



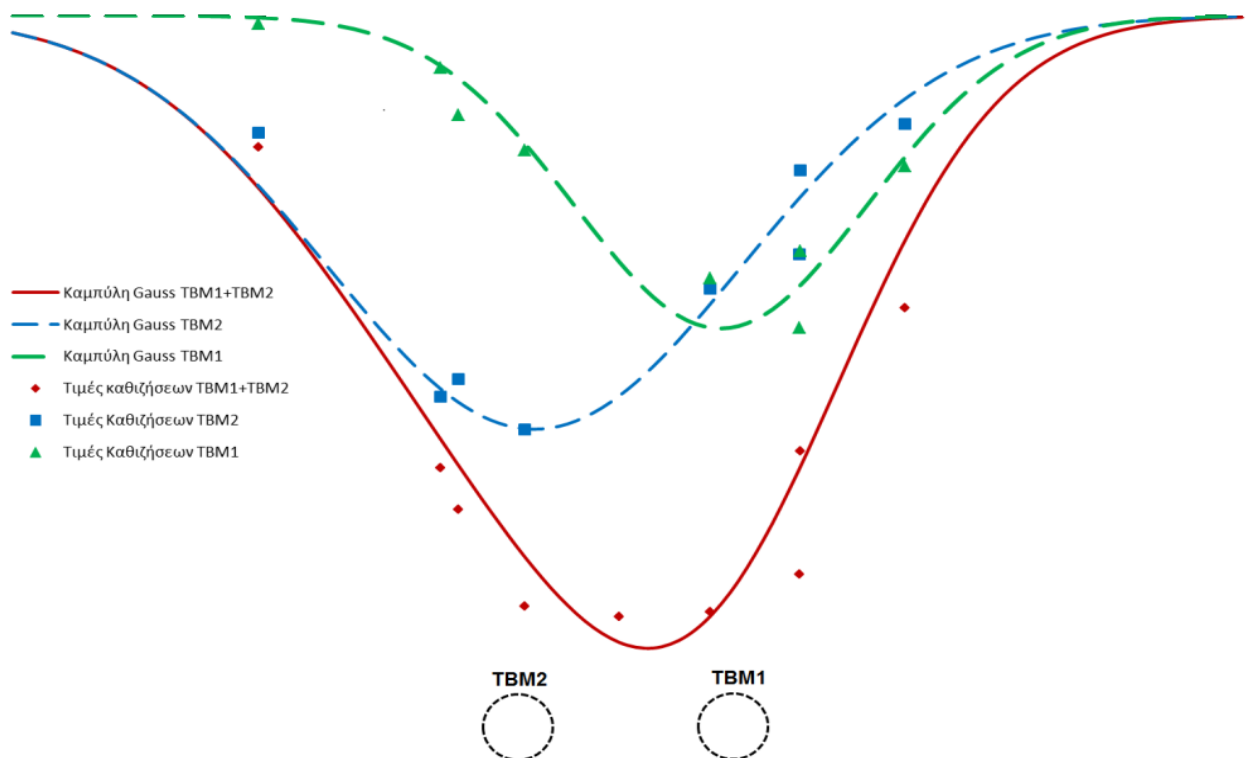
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
Δ.Π.Μ.Σ. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

Συμμετέχουσες Σχολές: Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Μελέτη των Καθιζήσεων λόγω διάνοιξης σήραγγας του Μετρό
Θεσσαλονίκης στο τμήμα Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός –
Σταθμός Αναλήψεως»

Σταυρή Α. Ελένη



Επιβλέπων: Α.Ι.Σοφιανός, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
Δ.Π.Μ.Σ. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

Συμμετέχουσες Σχολές: Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Μελέτη των Καθιζήσεων λόγω διάνοιξης σήραγγας του Μετρό
Θεσσαλονίκης στο τμήμα Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός –
Σταθμός Αναλήψεως»

Σταυρή Α. Ελένη

Επιβλέπων : Α.Ι.Σοφιανός, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 08/02/2013

Σοφιανός Αλέξανδρος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.,

Παπαδόπουλος Βασίλειος, Αναπληρωτής Καθηγητής
Ε.Μ.Π.,

Νομικός Παύλος, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.,

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2013

Copyright © Σταυρή Α. Ελένη , 2013
Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

Στον μπαμπά.....

Ευχαριστίες

Η παρουσίαση της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας μου σηματοδοτεί την ολοκλήρωση ενός αποτελεσματικού και δημιουργικού κύκλου σπουδών. Με αφορμή την έκδοση της εργασίας αυτής θα ήθελα να ευχαριστήσω ξεχωριστά όσους αποτέλεσαν αναπόσπαστο κομμάτι της υλοποίησης της.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Αλέξανδρο Σοφιανό για την εύστοχη και συνεχή καθοδήγηση του στο σύνολο της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον κ. Στέλιο Κουκουτά, Προϊστάμενο Μηχανικής Όρυξης Σηράγγων της Αττικό Μετρό, του οποίου η γνώση, η εμπειρία, η συνεχής καθοδήγηση, η παροχή στοιχείων καθώς και οι υποδείξεις επεξεργασίας αποτέλεσαν τον πιο καθοριστικό παράγοντα στην πραγματοποίηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Επιπλέον, οφείλω να ευχαριστήσω ειλικρινά τον κ. Χρήστο Τσίτουρα , Πρόεδρο και Διευθύνων Σύμβουλο της Αττικό Μετρό και τον κ. Παναγιώτη Παπαχλιμίντζο, Γενικό Διευθυντή της Αττικό Μετρό για την άδεια που μου παρείχαν ώστε να έχω πρόσβαση στα στοιχεία προόδου του έργου.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά την κα. Βασιλική Χατζή, Προϊστάμενο Τοπογραφίσεων και Απαλλοτριώσεων της Διεύθυνσης Μελετών της Αττικό Μετρό, και την κα. Άννα Αναστασάκη, Συγκοινωνιολόγο Μηχανικό Προϊσταμένη Τμήματος Σχεδιασμού Μεταφορών της Αττικό Μετρό, για τις σημαντικές πληροφορίες που μου παρείχαν.

Ακόμη, ευχαριστώ ιδιαίτερα τον κ. Νικόλαο Βίττη και τον κ. Απόστολο Τυρογαλά, Μηχανικούς του Τμήματος Μηχανικής Διάνοιξης Σηράγγων της Διεύθυνσης Μελετών της Αττικό Μετρό, για τη συνεργασία τους και την ευγενική φιλοξενία τους στο χώρο εργασίας τους κατά το διάστημα της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Ευχαριστώ πολύ τον Παντελή Ρίζο, Μηχανικό Μεταλλείων – Μεταλλουργό, για τις συμβουλές που μου προσέφερε.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στους συναδέλφους μου, Δημήτρη Αλέξανδρου και Φίλιππο Χόρτη για την πολύτιμη βοήθεια τους και τη σημαντική υποστήριξη τους σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Τέλος, η αδιάλειπτη στήριξη της οικογένειας μου και των φίλων μου αποτέλεσε πολύτιμο εργαλείο για την υλοποίηση της διπλωματικής μου εργασίας και θα συνεχίσει να αποτελεί σημαντικό εφόδιο για την υλοποίηση όλων των στόχων μου.

Περίληψη

Στη συγκεκριμένη εργασία διερευνώνται και αναλύονται οι καθιζήσεις οι οποίες προέρχονται από τη διάνοιξη των σηράγγων του Μετρό Θεσσαλονίκης στο τμήμα από το Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό έως το Σταθμό Αναλήψεως.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται ορισμένα γενικά στοιχεία για την πορεία του Μετρό Θεσσαλονίκης μέχρι σήμερα και την εξέλιξη σχεδιασμού της γραμμής. Επίσης, αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά και οι περιορισμοί των αστικών σηράγγων, ενώ συγχρόνως γίνεται παρουσίαση διαφόρων περιπτώσεων αστοχιών που έχουν σημειωθεί κατά τη διάνοιξη σηράγγων με μηχανήμα εξισορρόπησης της εδαφικής πίεσης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται η χάραξη της γραμμής και η ακριβής θέση των σταθμών. Επιπλέον, παρουσιάζεται η γεωλογία και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υπό εξέταση τμημάτων.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά και οι κύριες λειτουργίες των μηχανημάτων εξισορρόπησης της εδαφικής πίεσης που χρησιμοποιούνται για τη διάνοιξη των σηράγγων του έργου. Επίσης, περιγράφονται συνοπτικά οι γεωλογικές, υδρογεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες που συναντώνται κατά την προχώρηση των μηχανημάτων στον άξονα εκσκαφής της σήραγγας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται επεξήγηση της λειτουργίας και της χρησιμότητας του συστήματος πληροφοριών σηράγγων Kronos που χρησιμοποιείται από την Αττικό Μετρό για τον έλεγχο του έργου της Θεσσαλονίκης. Ακόμα, αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας του συστήματος και δίνονται οδηγίες για την εκτέλεση των βασικών εφαρμογών του.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εμπειρική μεθοδολογία υπολογισμού των καθιζήσεων εγκάρσια στον άξονα της σήραγγας. Συγκεκριμένα, αναλύεται η καμπύλη καθιζήσεων Gauss και περιγράφεται ο τρόπος κατασκευής καμπύλων καθιζήσεων προκαλούμενων από τη διάνοιξη δίδυμων σηράγγων. Στη συνέχεια, υπολογίζονται, με τη βοήθεια των δεδομένων που προέρχονται από το σύστημα Kronos, οι καμπύλες καθιζήσεων Gauss που προκύπτουν στο τμήμα Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός – Σταθμός Αναλήψεως. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο περιγράφονται συνοπτικά και οι λειτουργίες των χωροσταθμικών μετρητών.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται, με τη βοήθεια διαγραμμάτων, συσχετίσεις μεταξύ των καθιζήσεων και των βασικών λειτουργικών παραμέτρων των μηχανημάτων διάνοιξης στις χιλιομετρικές θέσεις που αυτές εντοπίστηκαν.

Abstract

This thesis refers to the analysis of the settlements resulting from the opening of the Thessaloniki metro tunnels and concerns the section between New Railway Station and Analipsi station.

The first chapter presents some general information about the progress of the Thessaloniki Metro so far and the development of the line's design. Moreover, the key features and constraints of urban tunnels are described, while at the same time a presentation is made of several cases of failure that have occurred during the excavation using Earth Pressure Balance Machines.

The second chapter deals with the design and the exact location of the stations. In addition, the geology and the physical-mechanical characteristics of the areas under consideration are presented.

The third chapter explains the main characteristics and the main functions of the Earth Pressure Balance Machines which are used for this tunnel project. It also outlines the geological, hydrogeological and geotechnical conditions which were faced during the excavation.

The fourth chapter describes the function and usefulness of the Tunnel Information System Kronos, which is used by Attiko Metro for the total control of the project. Also, a set of instructions are given concerning the basic applications of the system.

The fifth chapter presents the empirical methods used to analyze the settlements induced by movement during the tunnel excavation. Specifically, in this thesis an analysis is done on the Gauss Curve and the way it can be designed when the settlements occur due to a twin tunnel excavation. Moreover, according to the exported data from the Kronos System, the Gauss Curves are designed for the section between New Railway Station and Analipseos station. This chapter also outlines the functioning and positioning of the leveling recorders which are used for the recording of the settlements.

Finally, in the sixth chapter, with the help of diagrams made from the collected data, correlations are made between the exact positions of the settlements and the basic operating parameters of the Earth Pressure Balance Machine.

Πίνακας Περιεχομένων

1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.....	3
1.1. Βασικά Χαρακτηριστικά.....	3
1.1.1. Ιστορικά στοιχεία	3
1.1.2. Σημαντικές βελτιώσεις στη μελέτη του έργου	6
1.1.3. Πρόοδος εργασιών.....	8
1.1.4. Αρχαιολογικές ανασκαφές	9
1.1.5. Επεκτάσεις.....	11
1.1.6. Χρηματοδότηση.....	13
1.1.7. Αναβάθμιση της πόλης.....	13
1.1.8. Σταθμοί μετεπιβίβασης.....	14
1.2. Τα γενικά χαρακτηριστικά μίας αστικής σήραγγας.....	16
1.2.1. Περιορισμοί ευθυγράμμισης και ειδικών λειτουργικών απαιτήσεων μίας αστικής σήραγγας.....	17
1.2.2. Οι ιδιαίτερες προκλήσεις των αστικών σηράγγων	20
1.2.3. Περιορισμοί και ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του αστικού περιβάλλοντος κατα τη σχεδίαση μίας διαδρομής σήραγγας	22
1.2.3.1. Κτίρια και Υποδομές	23
1.2.3.2. Δίκτυα κοινής ωφέλειας	26
1.2.3.3. Υπάρχουσες Ιστορικές Κατασκευές.....	27
1.2.3.4. Συμμετοχή των κατοίκων στην εξέλιξη του έργου	27
1.3. Περιπτώσεις αστοχιών στη διάνοιξη σηράγγων με μηχανήμα Εξισσορόπησης Εδαφικής Πίεσης (EPB).....	29
2. ΧΑΡΑΞΗ - ΓΕΩΛΟΓΙΑ	37
2.1. Χάραξη.....	37

2.1.1.	Βασικά Κριτήρια για τη Χάραξη Γραμμής	37
2.1.1.1.	Οριζόντια χάραξη	37
2.1.1.2.	Η μηκοτομή της χάραξης	37
2.1.2.	Βασικά στοιχεία της χάραξης του Βασικού έργου	38
2.1.2.1.	Χάραξη Γραμμής – Σταθμοί.....	39
2.1.2.2.	Κλίση – Στάθμη Υδροφόρου Οριζοντα.....	42
2.2.	Γεωλογικές συνθήκες.....	45
2.2.1.	Στρωματογραφία	45
2.2.2.	Τεκτονικά στοιχεία	48
2.2.3.	Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά.....	48
2.2.4.	Διαχωρισμός γεωλογικών τμημάτων.....	51
2.2.5.	Τμήμα Α	54
2.2.5.1.	Υποτμήμα 1 (Χ.Θ. 0-249 – Χ.Θ. 0+443)	55
2.2.5.2.	Υποτμήμα 2 (Χ.Θ. 0+443 – Χ.Θ. 1+908)	58
2.2.5.3.	Υποτμήμα 3 (Χ.Θ. 1+908 – Χ.Θ. 3+630)	62
2.2.5.4.	Υδρογεωλογικές συνθήκες τμήματος Α.....	64
2.2.6.	Τμήμα Β.....	67
2.2.6.1.	Υποτμήμα 1 (Χ.Θ. 3+630 – Χ.Θ. 4+250)	69
2.2.6.2.	Υποτμήμα 2 (Χ.Θ. 4+250 – Χ.Θ. 5+880)	72
2.2.6.3.	Υδρογεωλογικές συνθήκες τμήματος Β	75
2.3.	Γεωλογικές, Υδρογεωλογικές και Γεωτεχνικές συνθήκες λειτουργίας Μηχανήματος EPB στο Τμήμα ΝΣΣ - Αναλήψεως	78
2.3.1.	Περιβάλλον εκσκαφής της σήραγγας.....	78
2.3.2.	Περατότητα κατά μήκος της χάραξης	81
3.	ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΕΙΣΩΡΡΟΠΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΛΑΦΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ.....	85
3.1.	Γενικά χαρακτηριστικά ΤΒΜ	85

