew	0,17	35	[30,35)	0
Min	37,37	40	[35,40)	75
Q1	42,21	45	[40,45)	274
Median	46,11	50	[45,50)	382
Q3	50	55	[50,55)	217
Max	59,41	60	[55,60)	52
		65	[60,65)	0
		70	[65,70)	0
		75	[70,75)	0
		80	[75,80)	0
		85	[80,85]	0

area3				
Number	1000	Up to		0
Mean	44,11	25	[20,25)	0
St Dev	5,5	30	[25,30)	7
Skew	-0,04	35	[30,35)	43
Min	28,77	40	[35,40)	155
Q1	41,27	45	[40,45)	297
Median	44,9	50	[45,50)	334
Q3	46,91	55	[50,55)	138
Max	63,04	60	[55,60)	25
		65	[60,65)	1
		70	[65,70)	0
		75	[70,75)	0
		80	[75,80)	0
		85	[80,85]	0

area4				
Number	1000	Up to		0
Mean	52,23	25	[20,25)	0
St Dev	7,1	30	[25,30)	0
Skew	0,19	35	[30,35)	0
Min	35,76	40	[35,40)	26
Q1	46,11	45	[40,45)	119
Median	52,22	50	[45,50)	251
Q3	57,39	55	[50,55)	273
Max	75,27	60	[55,60)	212
		65	[60,65)	77
		70	[65,70)	35
		75	[70,75)	6
		80	[75,80)	1
		85	[80,85]	0

area5				
Number	1000	Up to		0
Mean	68,91	25	[20,25)	0
St Dev	4,29	30	[25,30)	0
Skew	-0,23	35	[30,35)	0
Min	54,3	40	[35,40)	0
Q1	66,77	45	[40,45)	0
Median	69,89	50	[45,50)	0
Q3	71,64	55	[50,55)	1
Max	82,26	60	[55,60)	29
		65	[60,65)	129
		70	[65,70)	357
		75	[70,75)	440
		80	[75,80)	43
		85	[80,85]	1

area6				
Number	1000	Up to		0
Mean	57,72	25	[20,25)	0
St Dev	5,7	30	[25,30)	0
Skew	-0,07	35	[30,35)	0
Min	41,27	40	[35,40)	0
Q1	54,3	45	[40,45)	3
Median	58,34	50	[45,50)	95
Q3	62,9	55	[50,55)	276
Max	71,64	60	[55,60)	330
		65	[60,65)	201
		70	[65,70)	83
		75	[70,75)	12
		80	[75,80)	0
		85	[80,85]	0



Εικόνα 5.15 - Ιστογράμματα κατανομής των τιμών του δείκτη τρωτότητας για εύρη τιμών, όπως δίνονται από τις δοκιμές πιθανολογικής προσομοίωσης

Παράρτημα 4 – Ημερολόγιο εργοταξίου

ΚΥΡΙΑ ΣΗΡΑΓΓΑ ΠΡΟΣ ΣΤΑΘΜΟ ΑΓ.ΑΝΤΩΝΙΟΥ																				
20/10/2008	ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ IIIα			ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ I																
ΧΘ:ΑΠΟ	1550,0	1549,0	1548,0	1547,0	1545,0	1543,0	1541,0	1539,0	1537,0	1535,0	1533,0	1531,0	1529,0	1527,0	1525,0	1523,0	1521,0	1519,0	1517,0	1515,0
ΕΩΣ	1549,0	1548,0	1547,0	1545,0	1543,0	1541,0	1539,0	1537,0	1535,0	1533,0	1531,0	1529,0	1527,0	1525,0	1523,0	1521,0	1519,0	1517,0	1515,0	1513,0
Η/Μ ΕΚΣΚΑΦ				28/11/07 29/11/07	30/11/07	2/12/07 5/12/07	5/12/07 6/12/07	7/12/07 8/12/07	8/12/07 10/12/07	11/12/07	13/12/07 14/12/07	15/12/07	17/12/07 18/12/07	18/12/07 19/12/07	19/12/07 20/12/07	20/12/07 21/12/07	27/12/07 28/12/07	3/1/08 4/1/08	4/1/08 5/1/08	7/1/08 8/1/08
GSI				60-70	65-75	65-75	60-70	65-75	65-75	60-70	70-80		65-75	60-70	58-68		57-67			60-70
Η/Μ ΕΚΣΚΑΦ	18/07/08	18/07/08	18/07/08	18/07/08	17/07/08	16/07/08	16/07/08	08/07/08	08/07/08	07/07/08	07/07/08	27/06/08	27/06/08	26/06/08	26/06/08	26/06/08	26/06/08	25/06/08	25/06/08	24/06/08
ΒΗΜΑ:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