3.2.	Μηχάνημα Εξισορρόπησης της Εδαφικής Πίεσης (EPB)	87
3.2.1.	Εδαφικές συνθήκες όπου χρησιμοποιείται το E.P.B.	87
3.2.2.	Περιγραφή Μηχανήματος Εξισορρόπησης Εδαφικής Πίεσης (EPB)	90
3.2.3.	Τεχνική περιγραφή της μηχανής διάνοιξης σηράγγων.....	98
3.2.3.1.	Εκσκαφή υλικού / Προώθηση	98
3.2.3.2.	Εδαφική Πίεση	100
3.2.3.3.	Κοχλιωτός μεταφορέας / προώθηση υλικού εκσκαφής	101
3.2.3.4.	Εισπίεση ενέματος – Παρεμπόδιση καθιζήσεων.....	102
3.2.4.	Συσκευή καταγραφής δεδομένων.....	103
3.2.4.1.	Αριθμός και θέση αισθητήρων πίεσης	104
3.2.4.2.	Αριθμός και θέσεις ακροφυσίων ψεκασμού πρόσμικτων ρύθμισης εδαφικού πολφού (conditioners)	104
3.3.	Τεχνικά στοιχεία των μηχανημάτων διάνοιξης στη Θεσσαλονίκη.....	107
3.3.1.	Τηλεσκόπιο για μεταφορέα με ατέρμονο κοχλία	109
3.3.2.	Σύστημα Ενεργού Υποστήριξης Μετώπου (AFS)	110
3.3.3.	Εισπίεση υγρού υποστήριξης κενού καθοδήγησης (PSG)	111
3.3.4.	Διπλό ηλεκτρονικό σύστημα ζύγισης προϊόντων εκσκαφής με έλεγχο σε πραγματικό χρόνο από την οθόνη και αυτόματο σύστημα συναγερμού/ διακοπής λειτουργίας.....	112
3.3.5.	Ρυθμός εκσκαφής	113
3.4.	Προετοιμασία Λειτουργίας Μηχανήματος EPB.....	114
3.4.1.	Εκκίνηση, έλξη και διείδυση TBM	114
3.4.2.	Εκκίνηση TBM.....	114
4.	ΚRONOS - ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ	119
4.1.	Γενικά	119
4.2.	Εφαρμογή του συστήματος Kronos για το Μετρό Θεσσαλονίκης.....	121

4.3.	Βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας του συστήματος Kronos	123
4.3.1.	Περιγραφή εφαρμογών	124
4.3.2.	Εικονική πραγματικότητα - οπτικοποίηση	125
4.4.	Λειτουργίες του πληροφοριακού συστήματος Kronos	128
4.4.1.	Αρχική οθόνη	128
4.4.2.	Μενού λειτουργίας	130
4.4.3.	Επιλογή Περιβάλλοντος Εργασίας	132
4.4.4.	Παρουσίαση μετρήσεων	133
4.4.5.	Δημιουργία σχεδίου με ισοϋψείς καμπύλες	135
4.5.	Κατάσταση λειτουργίας	139
4.6.	Άλλες χρήσιμες εφαρμογές του πληροφοριακού συστήματος Kronos	142
5.	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ & ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ	147
5.1.	Εμπειρικός υπολογισμός καθιζήσεων εγκάρσια του άξονα της σήραγγας.....	147
5.1.1.	Καμπύλη καθιζήσεων Gauss	149
5.1.2.	Ανάλυση καθιζήσεων σε δίδυμες σήραγγες.....	154
5.1.3.	Περιγραφή κατασκευής καμπύλων καθιζήσεων προκαλούμενων από τη διάνοιξη δίδυμων σιράγγων	157
5.2.	Τοπογραφικοί μετρητές καθιζήσεων	161
5.2.1.	Σύστημα χωροσταθμικών μετρήσεων	161
5.2.2.	Χωροσταθμικές ακίδες	163
5.2.2.1.	Γενικά	163
5.2.2.2.	Ποσότητες και θέσεις οργάνων	164
5.2.2.3.	Έναρξη και συχνότητες λήψης μετρήσεων	165
5.3.	Επεξεργασία καθιζήσεων με εμπειρικές μεθόδους.....	168
5.3.1.	Παρουσίαση μεσοδιαστημάτων	168

5.3.2.	Καθιζήσεις εγκάρσια του άξονα των σηράγγων	180
5.3.2.1.	Τομή Χ.Θ. 0+230	181
5.3.2.2.	Τομή Χ.Θ. 0+287	184
5.3.2.3.	Τομή Χ.Θ. 0+366	186
5.3.2.4.	Τομή Χ.Θ. 2+122	189
5.3.2.5.	Τομή Χ.Θ. 2+460	191
5.3.2.6.	Τομή Χ.Θ. 5+455	194
5.3.2.7.	Τομή Χ.Θ. 5+544	196
5.3.2.8.	Τομή Χ.Θ. 5+566	199
5.3.2.9.	Τομή Χ.Θ. 5+658	201
5.3.2.10.	Τομή Χ.Θ. 5+734	204
6.	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΗΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ	209
6.1.	Βασικές παράμετροι λειτουργίας.....	209
6.1.1.	Πίεση λειτουργίας EPB	209
6.1.2.	Βάρος και όγκος προϊόντων εκσκαφής	210
6.1.3.	Εισπίεση ενέματος.....	211
6.1.4.	Ροπή της κεφαλής κοπής	211
6.1.5.	Καθορισμός συνθηκών λειτουργίας ενός μηχανήματος ολομέτωπης κοπής	212
6.2.	Επεξεργασία τομών	212
6.2.1.	Τομή Χ.Θ. 0+230	214
6.2.2.	Τομή Χ.Θ. 0+287	217
6.2.3.	Τομή Χ.Θ. 0+366	219
6.2.4.	Τομή Χ.Θ. 2+122	221
6.2.5.	Τομή Χ.Θ. 2+460	223
6.2.6.	Τομή Χ.Θ. 5+455	225

6.2.7.	Τομή Χ.Θ. 5+544	227
6.2.8.	Τομή Χ.Θ. 5+566	229
6.2.9.	Τομή Χ.Θ. 5+658	231
6.2.10.	Τομή Χ.Θ. 5+734	233

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1–1, Συρμός νέας γενιάς που θα εξυπηρετεί το Μετρό Θεσσαλονίκης, Πηγή: http://www.ametro.gr	5
Εικόνα 1–2, Εργασίες κατά κατασκευή του σταθμού Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός, Πηγή: http://www.ametro.gr	7
Εικόνα 1–3, Συναρμολόγηση του μηχανήματος EPB στο Μετρό Θεσσαλονίκη, Πηγή: http://www.ametro.gr	8
Εικόνα 1–4, Αρχαιολογικά ευρήματα στο σταθμό Βενιζέλου, Πηγή: http://www.ametro.gr	10
Εικόνα 1–5, Υπάρχων χάρτης της σχεδίασης του Μετρό Θεσσαλονίκης, Πηγή: http://www.ametro.gr	12
Εικόνα 1–6, Οδική σήραγγα στο Heathrow, Μεγάλη Βρετανία: ανύψωση της χάραξης της σήραγγας ώστε να περάσει πάνω από μία ήδη υπάρχουσα σήραγγα, Πηγή: Guglielmetti et al., 2008	24
Εικόνα 1–7, Πιθανή παρεμβολή μεταξύ ενός υπόγειου χώρου στάθμευσης και μίας υπό κατασκευή σήραγγας, Πηγή: Guglielmetti et al.,2008	25
Εικόνα 1–8, Σήραγγα στη Ζυρίχη – Ενίσχυση μέσω της υποστήριξης ενός υπόγειου χώρου στάθμευσης κάτω από τον οποίο περνά το TBM, Πηγή: Kovari et al., 2004	26
Εικόνα 1–9, Ζημιές σε υπάρχουσες κατασκευές κάτω από τις οποίες γίνεται η εκσκαφή μίας αστικής σήραγγας (Αριστερά: Σίδνεϋ, Δεξιά: Λονδίνο), Πηγή: Guglielmetti et al.,2008.....	28
Εικόνα 1–10, Τυπικά βήματα συναρμολόγησης ενός TBM στο φρέαρ εκκίνησης, Πηγή: Guglielmetti et al.,2008.....	29
Εικόνα 1–11, Η έκρηξη του συμπιεσμένου αέρα δημιούργησε ένα τεράστιο κρατήρα στο προάυλιο ενός σχολείου, Πηγή: ICE 1998a.....	29
Εικόνα 1–12, Μηκοτομή σήραγγας του προαστιακού σιδηροδρόμου του Dockland, Πηγή: ICE 1998a.....	30
Εικόνα 1–13, Ατύχημα τον Ιανουάριο του 2001 στο οποίο σκοτώθηκε μία γυναίκα της οποίας το σπίτι βρισκόταν πάνω από τη σήραγγα, Πηγή: A. Fonseca, University of Porto, 2011	31
Εικόνα 1–14, Καθίζηση πολυόροφου κτιρίου στη Σανγκάη από την κατασκευή του Μετρό, Πηγή: Boos et al. 2004.....	31

Εικόνα 1–15, Παρουσίαση της αστοχίας κατά την έλευση του EPB στο διαφραγματικό τοίχο, Πηγή: Lee & Ishihara 2010.....	32
Εικόνα 1–16, Ζημιές σε γειτονικό κτίριο απο την αστοχία στη σήραγγα Kaohsiung, Πηγή: Lee & Ishihara 2010.....	33
Εικόνα 1–17, Απαλλαγή του συσσωρευμένου υλικού μέσω της μεταφορικής ταινίας, Πηγή: Wallis P. 2009.....	34
Εικόνα 2–1, Βασικό Έργο Μετρό Θεσσαλονίκης, Πηγή: Αττικό Μετρό.....	39
Εικόνα 2–2, Γεωλογική μηκοτομή του συνόλου της χαραξής (Πηγή: Αττικό Μετρό)	50
Εικόνα 2–3, Γεωλογική μηκοτομή του Υποτμήματος 1Α ΝΣΣ – Δημοκρατίας, Πηγή: Αττικό Μετρό.....	57
Εικόνα 2–4, Γεωλογική μηκοτομή του Υποτμήματος 2Α Δημοκρατίας – Αγία Σοφία, Πηγή: Αττικό Μετρό.....	60
Εικόνα 2–5, Γεωλογική μηκοτομή του Υποτμήματος 3Α Αγία Σοφία - Πανεπιστήμιο (Πηγή: Αττικό Μετρό)	63
Εικόνα 2–6, Γεωλογική μηκοτομή του Υποτμήματος 1Β Πανεπιστήμιο – Παπάφη, Πηγή: Αττικό Μετρό.....	70
Εικόνα 2–7, Γεωλογική μηκοτομή του Υποτμήματος 2Β Παπάφη – Αναλήψεως, Πηγή: Αττικό Μετρό.....	73
Εικόνα 3–1, Κεφαλή μηχανήματος EPB σε ξετρύπημα σταθμού, Πηγή: Σ. Κουκουτάς	91
Εικόνα 3–2, Κοπτική κεφαλή EPB, Πηγή: Αττικό Μετρό	93
Εικόνα 3–3, Το εσωτερικό της κοπτικής κεφαλής του EPB, Πηγή: Σ. Κουκουτάς.....	95
Εικόνα 3–4, Σύστημα τοποθέτησης προκατασκευασμένων στοιχείων, Πηγή: Σ. Κουκουτάς	96
Εικόνα 3–5, Ο ατέρμων κοχλίας, Πηγή: Σ. Κουκουτάς.....	97
Εικόνα 3–6, Σύστημα μεταφορικής ταινίας, Πηγή: Σ. Κουκουτάς.....	102
Εικόνα 3–7, Ξετρύπημα μηχανήματος EPB σε σταθμό του Μετρό της Αθήνας, Πηγή: Σ. Κουκουτάς.....	106
Εικόνα 3–8, Τοποθέτηση προκατασκευασμένων στοιχείων, Πηγή: Herrecknecht	109
Εικόνα 3–9, Προϊόντα εκσκαφής τα οποία εξέρχονται μέσω της μεταφορικής ταινίας, Πηγή: Σ. Κουκουτάς.....	113
Εικόνα 4–1, Χάρτης του Μετρό Θεσσαλονίκης, Πηγή: Αττικό Μετρό	121

Εικόνα 4–2, Μετρητές παραμορφώσεων σε μέσα στη σήραγγα (αριστερά) και στην επιφάνεια(δεξιά), Πηγή: : K. Chmelina et al, 2009.....	122
Εικόνα 4–3, Σύνδεση στο σύστημα Kronos μέσω διαδικτύου.....	124
Εικόνα 4–4, Απεικόνιση της γεωλογίας του μετώπου της σήραγγας με γεωλογικό σκίτσο, Πηγή: K. Chmelina et al., 2009	126
Εικόνα 4–5, Τρισδιάστατη απεικόνιση των συνθηκών που επικρατούν μέσα στη σήραγγα κατά την εκσκαφή της σε δύο φάσεις, Πηγή: K. Chmelina et al, 2009,.....	126
Εικόνα 4–6, Παράθυρο έναρξης	128
Εικόνα 4–7, Βασικές επιλογές λειτουργίας(αριστερά), Αρχικό Μενού λειτουργίας (δεξιά).....	128
Εικόνα 4–8, Συνολική κάτοψη του Βασικού Έργου.....	129
Εικόνα 4–9, Σύνδεση με το διακομιστή.....	130
Εικόνα 4–10, Μέτρηση απόστασης σε μέτρα με τη βοήθεια του χάρτη.....	132
Εικόνα 4–11, Παράθυρο επιλογών φόντου.....	133
Εικόνα 4–12, Παρουσίαση επιλογών των πεδίων που αφορούν τα κτίρια (αριστερά) και την πρόοδο της κατασκευής (δεξιά).....	133
Εικόνα 4–13, Επιλογή συγκεκριμένων οργάνων μέτρησης για την εμφάνιση των μετρήσεων τους	134
Εικόνα 4–14, Πεδίο επιλογής του χρονικού διαστήματος των μετρήσεων.....	135
Εικόνα 4–15, Εμφάνιση των μετρήσεων των επιλεγμένων οργάνων	135
Εικόνα 4–16, Επιλογή οργάνων μέτρησης που θα χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία του σχεδίου	136
Εικόνα 4–17, Επιλογές για τη σχεδίαση του χάρτη	137
Εικόνα 4–18, Παρουσίαση γραφικής απεικόνισης καθιζήσεων με χρήση ισοϋψών καμπυλών... ..	137
Εικόνα 4–19, Γραφική απεικόνιση καθιζήσεων με χρήση χρωματικών εναλλαγών	138
Εικόνα 4–20, Εμφάνιση οργάνων μέτρησης τα οποία βρίσκονται σε κατάσταση συναγερμού (εντός του κόκκινου κύκλου).....	139
Εικόνα 4–21, Παρουσίαση τιμών των βασικών παραμέτρων του μηχανήματος EPB.....	140
Εικόνα 4–22, Παρουσίαση των παραμέτρων που αφορούν τη θέση του μηχανήματος	141
Εικόνα 4–23, Παρουσίαση λοιπών παραμέτρων του μηχανήματος.....	142

Εικόνα 4–24, Παρουσίαση των τεχνικών χαρακτηριστικών μίας γεώτρησης	143
Εικόνα 4–25, Στοιχεία υπερκείμενου κτιρίου	144
Εικόνα 5–1 , Κάτοψη τμήματος ανάλυσης	169
Εικόνα 5–2, Κάτοψη τμήματος ΝΣΣ - Σταθμός Δημοκρατίας	171
Εικόνα 5–3, Κάτοψη τμήματος Σταθμός Δημοκρατίας- Σταθμός Βενιζέλου.....	172
Εικόνα 5–4, Κάτοψη τμήματος Σταθμός Βενιζέλου- Σταθμός Αγία Σοφία	173
Εικόνα 5–5, Κάτοψη τμήματος Αγία Σοφία- Σταθμός Συντριβάνι.....	174
Εικόνα 5–6, Κάτοψη τμήματος Σταθμός Συντριβάνι- Σταθμός Πανεπιστήμιο	175
Εικόνα 5–7, Κάτοψη τμήματος Πανεπιστήμιο- Σταθμός Παπάφη	176
Εικόνα 5–8, Κάτοψη τμήματος Σταθμός Παπάφη- Σταθμός Ευκλείδη	177
Εικόνα 5–9, Κάτοψη τμήματος Σταθμός Ευκλείδη- Σταθμός Φλέμινγκ.....	178
Εικόνα 5–10, Κάτοψη τμήματος Φλέμινγκ- Σταθμός Αναλήψεως.....	179

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2–1, Διάγραμμα διακύμανσης της στάθμης των υπόγειων υδάτων κατά μήκος της σήραγγας	44
Σχήμα 2–2, Διάγραμμα κατανομής της USCS ταξινόμησης των γεωυλικών κατά μήκος της σήραγγας	47
Σχήμα 2–3, Κατανομή περατότητας κατά μήκος της χάραξης	82
Σχήμα 3–1, Ταξινόμηση των Μηχανών Διάνοιξης Σηράγγων, Πηγή: Σ.Κουκουτάς	86
Σχήμα 3–2, Εφαρμογές μηχανών Πολφού και EPB σε σχέση με το έδαφος, Πηγή: Αττικό Μετρό	88
Σχήμα 3–3, Όρια εφαρμογής πρόσθετων ρυθμιστικών παραγόντων στο EPB, Πηγή: Σ. Κουκουτάς	89
Σχήμα 3–4, Αρχή λειτουργίας ασπίδας EPB, Πηγή : Herrecknecht	99
Σχήμα 3–5, Λειτουργία ατέρμονα κοιλία, Πηγή : Herrecknecht.....	101
Σχήμα 4–1, Κατηγορίες δεδομένων και στοιχείων του συστήματος Kronos, διασυνδέση χρήστη και βάσης δεδομένων, Πηγή: K. Chmelina et al, 2009	120
Σχήμα 4–2, Στατιστικά μετρήσεων από το Βασικό Έργο, Πηγή: K. Chmelina et al, 2009,.....	123
Σχήμα 5–1, Τρισδιάστατη όψη της καμπύλης καθιζήσεων εξαιτίας διάνοιξης σήραγγας, Πηγή: Attewel et al., 1986	149
Σχήμα 5–2, Διάγραμμα κατανομής βυθίσεων ελεύθερης επιφάνειας εξαιτίας διάνοιξης κυκλικής σήραγγας διαμέτρου D σε βάθος z_0	150
Σχήμα 5–3, Απώλεια όγκου στη σήραγγα.....	151
Σχήμα 5–4, Συσχέτιση του πλάτους της καμπύλης καθιζήσεων με το βάθος της σήραγγας για διαφορετικούς τύπους εδαφών, Πηγή: Peck, 1969	152
Σχήμα 5–5, Εκτίμηση του i συναρτήσει του βάθους διάνοιξης της σήραγγας σε αργιλικά εδάφη. (Mair and Taylor, 1997).....	154
Σχήμα 5–6, Εκτίμηση του i συναρτήσει του βάθους διάνοιξης της σήραγγας σε κοκκώδη εδάφη (άμμοι και χάλικες). (Mair and Taylor, 1997).....	154
Σχήμα 5–7, Επιφανειακές καθιζήσεις για δίδυμες σήραγγες, Πηγή: New and O'Reilly, 1991.....	155
Σχήμα 5–8, Επιφανειακές καθιζήσεις τύπου Gauss που προκύπτουν από τη διάνοιξη των δίδυμων σηράγγων, Πηγή: Π.Ρίζος, 2010	156

Σχήμα 5–9, Εγκατάσταση χωροσταθμικού μετρητή στο πεζοδρόμιο (αριστερά) και σε δρόμο (δεξιά).....	161
Σχήμα 5–10, Παρουσίαση σταθμών ανάλυσης.....	168
Σχήμα 5–11, Γεωλογικοί Σχηματισμοί τομής Χ.Θ. 0+230	181
Σχήμα 5–12, Καμπύλες Καθιζήσεων Gauss δίδυμης σήραγγας στη Χ.Θ. 0+230.....	182
Σχήμα 5–13, Γεωλογικοί Σχηματισμοί τομής Χ.Θ. 0+287	184
Σχήμα 5–14, Καμπύλες Καθιζήσεων Gauss δίδυμης σήραγγας στη Χ.Θ. 0+287.....	185
Σχήμα 5–15, Γεωλογικοί Σχηματισμοί τομής Χ.Θ. 0+366	186
Σχήμα 5–16, Καμπύλες Καθιζήσεων Gauss δίδυμης σήραγγας στη Χ.Θ. 0+366.....	187
Σχήμα 5–17, Γεωλογικοί Σχηματισμοί τομής Χ.Θ. 2+122	189
Σχήμα 5–18, Καμπύλες Καθιζήσεων Gauss δίδυμης σήραγγας στη Χ.Θ. 2+122.....	190
Σχήμα 5–19, Γεωλογικοί Σχηματισμοί τομής Χ.Θ. 2+460	191
Σχήμα 5–20, Καμπύλες Καθιζήσεων Gauss δίδυμης σήραγγας στη Χ.Θ. 2+460.....	192
Σχήμα 5–21, Γεωλογικοί Σχηματισμοί τομής Χ.Θ. 5+455	194
Σχήμα 5–22, Καμπύλες Καθιζήσεων Gauss δίδυμης σήραγγας στη Χ.Θ. 5+455.....	195
Σχήμα 5–23, Γεωλογικοί Σχηματισμοί τομής Χ.Θ. 5+544	196
Σχήμα 5–24, Καμπύλες Καθιζήσεων Gauss δίδυμης σήραγγας στη Χ.Θ. 5+544.....	197
Σχήμα 5–25, Γεωλογικοί Σχηματισμοί τομής Χ.Θ. 5+566	199
Σχήμα 5–26, Καμπύλες Καθιζήσεων Gauss δίδυμης σήραγγας στη Χ.Θ. 5+566.....	200
Σχήμα 5–27, Γεωλογικοί Σχηματισμοί τομής Χ.Θ. 5+658	201
Σχήμα 5–28, Καμπύλες Καθιζήσεων Gauss δίδυμης σήραγγας στη Χ.Θ. 5+658.....	202
Σχήμα 5–29, Γεωλογικοί Σχηματισμοί τομής Χ.Θ. 5+734	204
Σχήμα 5–30, Καμπύλες Καθιζήσεων Gauss δίδυμης σήραγγας στη Χ.Θ. 5+734.....	205
Σχήμα 6–1, Συνθήκες πίεσης μετώπου κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.....	210
Σχήμα 6–2, Συσχέτιση της Πίεσης Μετώπου, της Δύναμης Ώθησης, της Ροπής της κεφαλής, της Ταχύτητας Προώθησης, του Υλικού Εκσκαφής και του Πρωτογενούς Ενέματος με τη Χιλιομετρική Θέση 0+230	214

Σχήμα 6–3, Συσχέτιση της Πίεσης Μετώπου, της Δύναμης Ώθησης, της Ροπής της κεφαλής, της Ταχύτητας Προώθησης, του Υλικού Εκσκαφής και του Πρωτογενούς Ενέματος με τη Χιλιομετρική Θέση 0+287	217
Σχήμα 6–4, Συσχέτιση της Πίεσης Μετώπου, της Δύναμης Ώθησης, της Ροπής της κεφαλής, της Ταχύτητας Προώθησης, του Υλικού Εκσκαφής και του Πρωτογενούς Ενέματος με τη Χιλιομετρική Θέση 0+366	219
Σχήμα 6–5, Συσχέτιση της Πίεσης Μετώπου, της Δύναμης Ώθησης, της Ροπής της κεφαλής, της Ταχύτητας Προώθησης, του Υλικού Εκσκαφής και του Πρωτογενούς Ενέματος με τη Χιλιομετρική Θέση 2+122	221
Σχήμα 6–6, Συσχέτιση της Πίεσης Μετώπου, της Δύναμης Ώθησης, της Ροπής της κεφαλής, της Ταχύτητας Προώθησης, του Υλικού Εκσκαφής και του Πρωτογενούς Ενέματος με τη Χιλιομετρική Θέση 2+460	223
Σχήμα 6–7, Συσχέτιση της Πίεσης Μετώπου, της Δύναμης Ώθησης, της Ροπής της κεφαλής, της Ταχύτητας Προώθησης, του Υλικού Εκσκαφής και του Πρωτογενούς Ενέματος με τη Χιλιομετρική Θέση 5+455	225
Σχήμα 6–8, Συσχέτιση της Πίεσης Μετώπου, της Δύναμης Ώθησης, της Ροπής της κεφαλής, της Ταχύτητας Προώθησης, του Υλικού Εκσκαφής και του Πρωτογενούς Ενέματος με τη Χιλιομετρική Θέση 5+544	227
Σχήμα 6–9, Συσχέτιση της Πίεσης Μετώπου, της Δύναμης Ώθησης, της Ροπής της κεφαλής, της Ταχύτητας Προώθησης, του Υλικού Εκσκαφής και του Πρωτογενούς Ενέματος με τη Χιλιομετρική Θέση 5+566	229
Σχήμα 6–10, Συσχέτιση της Πίεσης Μετώπου, της Δύναμης Ώθησης, της Ροπής της κεφαλής, της Ταχύτητας Προώθησης, του Υλικού Εκσκαφής και του Πρωτογενούς Ενέματος με τη Χιλιομετρική Θέση 5+658	231
Σχήμα 6–11, Συσχέτιση της Πίεσης Μετώπου, της Δύναμης Ώθησης, της Ροπής της κεφαλής, της Ταχύτητας Προώθησης, του Υλικού Εκσκαφής και του Πρωτογενούς Ενέματος με τη Χιλιομετρική Θέση 5+734	233

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1–1, Ακριβής θέση των σταθμών του Μετρό Θεσσαλονίκης, Πηγή: http://www.ametro.gr	15
Πίνακας 2–1, Θέσεις και Βάθη Σταθμών του Βασικού Έργου.....	40
Πίνακας 2–2, Βασικά Χαρακτηριστικά των Μεσοδιαστημάτων του Βασικού Έργου	43
Πίνακας 2–3, Διακύμανση των μέσων φυσικών χαρακτηριστικών των γεωτεχνικών ενοτήτων του Υποτμήματος 1 (X.Θ. 0- 249 έως X.Θ. 0+443), Πηγή: Αττικό Μετρό	58
Πίνακας 2–4, Διακύμανση των μέσων φυσικών χαρακτηριστικών των γεωτεχνικών ενοτήτων του Υποτμήματος 2 (X.Θ. 0+443 έως X.Θ. 1+908), Πηγή: Αττικό Μετρό	62
Πίνακας 2–5, Διακύμανση των μέσων φυσικών χαρακτηριστικών των γεωτεχνικών ενοτήτων του Υποτμήματος 3(X.Θ. 1+908 έως X.Θ. 3+630), Πηγή: Αττικό Μετρό	64
Πίνακας 2–6, Διακύμανση των μέσων φυσικών χαρακτηριστικών των γεωτεχνικών ενοτήτων του Υποτμήματος 1(X.Θ. 3+630 έως X.Θ. 4+250), Πηγή: Αττικό Μετρό	72
Πίνακας 2–7, Διακύμανση των μέσων φυσικών χαρακτηριστικών των γεωτεχνικών ενοτήτων του Υποτμήματος 2 (X.Θ. 4+250 έως X.Θ. 5+880), Πηγή: Αττικό Μετρό	75
Πίνακας 3–1, Γεωτεχνική ταξινόμηση, μέσες τιμές παραμέτρων, Πηγή: Σ. Κουκουτάς	89
Πίνακας 5–1, Τιμές του γεωλογικού συντελεστή k	153
Πίνακας 5–2, Τιμές καθιζήσεων σε συγκεκριμένες αποστάσεις από κεντρικό άξονα των σηράγγων για την τομή 8+298.	158
Πίνακας 5–3, Διάγραμμα συσχέτισης των τιμών $\ln(S)$ και x^2	159
Πίνακας 5–4, Καμπύλη καθίζησης Gauss στη χιλιομετρική θέση 8+298	160
Πίνακας 5–5, Αριθμοί χωροσταθμικών ακίδων ανά μεσοδιάστημα.....	167
Πίνακας 5–6, Χιλιομετρικές θέσεις και μήκη μεσοδιαστημάτων.....	169
Πίνακας 5–7, Συνολική παρουσίαση τομών και των αντίστοιχων καθιζήσεων που προέκυψαν ..	180
Πίνακας 5–8, Χωροσταθμικά σημεία και ισοβαθείς καμπύλες για την τομή X.Θ. 0+230	182
Πίνακας 5–9, Παράμετροι καθιζήσεων για τα TBM 1+2 στη X.Θ. 0+230	183
Πίνακας 5–10, Χωροσταθμικά σημεία και ισοβαθείς καμπύλες για την τομή X.Θ. 0+287	184
Πίνακας 5–11, Παράμετροι καθιζήσεων για τα TBM 1+2 στη X.Θ. 0+287	185