ΚΥΡΙΑ ΣΗΡΑΓΓΑ ΠΡΟΣ ΣΤΑΘΜΟ ΑΓ.ΑΝΤΩΝΙΟΥ																				
ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ I																				
1513,0	1511,0	1509,0	1507,0	1505,0	1503,0	1501,0	1499,0	1497,0	1495,0	1493,0	1491,0	1489,0	1487,0	1485,0	1483,0	1481,0	1479,0	1477,0	1475,0	1473,0
1511,0	1509,0	1507,0	1505,0	1503,0	1501,0	1499,0	1497,0	1495,0	1493,0	1491,0	1489,0	1487,0	1485,0	1483,0	1481,0	1479,0	1477,0	1475,0	1473,0	1471,0
8/1/08		11/1/08	14/01/08	15/1/08	16/1/08	18/01/08	19/01/08	21/1/08	22/1/08	26/1/08	29/01/08	29/1/08	01/02/08	01/02/08	2/2/08	6/2/08	7/2/08	8/2/08	8/2/08	11/02/08
9/1/08	10/01/08	12/1/08	14/01/08	16/1/08	17/1/08	18/01/08	19/01/08	22/1/08	23/1/08	28/1/08	29/01/08	30/1/08	01/02/08	01/02/08	4/2/08	05/02/08	7/2/08	8/2/08	9/2/08	11/02/08
60-70		60-70	60-70	60-70	62-67	65-67	70-80	62-67	68-73	70-75	70-75	65-70	70-75		65-70	70-75	65-70	65-70	65-75	65-75
24/06/08	23/06/08	23/06/08	20/06/08	20/06/08	18/06/08	18/06/08	10/4/08 11/4/08	11/04/08	12/04/08	13/04/08	13/04/08	14/04/08	14/04/08	15/04/08	15/04/08	15/04/08	17/04/08	17/04/08	18/04/08	18/04/08
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41

ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ I																				
ΧΘ:ΑΠΟ	1471,0	1469,0	1467,0	1465,0	1463,0	1461,0	1459,0	1457,0	1455,0	1453,0	1451,0	1449,0	1447,0	1445,0	1443,0	1441,0	1439,0	1437,0	1435,0	1433,0
ΕΩΣ	1469,0	1467,0	1465,0	1463,0	1461,0	1459,0	1457,0	1455,0	1453,0	1451,0	1449,0	1447,0	1445,0	1443,0	1441,0	1439,0	1437,0	1435,0	1433,0	1431,0
Η/Μ ΕΚΣΚΑΦ	14/2/08	15/2/08 16/2/08	20/2/08	20/2/08	21/2/08	22/2/08	23/2/08	25/2/08	26/2/08	27/2/08	28/2/08	29/2/08	1/3/08	3/3/08	4/3/08	5/3/08	6/3/08	7/3/08	11/3/08	11/3/08
	60-65	60-65	60-65		60-65		65-70		60-70	60-70	65-70		65-70	65-70	65-70	60-65	60-65	60-65	65-70	70-75
Η/Μ ΕΚΣΚΑΦ	21/04/08	21/04/08	22/04/08	22/04/08	24/04/08	24/04/08								05/05/08	05/05/08	06/05/08	06/05/08	07/05/08	07/05/08	08/05/08
ΒΗΜΑ:	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61

ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ I																	ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ II			
1431,0	1429,0	1427,0	1425,0	1423,0	1421,0	1419,0	1417,0	1415,0	1413,0	1411,0	1409,0	1407,0	1405,0	1403,0	1401,0	1399,0	1397,0	1395,5	1394,0	
1429,0	1427,0	1425,0	1423,0	1421,0	1419,0	1417,0	1415,0	1413,0	1411,0	1409,0	1407,0	1405,0	1403,0	1401,0	1399,0	1397,0	1395,5	1394,0	1392,5	
12/3/08	13/3/08	14/3/08	17/3/08	18/3/08	20/3/08	20/3/08	21/3/08	21/3/08	22/3/08	22/3/08	24/3/08	24/3/08	27/3/08	27/3/08	28/3/08	29/3/08	31/3/08	31/3/08	3/4/08	
70-75	70-75	70-75	70-75	70-75	65-70		60-65	60-65			60-65	65-70	65-70	70-75	70-75	70-75	70-75	70-75	70-75	
08/05/08	09/05/08	09/05/08	14/05/08	14/05/08	15/05/08	15/05/08	16/05/08	16/05/08	17/05/08	17/05/08	19/05/08	19/05/08	22/05/08	22/05/08	03/06/08	03/06/08	03/06/08	03/06/08	03/06/08	
62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	

ΚΥΡΙΑ ΣΗΡΑΓΓΑ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΥΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΑΘΜΟ ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ																				
ΧΘ:ΑΠΟ	ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ IIIα				ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ I		IIIα	ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ II												
		1557,72	1557,32	1559,0	1560,0	1561,0	1563,0	1565,0	1566,0	1567,5	1569,0	1570,5	1572,0	1573,5	1575,0	1576,5	1578,0	1579,5	1581,0	1582,5
ΕΩΣ	1558,32	1559,0	1560,0	1561,0	1563,0	1565,0	1566,0	1567,5	1569,0	1570,5	1572,0	1573,5	1575,0	1576,5	1578,0	1579,5	1581,0	1582,5	1584,0	1585,5
Η/Μ ΕΚΣΚΑΦ	2/1/08 3/1/08	7/1/08	8/1/08 9/1/08	10/1/08 11/1/08	11/1/08 14/1/08	17/1/08 19/1/08	20/1/08 22/1/08	23/1/08 25/1/08	28/1/08 31/1/08	2/2/08 3/2/08	5/2/08 6/2/08	7/2/08 12/2/08	14/2/08 15/2/08	19/2/08	21/2/08	22/2/08 23/2/08	23/2/08 26/2/08	27/2/08 28/2/08	29/2/08 1/03/08	4/3/08 5/3/08
GSI				65-70	65-70	70-80	80-90	80-85	75-80	80-85	75-80	85-90	85-90	90-95	90-95	75-80	75-80	75-80	75-80	75-80
Η/Μ ΕΚΣΚΑΦ	20/07/08	21/07/08	21/07/08	21/07/08	22/07/08	22/07/08	22/07/08	27/07/08	27/07/08	27/07/08	27/07/08	29/07/08	29/07/08	30/07/08	30/07/08	30/07/08	30/07/08	30/07/08		
ΒΗΜΑ:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ II			ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ IIIα																	
1585,5	1587,0	1588,5	1590,0	1591,0	1592,15	1593,30	1594,45	1595,60	1596,75	1597,90	1598,95	1599,30	1600,5	1601,7	1602,9	1604,1	1605,3	1606,5	1607,55	1607,9
1587,0	1588,5	1590,0	1591,0	1592,15	1593,30	1594,45	1595,60	1596,75	1597,90	1598,95	1599,30	1600,50	1601,7	1602,9	1604,1	1605,3	1606,5	1607,55	1607,9	1609,1
6/3/08	11/3/08	13/3/08	31/3/08	1/4/08	2/4/08	7/4/08	7/4/08	8/4/08	9/4/08	11/4/08	17/4/08	18/4/08	18/4/08	19/4/08	21/4/08	21/4/08	22/4/08	23/4/08	5/5/08	7/5/08
75-80	70-75	70-75		80-85	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25
	35-40	35-40		20-25																
	22/08/08	22/08/08	22/08/08	22/08/08	22/08/08	22/08/08	21/08/08	21/08/08	21/08/08	21/08/08	20/08/08	20/08/08	20/08/08	20/08/08	20/08/08	20/08/08	19/08/08	19/08/08	19/08/08	19/08/08
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41