Πίνακας 5–12, Χωροσταθμικά σημεία και ισοβαθείς καμπύλες για την τομή Χ.Θ. 0+366	187
Πίνακας 5–13, Παράμετροι καθιζήσεων για τα TBM 1+2 στη Χ.Θ. 0+366	188
Πίνακας 5–14, Χωροσταθμικά σημεία και ισοβαθείς καμπύλες για την τομή Χ.Θ. 2+122	189
Πίνακας 5–15, Παράμετροι καθιζήσεων για τα TBM 1+2 στη Χ.Θ. 2+122	190
Πίνακας 5–16, Χωροσταθμικά σημεία και ισοβαθείς καμπύλες για την τομή Χ.Θ. 2+460	192
Πίνακας 5–17, Παράμετροι καθιζήσεων για τα TBM 1+2 στη Χ.Θ. 2+460	193
Πίνακας 5–18, Χωροσταθμικά σημεία και ισοβαθείς καμπύλες για την τομή Χ.Θ. 5+455	194
Πίνακας 5–19, Παράμετροι καθιζήσεων για τα TBM 1+2 στη Χ.Θ. 5+455	195
Πίνακας 5–20, Χωροσταθμικά σημεία και ισοβαθείς καμπύλες για την τομή Χ.Θ. 5+544	197
Πίνακας 5–21, Παράμετροι καθιζήσεων για τα TBM 1+2 στη Χ.Θ. 5+544	198
Πίνακας 5–22, Χωροσταθμικά σημεία και ισοβαθείς καμπύλες για την τομή Χ.Θ. 5+566	199
Πίνακας 5–23, Παράμετροι καθιζήσεων για τα TBM 1+2 στη Χ.Θ. 5+566	200
Πίνακας 5–24, Χωροσταθμικά σημεία και ισοβαθείς καμπύλες για την τομή Χ.Θ. 5+658	202
Πίνακας 5–25, Παράμετροι καθιζήσεων για τα TBM 1+2 στη Χ.Θ. 5+658	203
Πίνακας 5–26, Χωροσταθμικά σημεία και ισοβαθείς καμπύλες για την τομή Χ.Θ. 5+734	204
Πίνακας 5–27, Παράμετροι καθιζήσεων για τα TBM 1+2 στη Χ.Θ. 5+734	205

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – Γενικά στοιχεία για το Μετρό Θεσσαλονίκης

1. Γενικά στοιχεία για το Μετρό Θεσσαλονίκης

1.1. Βασικά Χαρακτηριστικά

Το Μετρό είναι η μεγαλύτερη συγκοινωνιακή, αναπτυξιακή και περιβαλλοντική υποδομή που κατασκευάζεται αυτήν την περίοδο στην Ελλάδα, είναι ένα μεγάλο έργο που αναδεικνύει τη Θεσσαλονίκη σε μία σύγχρονη ευρωπαϊκή πόλη.

Το έργο που βρίσκεται τώρα υπό κατασκευή, είναι το λεγόμενο και Βασικό Έργο, που αποτελείται από 13 σταθμούς με κεντρική αποβάθρα μήκους 60 μέτρων και δύο ανεξάρτητες υπόγειες σήραγγες μονής τροχιάς μήκους 9,6 χλμ. η καθεμία. Το μεγαλύτερο μήκος των σηράγγων αυτών κατασκευάζεται με την χρήση δύο μηχανημάτων ολομέτωπης διάνοιξης TBM, γνωστά στο ευρύ κοινό ως «μετροπόντικες».

Το Μετρό Θεσσαλονίκης, είναι πλέον το μεγαλύτερο σύγχρονο δημόσιο έργο στη χώρα, μαζί με την ήδη δημοπρατημένη επέκταση προς την Καλαμαριά. Το έργο αυτό αποτελεί μία επένδυση που αγγίζει το 1,5 δις. Ευρώ. Η επένδυση αυτή αφορά ένα υπερσύγχρονο σύστημα Μετρό, το οποίο θα ενσωματώνει τα πλέον σύγχρονα τεχνολογικά δεδομένα στον κλάδο των υπόγειων σιδηροδρομικών δικτύων, όπως την αυτόματη λειτουργία των συρμών χωρίς οδηγό, αυτόματες ηλεκτρικές θύρες επί των αποβαθρών για την εξασφάλιση της μέγιστης ασφάλειας των επιβατών, έξυπνα συστήματα ελέγχου για ενεργειακή εξοικονόμηση κ.α.

1.1.1. Ιστορικά στοιχεία

Τον Σεπτέμβριο του 2003 αποφασίστηκε να κατασκευαστεί το Μετρό ως δημόσιο έργο, με χρηματοδότηση του Ελληνικού Δημοσίου και της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Με βάση τη διακήρυξη του νέου Διαγωνισμού, τον Ιούνιο του 2004 υπέβαλαν εκδήλωση ενδιαφέροντος πέντε κοινοπραξίες με σημαντικές ελληνικές και ξένες εταιρείες του κλάδου. Το πρώτο στάδιο του διαγωνισμού ολοκληρώθηκε τον Νοέμβριο του 2004. Τέσσερις από τις πέντε κοινοπραξίες συνέχισαν στο δεύτερο στάδιο και τον Ιανουάριο 2005 έλαβαν τα τεύχη της δημοπράτησης και τη νέα προμελέτη του έργου. Στις 12 Μαΐου 2005 οι προεπιλεγείσες κοινοπραξίες υπέβαλαν την τεχνική και οικονομική προσφορά τους και στις 19 Αυγούστου ολοκληρώθηκε η αξιολόγηση των τεχνικών και οικονομικών προσφορών των τριών κοινοπραξιών που έμειναν στο τελικό στάδιο του διαγωνισμού. Η σύμβαση με την ανάδοχο κοινοπραξία ΑΕΓΕΚ IMPREGILO-ANSALDO T.S.F.-SELI-

ANSALDOBREDA υπογράφηκε στις 7 Απριλίου 2006 και στα τέλη Ιουνίου του ίδιου έτους ξεκίνησε η κατασκευή του έργου.

Απόφαση για δημοπράτηση ως δημόσιο έργο	9/2003
Νομοθετική ρύθμιση που αναθέτει στην ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ την υλοποίηση του έργου	12/2003
Έναρξη διαδικασίας προεπιλογής αναδόχων	12/2003
Κατάθεση εκδηλώσεων ενδιαφέροντος	6/2004
Ολοκλήρωση προεπιλογής	11/2004
Ολοκλήρωση μελέτης και τευχών δημοπράτησης από την ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ	1/2005
Β' Φάση δημοπράτησης έργου	1/2005
Υποβολή τεχνικών και οικονομικών προσφορών	5/2005
Τεχνική αξιολόγηση των διαγωνιζομένων κοινοπραξιών	7/2005
Ανάδειξη προσωρινού αναδόχου	8/2005
Υπογραφή σύμβασης και έναρξη κατασκευής του έργου	4/2006

Η κατασκευή του Μετρό της Θεσσαλονίκης θα ενσωματώνει τα πλέον σύγχρονα τεχνολογικά δεδομένα και τις πιο απαιτητικές προδιαγραφές ποιότητας και λειτουργικότητας, με αποτέλεσμα να είναι από τα πιο σύγχρονα δίκτυα υπόγειου σιδηροδρόμου στην Ευρώπη.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του δικτύου Μετρό στη Θεσσαλονίκη είναι τα εξής:

- 9,6 χλμ. γραμμής με δύο ανεξάρτητες σήραγγες μονής τροχιάς
- 13 σύγχρονοι σταθμοί με κεντρική αποβάθρα για το Βασικό Έργο
- 18 αυτόματοι συρμοί τελευταίας τεχνολογίας, πλήρως κλιματιζόμενοι, οι οποίοι θα κινούνται χωρίς οδηγό αλλά με συνοδό
- Συστήματα αυτόματων θυρών επί των των αποβάθρων κάθε σταθμού για καλύτερη εξυπηρέτηση και μέγιστη ασφάλεια του επιβατικού κοινού
- Δημιουργία αμαξοστάσιου έκτασης 50.000τμ στην περιοχή της Πυλαίας
- 1 κέντρο ελέγχου λειτουργίας



Εικόνα 1-1, Συρμός νέας γενιάς που θα εξυπηρετεί το Μετρό Θεσσαλονίκης, Πηγή:

<http://www.ametro.gr>

Επίσης, στο πρόγραμμα ανάπτυξης χώρων στάθμευσης της Αττικό Μετρό προβλέπεται η κατασκευή υπόγειων χώρων στάθμευσης στο Μετρό της Θεσσαλονίκης, συνολικής χωρητικότητας 3.700 θέσεων. Συγκεκριμένα στον σταθμό του Νέου Σιδηροδρομικού Σταθμού 1050 θέσεις, στο σταθμό Νέα Ελβετία 650 θέσεις και στο σταθμο Πανεπιστήμιο 2000 θέσεις.

1.1.2. Σημαντικές βελτιώσεις στη μελέτη του έργου

Σημαντικά ζητήματα που δεν είχαν αντιμετωπισθεί επαρκώς από την προηγούμενη μελέτη της αποτυχημένης απόπειρας κατασκευής του Μετρό της Θεσσαλονίκης με τη μέθοδο της παραχώρησης (1998-2003), αντιμετωπίστηκαν λεπτομερώς χάρις στη νέα μελέτη του έργου. Η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. αντεπεξήλθε αποδοτικά σε ιδιαίτερα δύσκολες προκλήσεις σε τεχνικά θέματα κατασκευής του έργου, εξασφαλίζοντας έτσι την ελαχιστοποίηση των όποιων εμπλοκών λόγω του ανεπαρκούς αρχικού σχεδιασμού. Συγκεκριμένα, οι βασικές βελτιώσεις στον σχεδιασμό και στη μελέτη του συστήματος του Μετρό της Θεσσαλονίκης είναι οι εξής:

- Αρχαιολογικά θέματα

Σε συνεργασία με τις Αρχαιολογικές Υπηρεσίες και το Υπουργείο Πολιτισμού, η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΑΕ πραγματοποίησε μελέτη αρχαιολογικής τεκμηρίωσης στην οποία καθορίστηκαν οι Σταθμοί «υψηλού αρχαιολογικού κινδύνου» όπου αναμένεται αποκάλυψη αρχαιοτήτων. Μετατόπισε από τις αρχικές τους θέσεις Σταθμούς των οποίων η κατασκευή θα απαιτούσε μακροχρόνια αρχαιολογική ανασκαφή πχ. ο Σταθμός Πλ. Δημοκρατίας μετατοπίστηκε σε θέση έξω από τα αρχαία τείχη της πόλης. Επέλεξε τις καλύτερες δυνατές μεθόδους για την προστασία των αρχαιολογικών ευρημάτων αλλά και για την ελαχιστοποίηση του κόστους των αρχαιολογικών ανασκαφών.

- Δίκτυα οργανισμών κοινής ωφέλειας

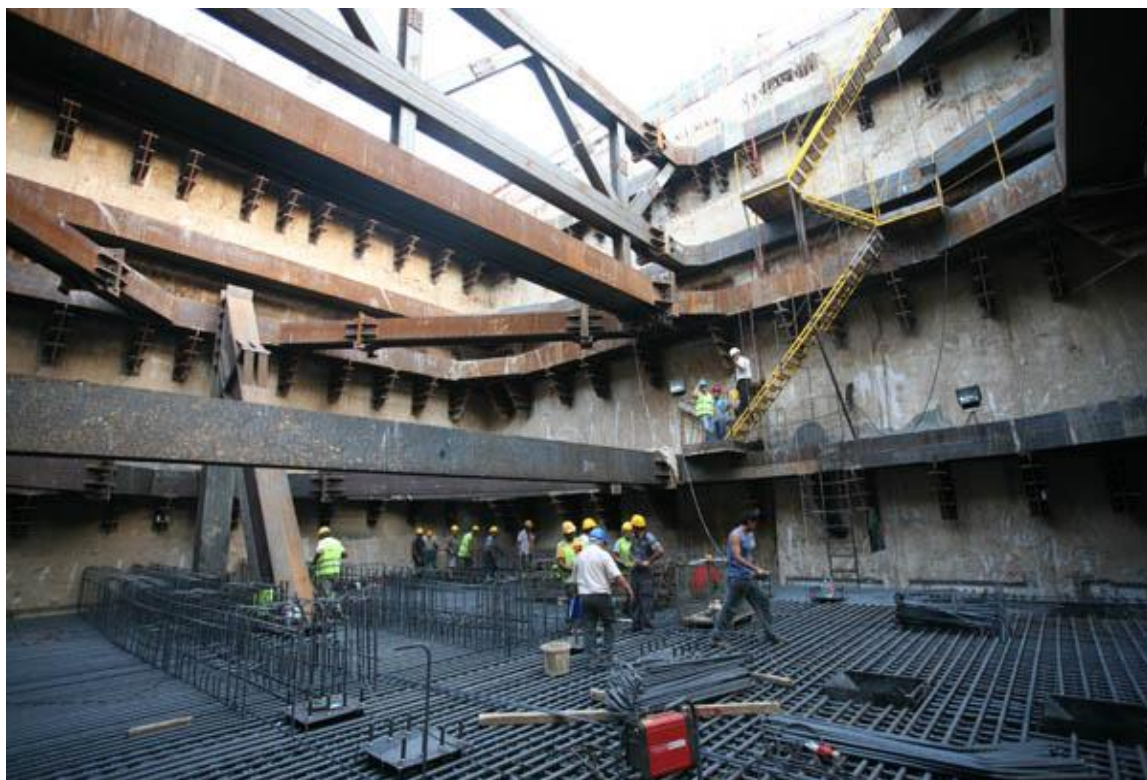
Βάσει της αρχικής μελέτης ο Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός της πόλης θα έπρεπε σε κάποιο μεγάλο τμήμα του να μετατοπισθεί και να παρακαμφθεί. Με τη νέα μελέτη του έργου πραγματοποιήθηκαν βελτιώσεις στη χάραξη της Γραμμής του Μετρό Θεσσαλονίκης ώστε να διασφαλισθεί ότι δε θα υπάρξει καμία εμπλοκή με τον Κεντρικό Αποχετευτικό Αγωγό. Παράλληλα, σχεδιάστηκαν αντίστοιχες προβλέψεις και μικρότερης εμβέλειας διορθώσεις λαμβάνοντας υπόψη και τα υπόλοιπα δίκτυα κοινής ωφέλειας της Θεσσαλονίκης.

- Υπέδαφος

Η νέα μελέτη του έργου, χάρις στη συλλογή πρόσθετων στοιχείων για το υπέδαφος της Θεσσαλονίκης, καθόρισε επακριβώς τις μεθόδους εκσκαφής τόσο των Σταθμών όσο και της Γραμμής και προσδιόρισε τα χαρακτηριστικά των δύο Μηχανημάτων Διάνοιξης Σηράγγων.

- Μέθοδοι Κατασκευής

Επιλέχθηκαν μέθοδοι κατασκευής που ελαχιστοποιούν την ενόχληση των κατοίκων της πόλης και την παρεμπόδιση της οδικής κυκλοφορίας. Οι σταθμοί κατασκευάζονται με διαφραγματικούς τοίχους και με τη μέθοδο cover-and-cut («κάλυψη και μετά εκσκαφή»). Με τη μέθοδο αυτή, το μεγαλύτερο τμήμα των κατασκευαστικών εργασιών θα πραγματοποιηθεί υπογείως και η αναπόφευκτη όχληση από τις επιφανειακές εργασίες θα είναι σημαντικά μικρότερη σε σχέση με τις μεθόδους ανοιχτού ορύγματος (cut and cover) που εφαρμόστηκε στους περισσότερους σταθμούς μετρό της Αθήνας.



Εικόνα 1–2, Εργασίες κατά την κατασκευή του σταθμού Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός, Πηγή: <http://www.ametro.gr>

- Πρόβλεψη επεκτάσεων συστήματος

Στο πλαίσιο του έργου που ανατέθηκε προβλέπεται και η κατασκευή των υπόγειων έργων που είναι απαραίτητα για τη μελλοντική επέκταση της γραμμής του Μετρό, τόσο προς Σταυρούπολη, όσο και προς Καλαμαριά, χωρίς να χρειασθεί μελλοντικά η διακοπή λειτουργίας του έργου.

- Σύστημα θυρών επί των αποβάθρων

Αποτελεί τεχνολογική καινοτομία, που εφαρμόζεται πλέον σε νέα συστήματα Μετρό, η εγκατάσταση θυρών στις αποβάθρες των Σταθμών (που ανοίγουν αυτομάτως μόνο με την έλευση του συρμού στο σταθμό). Η εγκατάσταση των θυρών αυτών επιτρέπει την αυτοματοποίηση όλου του συστήματος και οδηγεί σε μεγαλύτερη ασφάλεια των επιβατών του Μετρό.

1.1.3. Πρόοδος εργασιών

Το Νοέμβριο του 2007 έφθασε στην πόλη το πρώτο Μηχάνημα Διάνοιξης Σηράγγων και στις 4 Απριλίου 2008 αφίχθη και το δεύτερο. Το πρώτο μηχάνημα ξεκίνησε τη διάνοιξη στις αρχές του 2008 και τον Απρίλιο ακολούθησε το δεύτερο. Κατά τη λειτουργία του μηχανήματος δύναται να κατασκευάζονται καθημερινά δέκα μέτρα έτοιμης σήραγγας, το οποίο εξαρτάται πάντα από τις γεωλογικές συνθήκες. Τα δύο μηχανήματα πραγματοποιούν την εκσκαφή των σηράγγων σε βάθος 16 έως 31 μέτρα. Τα προϊόντα της εκσκαφής των δύο μηχανημάτων μεταφέρονται από το Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό εκτός της κεντρικής περιοχής της Θεσσαλονίκης δίχως να επιβαρύνεται το κέντρο της πόλης με κίνηση φορτηγών.



Εικόνα 1–3, Συναρμολόγηση του μηχανήματος EPB στο Μετρό Θεσσαλονίκη, Πηγή:

<http://www.ametro.gr>

Η κατασκευή των σταθμών του Μετρό γίνεται με τη μέθοδο «επικάλυψη και εκσκαφή» (Cover & Cut) και τη χρήση διαφραγματικών τοίχων. Μέχρι σήμερα η πρόοδος στα έργα πολιτικού μηχανικού φτάνει το 44%. Στο σταθμό «Ευκλείδη», τον πρώτο κατασκευασμένο σταθμό του Μετρό Θεσσαλονίκης, ξεκίνησαν οι εργασίες των αρχιτεκτονικών τελειωμάτων και η εγκατάσταση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.

Τα δύο μηχανήματα ολομέτωπης κοπής έχουν διανοίξει πάνω από το 73% των σηράγγων του Μετρό ή αλλιώς συνολικά 12 χλμ. σήραγγας μονής τροχιάς. Συγχρόνως, έχει ήδη ξεκινήσει η κατασκευή των 18 υπερ-αυτόματων τραινών.

1.1.4. Αρχαιολογικές ανασκαφές

Η κατασκευή του Μετρό Θεσσαλονίκης αποτελεί δύσκολο εγχείρημα καθώς ένα μεγάλο τεχνικό έργο σε συνθήκες αστικού περιβάλλοντος και ειδικά στην Ελλάδα συναντιέται αναπόφευκτα με την πλούσια πολιτιστική κληρονομιά της πόλης. Για τις ανάγκες κατασκευής του Μετρό πρόκειται να πραγματοποιηθεί η μεγαλύτερη αρχαιολογική ανασκαφή στη Θεσσαλονίκη, η οποία προβλέπεται να καλύψει συνολική έκταση 20.000 τ.μ. Η συνολική δαπάνη για τις αρχαιολογικές ανασκαφές που θα πραγματοποιηθούν για το Μετρό της Θεσσαλονίκης υπολογίζεται ότι θα ξεπεράσει τα 75.000.000 ευρώ.

Η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ, αξιοποιώντας την εμπειρία της από τις αρχαιολογικές ανασκαφές του Μετρό της Αθήνας (συνολικής έκτασης 79.000 τ.μ.), πραγματοποίησε τις απαραίτητες αλλαγές στον τεχνικό σχεδιασμό του Μετρό της Θεσσαλονίκης και στη νέα μελέτη του έργου βύθισε τις σήραγγες σε βάθος πολύ χαμηλότερο από τα αρχαιολογικά στρώματα. Η αρχική πρόβλεψη βάθους ήταν 7-9μ., ενώ πλέον το βάθος των σηράγγων κυμαίνεται από -14 έως -31 μέτρα, προκειμένου να αποφευχθούν ιδιαίτερα δυσάρεστες επιπλοκές στο έργο.

Σύμφωνα με την ειδική μελέτη που πραγματοποιήθηκε από αρχαιολόγους για το Μετρό Θεσσαλονίκης, από τον νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό του Μετρό έως τον Σταθμό Πανεπιστήμιο η αποκάλυψη αρχαιολογικών ευρημάτων προβλέπεται να είναι συνεχής, μεγαλύτερη όμως πυκνότητα ευρημάτων αναμένεται στο εντός των τειχών τμήμα της Θεσσαλονίκης, από την πλατεία Δημοκρατίας έως το Συντριβάνι.



Εικόνα 1–4, Αρχαιολογικά ευρήματα στο σταθμό Βενιζέλου, Πηγή: <http://www.ametro.gr>

Τρεις από τους Σταθμούς χαρακτηρίζονται ως «υψηλού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος» (Σταθμοί: Δημοκρατίας, Βενιζέλος και Άγια Σοφία) και τρεις ως «μέσου αρχαιολογικού ενδιαφέροντος» (Σταθμοί: Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός, Συντριβάνι και Πανεπιστήμιο). Βεβαίως, όπως είχε αποδείξει η εμπειρία των αρχαιολογικών ανασκαφών που έχουν διενεργηθεί για την κατασκευή τεχνικών έργων, λόγω των πολυπληθών επεμβάσεων και μετασκευών που έχουν υποστεί τα οικιστικά σύνολα στο πέρασμα των αιώνων, επιφυλάσσονται πολύ συχνά εκπλήξεις στους ανασκαφείς, δηλαδή αποκαλύπτονται συχνά αρχαιότητες εκεί όπου δεν αναμένονται και το αντίθετο.

Η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΑΕ, ως επιστέγασμα της αποτελεσματικής συνεργασίας με το Υπουργείο Πολιτισμού και τις Εφορείες Αρχαιοτήτων, υπέγραψε τον Ιούλιο του 2006 μνημόνιο συναντίληψης και συνεργασίας για «τη διευκόλυνση, συστηματοποίηση και επιτάχυνση των αρχαιολογικών εργασιών», αναλαμβάνοντας παράλληλα το σύνολο της δαπάνης του αρχαιολογικού έργου, από το αρχικό στάδιο των ανασκαφών έως το τελικό στάδιο της ανάδειξης των σημαντικότερων αρχαιολογικών ευρημάτων σε κεντρικούς Σταθμούς του δικτύου. Η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΑΕ, σε συνεργασία με το Υπουργείο

Πολιτισμού, πρόκειται να αναδείξει τα σπουδαιότερα αρχαιολογικά ευρήματα του έργου σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους στους κεντρικούς Σταθμούς του δικτύου.

Μέχρι σήμερα έχει πραγματοποιηθεί το 74% των αρχαιολογικών ανασκαφών και αναμένεται μέσα στο επόμενο έτος να έχουν ολοκληρωθεί όλες οι ανασκαφές. Κατά τη διάρκεια της αρχαιολογικής έρευνας, έχουν ανακαλυφθεί περισσότερα από 10.000 ευρήματα, κυρίως κατά μήκος της Εγνατίας Οδού. Στην παρούσα φάση, γίνονται αρχαιολογικές ανασκαφές σε τρία σημεία του έργου, στους σταθμούς «Δημοκρατία», «Βενιζέλου» και «Αγία Σοφία». Πρόκειται για τη μεγαλύτερη αρχαιολογική ανασκαφή στην πόλη της Θεσσαλονίκης έργο το οποίο μέχρι σήμερα έχει καλύψει μία έκταση της τάξεως των 21.000 τ.μ.

Στα ευρήματα των ανασκαφών κατά τις εργασίες για την κατασκευή του Μετρό Θεσσαλονίκης συγκαταλέγονται κτίρια, τάφοι, αγγεία, χρυσά στεφάνια και νομίσματα, κοσμήματα και αποκαλύπτουν διάφορες χρονικές περιόδους από την 23 αιώνων ιστορία της Θεσσαλονίκης.

1.1.5. Επεκτάσεις

Η Αττικό Μετρό ΑΕ έχει συμπεριλάβει στο βασικό έργο του Μετρό Θεσσαλονίκης την αναγκαία υποδομή που απαιτείται προκειμένου να υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας επεκτάσεων Μετρό δίχως διακοπή της λειτουργίας του έργου. Στην Α' Φάση των επεκτάσεων για το Μετρό Θεσσαλονίκης προβλέπεται η κατασκευή δύο επεκτάσεων, βορειοδυτικά προς Σταυρούπολη με μήκος 6,5 χλμ με 6 νέους σταθμούς και νοτιοανατολικά προς Καλαμαριά με μήκος 4,5 χλμ με 5 νέους σταθμούς.



Εικόνα 1–5, Υπάρχων χάρτης της σχεδίασης του Μετρό Θεσσαλονίκης, Πηγή:

<http://www.ametro.gr>

Για αυτές τις επεκτάσεις έχουν κατασκευαστεί οι απαραίτητες προβλέψεις στα έργα πολιτικού μηχανικού, στα ηλεκτρομηχανολογικά και στα σιδηροδρομικά συστήματα του βασικού έργου. Επίσης, διερευνάται η ανάγκη κατασκευής πρόσθετου αμαξοστασίου.

Το έργο της κατασκευής της πρώτης επέκτασης του Μετρό Θεσσαλονίκης προς Καλαμαριά δημοπρατήθηκε στις 6 Μαΐου 2009. Εκτός από την κατασκευή των 5 σταθμών προβλέπεται και η κατασκευή Σταθμού Μετεπιβίβασης και χώρου στάθμευσης 1.000 ΙΧ οχημάτων στον τερματικό σταθμό της Μίκρας. Η επέκταση αυτή θα εξυπηρετείται από σταθμούς με κεντρική αποβάθρα μήκους 60 μέτρων και δύο ανεξάρτητες σήραγγες μονής τροχιάς, μήκους 4,8 χλμ. η καθεμία. Τα μηχανήματα που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι τα ίδια με αυτά που χρησιμοποιούνται στο βασικό έργο. Η συγκεκριμένη επέκταση ξεκινάει από το σταθμό «Πατρίκιος» της βασικής γραμμής και καταλήγει στη Μίκρα. Στο αντικείμενο του έργου προβλέπονται υποδομές για μελλοντική επέκταση της γραμμής προς το Αεροδρόμιο. Για την επέκταση της Γραμμής προς Καλαμαριά έχει εξασφαλισθεί χρηματοδότηση ύψους 425.000.000€ από το ΕΣΠΑ. Σήμερα, βρίσκεται σε εξέλιξη η αξιολόγηση των προσφορών των διαγωνιζομένων.

Επίσης, έχουν ολοκληρωθεί οι προκαταρκτικές μελέτες για την επέκταση προς Σταυρούπολη και Ευκαρπία με 5 σταθμούς ,τοπογραφικές και γεωτεχνικές έρευνες, χάραξη του έργου, και θα προχωρήσουν στη συνέχεια οι μελέτες ωρίμανσης του έργου, για το οποίο εξετάζεται και η περαιτέρω επέκταση προς τα Νοσοκομεία της περιοχής.

Πέραν των ανωτέρω στο πρόγραμμα των μελλοντικών επεκτάσεων προβλέπονται προς τα ανατολικά, η σύνδεση της Μίκρας με το Αεροδρόμιο, ενδεχομένως με υπέργειο μέσο σταθερής τροχιάς, που θα έχει μήκος 5,5 χλμ. και θα περιλαμβάνει 4 σταθμούς. Προς τα δυτικά, προβλέπεται επέκταση της βασικής γραμμής από Ν. Σιδηροδρομικό Σταθμό προς Εύοσμο και Κορδελιό, με 4 σταθμούς και μήκος 4,4 χλμ. .Τέλος κατά την εξέταση της δυνατότητας δημιουργίας νέων κλάδων στο βασικό έργο προέκυψε η Γραμμή Πανεπιστήμιο – Τούμπα – Χαριλάου η οποία θα έχει μήκος 4,8 χλμ. και θα περιλαμβάνει 4 σταθμούς. Με αυτές τις επεκτάσεις του Μετρό η Θεσσαλονίκη θα αλλάξει μορφή, η πόλη θα αναβαθμιστεί ριζικά και η καθημερινότητα των πολιτών θα βελτιωθεί σημαντικά.

Τελικά, το συνολικό μήκος της ανάπτυξης του δικτύου του Μετρό στη Θεσσαλονίκη είναι 35 χλμ. και περιλαμβάνει 35 σταθμούς. Πρόκειται για μία επένδυση ύψους 4 δις. Ευρώ που θα μεταμορφώσει συγκοινωνιακά τη Θεσσαλονίκη.

1.1.6. Χρηματοδότηση

Για την χρηματοδότηση της κατασκευής του Μετρό Θεσσαλονίκης έχουν εξασφαλιστεί 550.000.000 € από την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων, ως εγκεκριμένο δάνειο με ευνοϊκούς όρους και 250.000.000 € από το Γ' ΚΠΣ. Ο συνολικός προϋπολογισμός του βασικού έργου ανέρχεται στο 1.052.000 €. Επίσης, εξασφαλίστηκε χρηματοδότηση ύψους 425.000.000 € από το Δ' ΚΠΣ για την επέκταση του βασικού έργου προς την Καλαμαριά, μήκους 5 χλμ. με 5 σταθμούς.

1.1.7. Αναβάθμιση της πόλης

Από την αρχή της λειτουργίας του βασικού έργου του Μετρό της Θεσσαλονίκης υπολογίζεται να εξυπηρετούνται καθημερινά 250.000 επιβάτες (περίπου 75.000.000 ετησίως). Ενώ κατά την πρωινή αιχμή μόνο υπολογίζονται 22.000 επιβιβάσεις. Η επέκταση προς Καλαμαριά αναμένεται να καθημερινά 76.000 επιβάτες. Συνολικά θα αποφευχθούν τουλάχιστον 200.000 καθημερινές μετακινήσεις με Ι.Χ. οχήματα, αριθμός που ισοδυναμεί

με εξοικονόμηση περίπου 3 εκατ. ευρώ την ημέρα. Το Μετρό της Θεσσαλονίκης αναμένεται να λύσει τα σημαντικά συγκοινωνιακά προβλήματα της πόλης και επιπλέον να συνεισφέρει στην περιβαλλοντική αναβάθμιση της.

Χάρη στη λειτουργία του Μετρό και λόγω της συνεπαγόμενης μείωσης των μετακινήσεων με Ι.Χ., αναμένεται να μειωθεί δραστικά, κατά 115.000 τόνους, το διοξείδιο του άνθρακα που καθημερινά εκλύεται στην ατμόσφαιρα της Θεσσαλονίκης, ενώ θα εξοικονομηθούν, ετησίως, 25 εκατ. ώρες, που σήμερα ξοδεύονται για τις ανάγκες μετακίνησης με όλα τα μέσα.

Επιπλέον, για την εξυπηρέτηση των χρηστών του Μετρό, η Αττικό Μετρό, σχεδιάζει υπόγειους χώρους στάθμευσης, σε κομβικά σημεία του έργου, συνολικής χωρητικότητας 3.700 θέσεων.

1.1.8. Σταθμοί μετεπιβίβασης

Ορισμένοι από τους σταθμούς του μετρό θα λειτουργούν ως σταθμοί μετεπιβίβασης επιβατών είτε από τροφοδότηση λεωφορειακών γραμμών είτε από χρήστες ΙΧ οι οποίοι θα σταθμεύουν σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους. Σε ότι αφορά την μετεπιβίβαση από λεωφορεία του Ο.Α.Σ.Θ. δεν είναι ακόμη γνωστή η μελλοντική κατάσταση του δικτύου του Ο.Α.Σ.Θ., αλλά αναμένεται η διαφοροποίησή του ώστε να συνδέεται με τους σταθμούς του Μετρό και να εξυπηρετεί αποτελεσματικά τον μετακινούμενο πληθυσμό.

Σε κάθε περίπτωση θα υπάρχει αλληλοτροφοδότηση με τα λεωφορεία μέσω του Νέου Σιδηροδρομικού Σταθμού, του σταθμού Δημοκρατίας και του σταθμού Νέα Ελβετία. Ο πρώτος και ο τελευταίος σταθμός αναμένεται να είναι και οι βασικοί σταθμοί μετεπιβίβασης τόσο για τους χρήστες των δημοσίων συγκοινωνιών όσο και για τους χρήστες ΙΧ. Χώροι στάθμευσης ΙΧ προβλέπονται στους δύο αυτούς ακραίους σταθμούς και στην περιοχή του Πανεπιστημίου.

ΕΠΕΚΤΑΣΗ	ΣΤΑΘΜΟΣ	ΘΕΣΗ
Σταθμοί Μετρό Θεσσαλονίκης	Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός	Μοναστηρίου & Αναγεννήσεως
	Δημοκρατίας	Μοναστηρίου & 26ης Οκτωβρίου
	Βενιζέλου	Εγνατίας & Βενιζέλου
	Αγία Σοφίας	Εγνατίας & Αγίας Σοφίας
	Συντριβάνι	Εγνατίας & Αγγελάκη (περιοχή Δ.Ε.Θ.)
	Πανεπιστήμιο	Εγνατίας & 3ης Σεπτεμβρίου
	Παπάφη	Κ.Καραμανλή & Παπάφη
	Ευκλείδη	Ασκληπιού & Κατσιμίδα
	Φλέμινγκ	Δελφών & Φλέμινγκ
	Αναλήψεως	Δελφών & Αναλήψεως
	Πατρικίου	Σόλωνος & 25ης Μαρτίου
	Βούλγαρη	Παπαδάκη & Βούλγαρη
	Νέα Ελβετία	Ψελλού

Πίνακας 1-1, Ακριβής θέση των σταθμών του Μετρό Θεσσαλονίκης, Πηγή:

<http://www.ametro.gr>

Το βασικό έργο του Μετρό, από το σταθμό ΝΣΣ μέχρι και το σταθμό Νέα Ελβετία, κινείται πάνω σε περιοχές κατοικίας. Συνεπώς αναμένεται η συνεχής τροφοδότηση και αποβίβαση επιβατών. Γενικά, η κατεύθυνση αιχμής υπολογίζεται να είναι προς το κέντρο και από τις δύο κατευθύνσεις, ενώ συγχρόνως αναμένεται μεγαλύτερος αριθμός αποβιβάσεων σε αυτό τις πρωινές ώρες.

Οι κεντρικοί σταθμοί του έργου είναι οι σταθμοί Βενιζέλου και Δημοκρατίας, εκεί αναμένεται και ο μεγαλύτερος αριθμός επιβιβάσεων και αποβιβάσεων και από τις δύο κατευθύνσεις. Γενικά, ο μεγαλύτερος αριθμός επιβιβάσεων, με κατεύθυνση προς Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό αναμένεται μεταξύ των σταθμών Νέα Ελβετία και Παπάφη. Από την άλλη μεριά, κατά την κίνηση του Μετρό με κατεύθυνση προς Νέα Ελβετία ο αριθμός των επιβιβάσεων στους σταθμούς ΝΣΣ, Δημοκρατίας και Βενιζέλου είναι αισθητά πιο μεγάλος σε σχέση με τους υπόλοιπους σταθμούς. Επίσης, ο φόρτος μέσα στους συρμούς αναμένεται να είναι μεγαλύτερος μεταξύ των σταθμών Ευκλείδη και Αγία Σοφία. Τέλικά, η κατανομή των μετακινήσεων εμφανίζεται διπλάσια στην κατεύθυνση προς Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό σε σχέση με την κατεύθυνση προς Νέα Ελβετία, κάτι που είναι αναμενόμενο διότι οι κεντρικοί σταθμοί βρίσκονται πολύ πιο κοντά στον Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό.

Με τη λειτουργία του Μετρό της Θεσσαλονίκης αναμένεται η συγκοινωνιακή μεταμόρφωση της πόλης, αφού θα καλύπτει το σύνολο του πολεοδομικού συγκροτήματος και θα συνδέει την πόλη με τους δύο μεγάλους συγκοινωνιακούς – μεταφορικούς πόλους, το αεροδρόμιο «Μακεδονία» και το Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό.

1.2. Τα γενικά χαρακτηριστικά μίας αστικής σήραγγας

Η σχεδίαση μίας υπόγειας υποδομής σε ένα περιβάλλον πόλης απαιτεί όχι μόνο στρατηγικό αστικό σχεδιασμό αλλά και ανάλογες αποφάσεις σχετικά με την αστική ανάπτυξη της πόλης, όμως μία τέτοια εκτενής ανάλυση κινδύνου και οικονομικών για να πραγματοποιηθεί σε βάθος δύναται να απαιτήσει χρόνια δουλειάς και συζητήσεων. Είναι εξαιρετικά σημαντικό, κατά τη διάρκεια των μελετών σκοπιμότητας του έργου, να έχουν αποφασισθεί τα όρια μέσα στα οποία θα κινηθούν οι βασικές επιλογές, οι οποίες σε ότι αφορά το θέμα του σχεδιασμού της σήραγγας πρέπει να κατευθύνονται προς:

- Την επιλογή της οριζόντιας χάραξης αναφοράς, δηλαδή την επιλογή του άξονα που θα ακολουθηθεί ώστε να εξυπηρετεί τις ανάγκες σχεδιασμού σε συνδυασμό με τις απαιτούμενες, εάν υπάρχουν, συνδέσεις προς διάφορα μέρη της πόλης.
- Την επιλογή της κατακόρυφης μηκοτομής η οποία σχετίζεται με την χρήση για την οποία προορίζεται το έργο, σε συνδυασμό πάντα με το γεωλογικό και το γεωτεχνικό καθεστώς.

- Την ένταξη του υπό σχεδίαση έργου στον αστικό ιστό και στην αναβάθμιση της πόλης, η οποία καθορίζεται άμεσα από τη σχέση που θα έχει το έργο με το κατοικημένο κέντρο της πόλης.
- Την ανάλυση των διαθέσιμων τεχνολογιών για την εύρεση του πιο κατάλληλου συστήματος που θα εναρμονίζεται με τις ανάγκες των τελικών χρηστών.
- Την επιλογή της διαμόρφωσης του τελικού έργου ώστε να ανταποκρίνεται όσο το δυνατόν καλύτερα στις τελικές απαιτήσεις λειτουργικότητας και ασφάλειας (π.χ. μονή ή διπλή σήραγγα).

Ξεκινώντας με αυτές τις βασικές επιλογές, οι οποίες μπορούν να πραγματοποιηθούν με τη βοήθεια πολυκριτηριακών αναλύσεων, η δουλειά του πολιτικού μηχανικού αρχίζει να παίρνει μορφή με τον καθορισμό ορισμένων γενικών χαρακτηριστικών όπως:

- Γεωλογικές, γεωτεχνικές και υδρογεωλογικές μελέτες
- Περιβαλλοντικές μελέτες
- Γεωμετρία της χάραξης
- Σχεδίαση των ειδικών χαρακτηριστικών ορισμένων τμημάτων
- Εκτίμηση των επιπτώσεων κατασκευής στο αστικό περιβάλλον
- Μελέτη όλων των δυνατών λύσεων ώστε να αμβλυνθούν οποιεσδήποτε πιθανές αρνητικές συνέπειες. (Guglielmetti et al.,2008)

1.2.1. Περιορισμοί ευθυγράμμισης και ειδικών λειτουργικών απαιτήσεων μίας αστικής σήραγγας

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες μίας υπό μελέτη αστικής σήραγγας σε συνδυασμό με τη μέθοδο εκσκαφής που θα επιλεγθεί επηρεάζουν καθοριστικά την τελική χάραξη του έργου και θέτουν σημαντικούς περιορισμούς οι οποίοι διαφέρουν αισθητά από τους περιορισμούς ενός έργου που βρίσκεται εκτός πόλης. Επομένως, η κατασκευή της σήραγγας αποτελεί ουσιαστικά το κέντρο της προσοχής στην εκτέλεση του έργου.

Στη συνέχεια εξετάζονται ορισμένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που ανταποκρίνονται σε διάφορους τύπους κατασκευών και δίνονται οι βασικές οδηγίες που θα πρέπει να ακολουθηθούν. Ορισμένα χαρακτηριστικά, όμως, ισχύουν σε όλες τις χαράξεις οποιασδήποτε υπό κατασκευή υποδομής σε αστικό περιβάλλον που πραγματοποιείται με μηχανική διάνοιξη, συγκεκριμένα:

Η θέση της σήραγγας, ως προς τον κατακόρυφο άξονα, που πρόκειται να κατασκευασθεί τοποθετείται συνήθως σε βάθος 30 με 40 μέτρων και θεωρείται απαραίτητος ο όσο το δυνατόν πληρέστερος προσδιορισμός των συνθηκών που επικρατούν στη θέση της διάνοιξης αλλά και λίγο μέτρα πιο χαμηλά από αυτήν. Ο προσδιορισμός των συνθηκών μπορεί να πραγματοποιηθεί με τον λεπτομερή εντοπισμό των υπόγειων αρχαιολογικών, γεωλογικών, γεωτεχνικών και κατασκευαστικών χαρακτηριστικών.

Τα μεγάλα εμπορικά κέντρα των πόλεων βρίσκονται συνήθως πάνω σε αλλούβιες αποθέσεις με αρκετά υψηλούς υδροφόρους ορίζοντες. Επομένως, οι διαδρομές που θα εκσκαφθούν πραγματοποιούνται σχεδόν πάντα σε δύσκολες συνθήκες.

Ανεξάρτητα από τις γεωλογικές συνθήκες είναι σημαντικό να επιλέγεται βάθος σήραγγας στο οποίο θα αποφεύγονται οι παρεμβολές με τα αρχαιολογικά στρώματα, τα δίκτυα κοινής ωφέλειας και τα θεμέλια των υπερκείμενων εγκαταστάσεων. Γενικά, το υπερκείμενο στρώμα θα πρέπει να έχει βάθος το λιγότερο 1,5 με 2 φορές τη διάμετρο της εκσκαφθείσας σήραγγας, ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη και αποτελεσματικότερη διαχείριση της σταθερότητας του μετώπου κατά την εκσκαφή. Στην επίτευξη αυτού του στόχου μπορεί να βοηθήσει μία καλή γεωτεχνική μελέτη, η οποία θα επιτρέψει μία επιλογή χάραξης με καλύτερες γεωτεχνικές συνθήκες.

- Άσχετα από τη μέθοδο κατασκευής που θα επιλεγεί, θα υπάρξει αναπόφευκτα σε κάποιο βαθμό όχληση στις καθημερινές δραστηριότητες της πόλης. Επομένως, ένας από τους παράγοντες κλειδιά για την πορεία του έργου είναι η επιλογή τέτοιων κατασκευαστικών λύσεων σχεδιασμού που όχι μόνο θα μειώσουν το επίπεδο της ανεπιθύμητης όχλησης αλλά θα ελαχιστοποιήσουν και τη διάρκεια των διαταραχών που δεν μπορούν να αποφευχθούν. Με άλλα λόγια, το έργο πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε εξασφαλίζεται η συνεχής λειτουργία της πορείας κατασκευής και να αποφεύγονται όλες οι πιθανές παρεμβολές που θα μπορούσαν να καθυστερήσουν το έργο.
- Συνεπώς, πρέπει να δοθεί προτεραιότητα ώστε να χρησιμοποιηθεί μηχανοποιημένη κατασκευή από την αρχή της σχεδίασης ενός έργου, συγκεκριμένα, η χρήση των μηχανημάτων ολομέτωπης κοπής στην κατασκευή σηράγγων μπορεί να επιτύχει αξιόλογα ποσοστά προχώρησης, ελαχιστοποιώντας τη διάρκεια των εργασιών.
- Ωστόσο, η μηχανική διάνοιξη, αν και είναι η ασφαλέστερη και πιο αξιόπιστη επιλογή, έχει εξαιρετικά έντονη ακαμψία (γεωμετρία, ακτίνα καμπυλότητας,

περιορισμούς προγραμματισμού και θέσης εργασιών κ.τ.λ) που μπορεί να περιορίσει τις δυνατότητες σχεδιασμού και κατασκευής. Επιπλέον, η ανάλυση αυτής της προβληματικής κατάστασης αποτελεί ένα κρίσιμο ερώτημα, το οποίο κρίνεται αναγκαίο να απαντηθεί όπου απατούνται εγκάρσιες συνδετήριες, διευρύνσεις για χώρους στάθμευσης και πλατφόρμες κ.α.

- Τα εργοτάξια της μηχανοποιημένης διάνοιξης είναι αρκετά περίπλοκα και δυσκίνητα με αποτέλεσμα να αποτελούν ένα σημαντικό εμπόδιο για το έργο, επομένως προτείνεται η εγκατάστασή τους στα προάστια της πόλης και όχι στο κέντρο της. Η εκκίνηση της διάνοιξης για την είσοδο του μηχανήματος θα πρέπει να πραγματοποιηθεί με τον πιο απλό πιθανό τρόπο και αν είναι δυνατόν σε ευθεία επιφάνεια και σε περιοχές όπου με εύκολη εκσκαψιμότητα. Αυτό θα προσφέρει τη δυνατότητα, με ουσιαστικά κανέναν κίνδυνο, της ρύθμισης της απόδοσης του TBM χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα όργανα .
- Η δυσκαμψία του μηχανήματος ολομέτωπης κοπής επιβάλλει χαμηλότερα όρια για την ακτίνα καμπυλότητας των οριζόντιων και των κατακόρυφων χαράξεων, τα οποία αποτελούν συνάρτηση:
 - του τύπου του μηχανήματος διάνοιξης
 - των χαρακτηριστικών των προκατασκευασμένων τμημάτων της τελικής επένδυσης
 - της διαμέτρου εκσκαφής.

Τα όρια αυτά πρέπει να συγκριθούν με τις αντίστοιχες οριακές τιμές οι οποίες συνδέονται με τη λειτουργικότητα του συστήματος το οποίο θα διανοίξει τη σήραγγα. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα κατασκευαστικά όρια ακτίνων καμπυλότητας τα οποία επιβάλλονται από τα μηχανήματα ολομέτωπης κοπής είναι τα πιο αυστηρά.

- Η κατα μήκος κλίση μίας διαδρομής μπορεί να αποτελέσει ακόμα έναν σχεδιαστικό περιορισμό, προκαλώντας διάφορα προβλήματα στους απαραίτητους υπολογισμούς που πρέπει να γίνουν για την αποδοτικότερη λειτουργία των μεθόδων εργασιών όπως π.χ. η μεταφορά του εξορυγμένου υλικού και των τμημάτων της τελικής επένδυσης), αν και οι τιμές των κλίσεων στις αστικές υποδομές δεν είναι ποτέ ιδιαίτερα υψηλές (συνήθως μικρότερες από 3% και σε εξαιρετικές περιπτώσεις 5 με 6%) (Guglielmetti et al., 2008).

1.2.2. Οι ιδιαίτερες προκλήσεις των αστικών σηράγγων

Η εξέλιξη των υποδομών και των σχετιζόμενων υπογείων χώρων σε αστικές περιοχές θα πρέπει πάντα να ανταποκρίνεται στις αντίστοιχες απαιτήσεις για βιώσιμη ανάπτυξη. Η πρόκληση για τους ιδιοκτήτες, τους σχεδιαστές και τους κατασκευαστές του έργου, είναι να χτίσουν συγχρόνως και για το μέλλον και για το παρόν με τέτοιο τρόπο ώστε να διαταράζουν όσο το δυνατόν λιγότερο τις καθημερινές δραστηριότητες των πόλεων, εξασφαλίζοντας την ίδια στιγμή τους στόχους της ποιότητας, της ασφάλειας, του χρόνου και των οικονομικών απαιτήσεων του έργου.

Σε αντίθεση με την κατασκευή σηράγγων σε μη αστικό περιβάλλον, οι σήραγγες που κατασκευάζονται σε αστικές περιοχές έχουν μερικά βασικά και ιδιόμορφα χαρακτηριστικά, καθώς επίσης και ορισμένους ιδιαίτερους περιορισμούς, όπως παρουσιάζονται παρακάτω.

- Η χάραξη είναι απόλυτα συσχετισμένη με την τελική χρήση και τις λειτουργία της σήραγγας. Επομένως, παρά την εμφανή "τοπογραφική ελευθερία" της σχεδίασης του έργου σε τρεις διατάσεις, προκύπτουν πολλοί περιορισμοί οι οποίοι μειώνουν τις πιθανές επιλογές της τελικής τοποθέτησης της χάραξης με αποτέλεσμα να καθίσταται αδύνατη η αποφυγή πιθανών παρεμβάσεων σε κτίρια στην επιφάνεια, υπόγειους αγωγούς και άλλες προυπάρχουσες υπόγειες κατασκευές.
- Η προσβασιμότητα στους χώρους του έργου ώστε να γίνει η απαραίτητη διερεύνηση της τοποθεσίας είναι συχνά περιορισμένη εξαιτίας είτε της έλλειψης άδειας εισόδου σε ορισμένες περιοχές είτε της επιφάνειας η οποία έχει ήδη καλυφθεί από κάποια άλλη χρήση ή κτίριο.
- Γενικά οι αστικές σήραγγες κατασκευάζονται σε μικρά βάθη εξαιτίας του λειτουργικού τους σκοπού και του μεγάλου κόστους. Αυτό οδηγεί συχνά σε μία σειρά ανεπιθύμητων συνεπειών λόγω της γεωλογίας και του υπεδάφους.
- Συχνά, το υπέδαφος σε μικρά βάθη περιέχει χαλαρά εδάφη, αλλούβιες αποθέσεις ή τεταρτογενείς αποθέσεις. Η πτωχή ποιότητα του εδάφους είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες ελέγχου στο σχεδιασμό και την κατασκευή.
- Το υπόβαθρο του υπεδάφους σε μικρά βάθη καταλαμβάνεται από υπόγειους αγωγούς κοινής ωφέλειας. Κατά τον σχεδιασμό θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στον εντοπισμό των αγωγών, ώστε να αποφευχθεί τυχόν ζημιά τους από

καθιζήσεις οι οποίες είναι πιθανό να προκληθούν από την κατασκευή της σήραγγας.

- Σε πολλά μέρη του κόσμου οι πόλεις διαθέτουν μία σημαντική αρχαιολογική ιστορία. Επομένως, σε μικρά βάθη του υπεδάφους είναι πολύ πιθανό να κρύβονται σημαντικές αρχαιότητες, η πιθανότητα αυτή πρέπει να εντοπίζεται εγκαίρως και να δίνεται η απαραίτητη προσοχή κατά των σχεδιασμό των φρεατίων πρόσβασης και αερισμού.
- Οι αβαθείς σήραγγες σε αστικό περιβάλλον συνήθως προκαλούν καθιζήσεις στην επιφάνεια, ακόμα και κάτω από την πιό αυστηρή μέθοδο διάνοιξης. Η έκταση των καθιζήσεων είναι ένα μέγεθος που εξαρτάται από πολλούς αλληλένδετους παράγοντες, όπως είναι η ποιότητα του εδάφους, η συμπεριφορά του κατά την εκσκαφή, η άσκηση πίεσης στο μέτωπο κατά τη διάνοιξη, ο χρόνος αυτουποστήριξης του σχηματισμού, η παρουσία υπόγειων νερών, το υδρογεωλογικό καθεστώς κ.α.
- Η απόκριση των κτιρίων και των δικτύων κοινής ωφέλειας στις καθιζήσεις τις επιφάνειας που πρόκειται να προκύψουν κατά την εκσκαφή πρέπει να εκτιμηθεί προσεκτικά για όλα τα πιθανά σενάρια.
- Θα πρέπει να δοθεί η μέγιστη προσοχή ώστε να μειωθούν, όσο το δυνατόν περισσότερο, οι πιθανότητες αντιμετώπισης ανώμαλων συνθηκών (μεγάλες καθιζήσεις ή καταπτώσεις) κατά την κατασκευή.
- Η μεγάλη αλληλεπίδραση με τη ζωή στην επιφάνεια θα πρέπει να αναλυθεί και να λυθεί προσεκτικά ώστε να δοθούν λύσεις οι οποίες θα είναι αποδεκτές από το κοινό χωρίς να προκαλούν μεγάλη όχληση. Αυτός ο σχεδιασμός έχει σχέση με τις απαραίτητες εκτροπές της κυκλοφορίας, τον ακριβή σχεδιασμό του εργοταξιακού χώρου, τον έλεγχο της σκόνης και του θορύβου, καθώς και την ιδιαίτερη προσοχή στους παράγοντες ασφαλείας.
- Απαιτείται ο σχεδιασμός ενός εκτεταμένου και λεπτομερούς γεωτεχνικού, κατασκευαστικού και περιβαλλοντικού πλάνου, το οποίο χρειάζεται όχι μόνο επιπλέον διάθεση χρημάτων αλλά και πρόσθετο ανθρώπινο δυναμικό.
- Γενικά, η κατασκευή αστικών σιράγγων σχετίζεται συνήθως με την υλοποίηση στρατηγικών έργων υποδομής, τα οποία είναι υψηλής πολιτικής σημασίας. Οι

πολιτικοί σε συνδυασμό με τους χρηματοδότες το έργο και το κοινό, θα απαιτήσουν για την ασφάλεια του προπολογισμού του έργου από πλευράς κόστους και διάρκειας.

- Εν τέλει, η κοινή γνώμη δύναται να επηρεάσει άμεσα την πορεία κατασκευής του έργου γιατί ουσιαστικά η κατασκευή ενός τέτοιου έργου επηρεάζει τη ζωή όλων. Επομένως, το κοινό θα πρέπει να είναι τακτικά ενήμερο για την πορεία της εξέλιξης του έργου και να έχει τη δυνατότητα να εκφράσει τη γνώμη του ως προς την πορεία του έργου. Επιπρόσθετα, είναι αναγκαίο να πραγματοποιείται κάθε δυνατή προσπάθεια ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια του κοινού με στόχο το έργο να γίνει κοινά αποδεκτό από το σύνολο του πληθυσμού και να ελαχιστοποιηθούν οι πιθανές καταστροφικές για το έργο αντιδράσεις της κοινής γνώμης. (Guglielmetti et al.,2008)

1.2.3. Περιορισμοί και ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του αστικού περιβάλλοντος κατά τη σχεδίαση μίας διαδρομής σήραγγας

Κατά την επιλογή μίας διαδρομής για την κατασκευή μίας οποιασδήποτε αστικής σήραγγας και στη συνέχεια τον καθορισμό της κάθετης και της οριζόντιας χάραξης, οι περιορισμοί που υφίστανται δύναται να προκαλέσουν κινδύνους για τον σχεδιασμό και την κατασκευή της σήραγγας. Η τελική επιλογή της διαδρομής αποτελεί συνήθως προϊόν ενός συμβιβασμού μεταξύ της ικανοποίησης των λειτουργικών και τεχνολογικών απαιτήσεων και της άμβλυνσης ή της αποφυγής των ενδεχόμενων παρεμποδίσεων που συνδέονται με τους περιορισμούς.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των τυπικών αστικών περιορισμών καθώς και κάποια μέτρα αντιμετώπισης τους.

1.2.3.1. Κτίρια και Υποδομές

Τα κτίρια είναι ο πιο σύνηθης τύπος εμποδίου ο οποίος μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα κατά τον καθορισμό του συνόλου της χάραξης σε μία αστική σήραγγα.

Για την μείωση των πιθανών κινδύνων που συνδέονται με τα κτίρια, θα πρέπει να διεξαχθεί μία εξειδικευμένη εκτίμηση της κατάστασης του κτιρίου και ακολούθως μια αξιολόγηση της επικινδυνότητας της κατάστασης της κατασκευής.

Στην αρχή της σχεδίασης της χάραξης είναι συνήθως επαρκής η συλλογή όλων των σχετικών πληροφοριών μέσα από μία προσεκτική και εκτενή έρευνα γραφείου. Οι βασικές πληροφορίες που απαιτείται να συλλεχθούν για κάθε κτίριο που συναντιέται πάνω στη χάραξη πρέπει να περιλαμβάνουν:

- Την χρήση για την οποία έχει κατασκευασθεί
- Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά και την κατάσταση συντήρησης του
- Τον τύπο και το βάθος των θεμελίων
- Την παρουσία ή όχι επιπέδων στο υπόγειο
- Τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους κάτω από τα θεμέλια του κτιρίου

Αυτά τα χαρακτηριστικά θα πρέπει να παρουσιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνονται άμεσα κατανοητά.

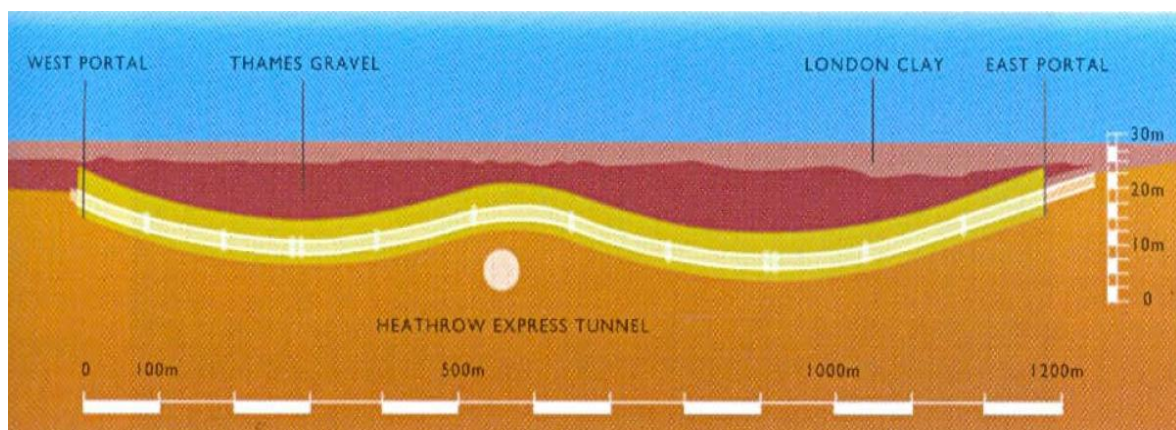
Υπάρχουν όμως και κατασκευές όπως είναι τα βαθιά θεμέλια ή η ύπαρξη υπόγειων επιπέδων που αντιπροσωπεύουν φυσικά εμπόδια τα οποία μπορούν να αποφευχθούν μόνο με κάποιες αλλαγές στη θέση της χάραξης ως προς το βάθος. Τα κτίρια με ιδιαίτερες χρήσεις και σημαντική αρχαιολογική/αρχιτεκτονική σημασία μπορούν να προκαλέσουν σημαντικά εμπόδια, ως προς τη δυσκολία του να πειστεί ο ιδιοκτήτης ή το κοινό ότι η σήραγγα πρέπει να περάσει κάτω από αυτές τις κατασκευές. Με αυτήν την έννοια, μπορεί να καταλήξει πιο δύσκολο, από κοινωνική άποψη, να περάσει μία σήραγγα κάτω από ένα νοσοκομείο ή μία παλιά εκκλησία παρά από ένα κτίριο δέκα ορόφων.

Ο βασικός κίνδυνος από την άμεση παρεμβολή σχετίζεται με την παρουσία της βαθιάς θεμελίωσης επί πασσάλων. Για το λόγο αυτό είναι σημαντικό να καθοριστούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των πασσάλων με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια ώστε να βρεθεί η κατάλληλη θέση της χάραξης.

Άλλες σημαντικές παρεμβολές συχνά συνδέονται με τις υπάρχουσες υποδομές τόσο πάνω όσο και κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, όπως:

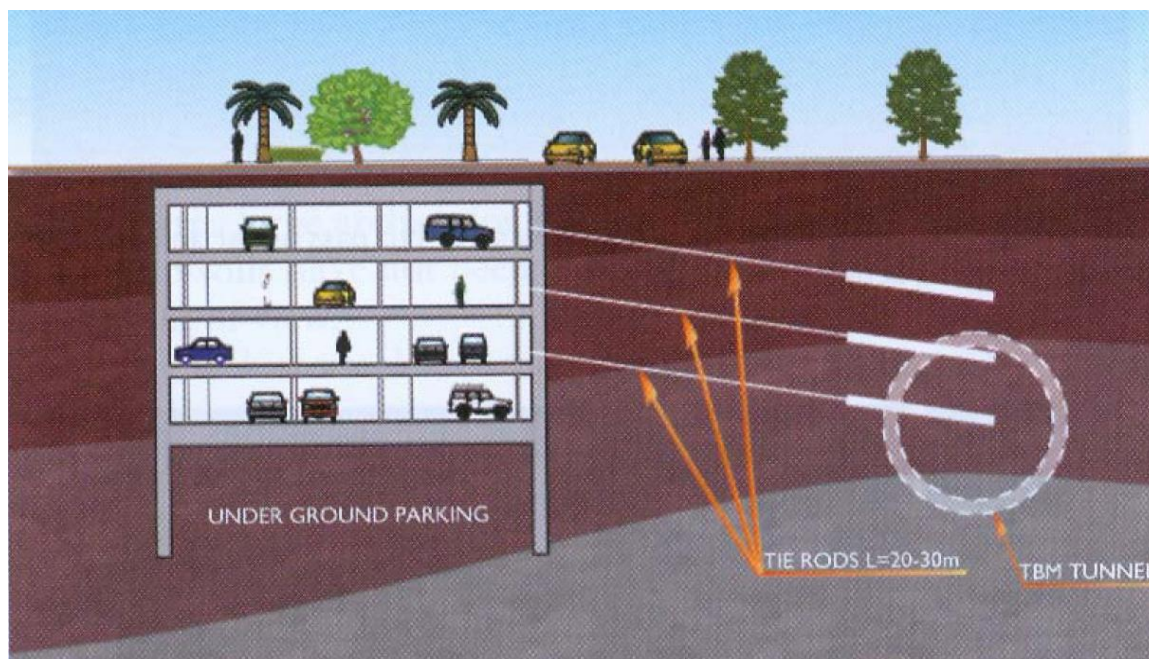
- Υπόγειες διαβάσεις και μεγάλες οδικές αρτηρίες
- Υπόγειες γραμμές συστημάτων
- Σιδηροδρομικές γραμμές
- Χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων
- Σωλήνες ύδρευσης
- Υπόνομοι.

Τέτοια εμπόδια αποτελούν μία ομάδα αυστηρών περιορισμών για τον προσδιορισμό της διαδρομής χάραξης και μπορούν να επιλυθούν μόνο με την μετατόπιση της νέας χάραξης σε άλλο επίπεδο.



Εικόνα 1–6, Οδική σήραγγα στο Heathrow, Μεγάλη Βρετανία: ανύψωση της χάραξης της σήραγγας ώστε να περάσει πάνω από μία ήδη υπάρχουσα σήραγγα, Πηγή: Guglielmetti et al., 2008

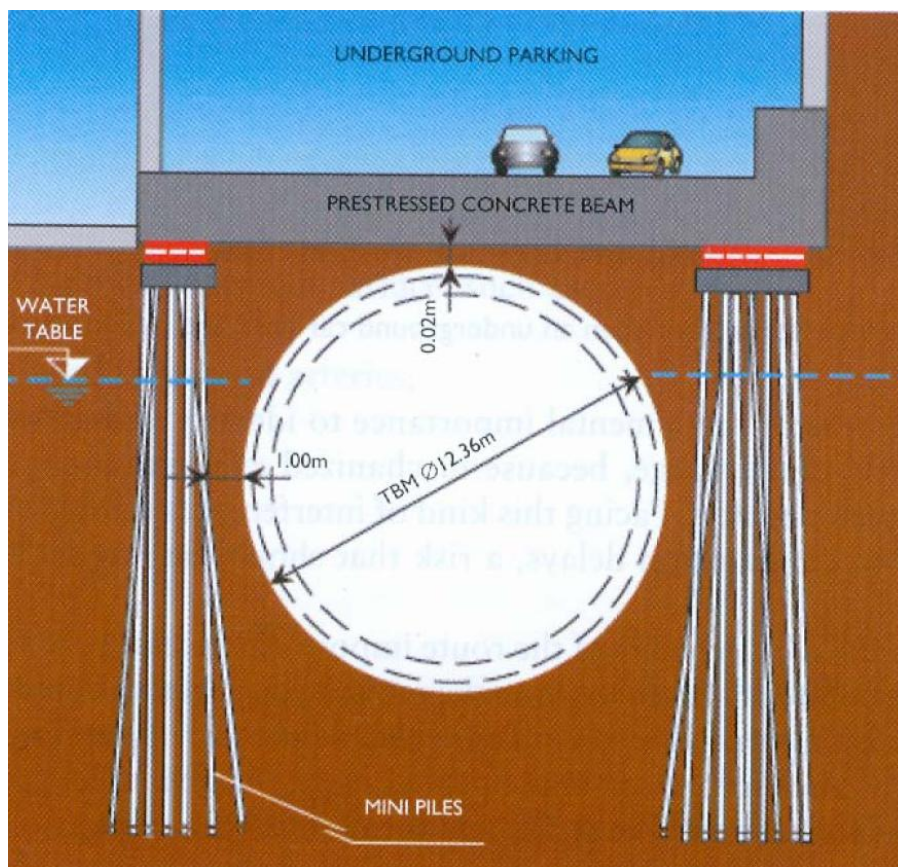
Η μεγάλη αύξηση της κίνησης των αυτοκινήτων στις μεγαλουπόλεις έχει οδηγήσει στην κατασκευή ολοένα και περισσότερων υπόγειων χώρων στάθμευσης, οι οποίοι μπορεί να προκαλέσουν μεγάλα προβλήματα όχι μόνο εξαιτίας του βάθους τους αλλά και λόγω των τοίχων αντιστήριξης που συχνά είναι αγκυρωμένοι με πολλές σειρές πετασμάτων. Το τελευταίο χαρακτηριστικό μπορεί ουσιαστικά να διευρύνει τη ζώνη επιρροής για αυτήν την κατασκευή.



Εικόνα 1–7, Πιθανή παρεμβολή μεταξύ ενός υπόγειου χώρου στάθμευσης και μίας υπό κατασκευή σήραγγας, Πηγή: Guglielmetti et al.,2008

Σε αυτήν την περίπτωση είναι εξαιρετικά σημαντικό να εντοπισθούν και να αποφευχθούν τέτοιου είδους παρεμβολές από την αρχή της σχεδίασης της χάραξης, καθώς η μηχανική διάνοιξη δε μπορεί να αντιμετωπίσει εύκολα κάποιο απρόβλεπτο εμπόδιο. Η αντιμετώπιση τέτοιου είδους παρεμβολών κατά την κατασκευή θα οδηγήσει αναπόφευκτα σε καθυστερήσεις.

Πολύ συχνά, οι απαιτήσεις της διαδρομής που πρέπει να ακολουθηθεί επιβάλλουν τη διέλευση κάτω από κατασκευές και υπόγειους χώρους στάθμευσης με αρκετό κίνδυνο, σε τέτοιες περιπτώσεις η διέλευση της σήραγγας είναι πιθανή μόνο ύστερα από τη χρήση ειδικών μέτρων προστασίας των κατασκευών, όπως είναι η ενίσχυση του εδάφους ή ενίσχυση των ίδιων των θεμελίων.



Εικόνα 1–8, Σήραγγα στη Ζυρίχη – Ενίσχυση ενός υπόγειου χώρου στάθμευσης κάτω από τον οποίο περνά το TBM, Πηγή: Kovari et al., 2004

1.2.3.2. Δίκτυα κοινής ωφέλειας

Δίκτυα κοινής ωφέλειας είναι τα δημόσια δίκτυα ενός αστικού περιβάλλοντος τα οποία έχουν τοποθετηθεί υπόγεια. Σημαντικά δίκτυα κοινής ωφέλειας αποτελούν: αγωγοί κοινής ωφέλειας (αγωγοί νερού και λυμάτων), σωλήνες πίεσης (φυσικού αερίου, θέρμανσης, υδραγωγοί), δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και τηλεφωνικές γραμμές.

Η κατασκευή της σήραγγας και των αντίστοιχων σταθμών (στην περίπτωση των σηράγγων του μετρό) μπορεί να επηρεάσουν άμεσα ή έμμεσα τα δίκτυα κοινής ωφέλειας. Σε μερικές περιπτώσεις, ακόμα και η διάτρηση για τις ερευνητικές γεωτρήσεις ή την ενίσχυση του εδάφους μπορεί να χτυπήσουν κατευθείαν κάποιο δίκτυο και να προκαλέσουν ζημιά. Επομένως, όπως και στην περίπτωση των κτιρίων, πρέπει να μελετηθεί ενδελεχώς η ύπαρξη δικτύων κοινής ωφέλειας και να καταγραφούν οι θέσεις τους ώστε να επιλέγει ανάλογα με αυτές η κατάλληλη θέση χάραξης.

Προκειμένου να συλλεχθούν οι απαραίτητες, το πρώτο βήμα είναι η χαρτογράφηση τους και η συλλογή πληροφοριών για όλα τα δίκτυα που εντοπίζονται στην περιοχή μελέτης. Πρέπει να σημειωθεί ότι πλέον πολλές είναι οι πόλεις που κρατάνε ηλεκτρονικά αρχεία σχετικά με τη θέση και τα χαρακτηριστικά των δικτύων.

1.2.3.3. Υπάρχουσες Ιστορικές Κατασκευές

Η παρεμβολή της θέσης της σήραγγας με προυπάρχουσες σημαντικές δομές ιστορικής σημασίας είναι ένα πρόβλημα που δεν απασχολεί μόνο πόλεις με μεγάλο αρχαιολογικό ενδιαφέρον όπως η Ρώμη και η Αθήνα, αλλά και πόλεις όπου το υπέδαφος δεν έχει μελετηθεί σωστά ή δεν είναι γνωστό από αρχαιολογικής άποψης.

Όταν γίνεται αναφορά για αρχαιολογικά ευρήματα, είναι σημαντικό να ληφθούν υπ' όψιν όχι μόνο τα ερείπια του αρχαίου πολιτισμού, αλλά και οι υπόγειες διαβάσεις, οι δεξαμενές και τα εγκαταλελειμμένα πηγάδια. Οι τρεις τελευταίοι παράγοντες είναι δυνητικά οι πιο κρίσιμοι στην κατασκευή μίας σήραγγας με μηχανήμα ολομέτωπης κοπής, διότι μπορεί να προκαλέσουν ταχύ και ανεξέλεγκτο άδειασμα μπροστά από το μέτωπο του μηχανήματος. Αυτό το ατύχημα δύναται να επηρεάσει την ευστάθεια όχι μόνο του μηχανήματος, αλλά και όλης της περιβάλλουσας περιοχής καθώς και των αντίστοιχων κατασκευών στην επιφάνεια.

Όταν αυτά τα εμπόδια εντοπισθούν εγκαίρως πριν την κατασκευή, όπως στην περίπτωση των σηράγγων στη Σιταντέλα κατά την εκσκαφή του υπόγειου συστήματος στο Τορίνο, είναι δυνατή η επέμβαση, με έναν πολύ απλό αλλά και αποδοτικό τρόπο, εισπίζοντας κάποιο υλικό ή γεμίζοντας προσωρινά τα υπόγεια περάσματα. Ο τελικός στόχος είναι η ασφάλεια όχι μόνο της προυπάρχουσας κατασκευής αλλά και της ίδιας της σήραγγας.

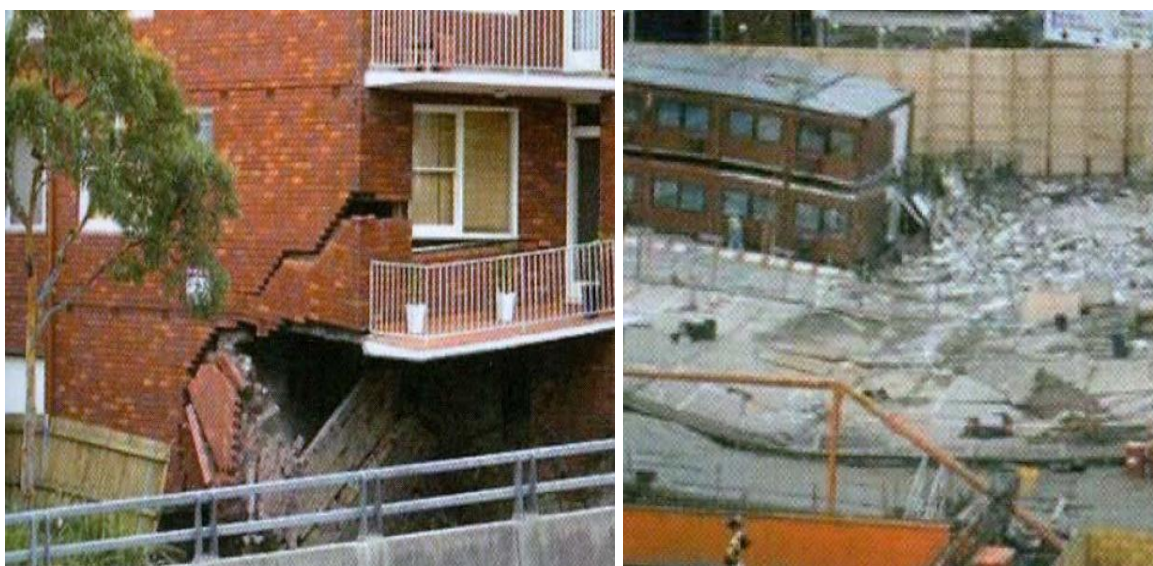
Ωστόσο, είναι αισθητά πιο αποδοτική η καλή συνεργασία με τις αρχές από την αρχή της σχεδίασης του έργου, με σκοπό την προφύλαξη των αρχαιοτήτων και των κατασκευών ιστορικής αξίας ώστε να επιλεγθεί ηκατάλληλη διαδρομή χάραξης η οποία θα προκαλέσει ός το δυνατόν τα λιγότερα προβλήματα.

1.2.3.4. Συμμετοχή των κατοίκων στην εξέλιξη του έργου

Η κατασκευή μίας μεγάλης αστικής σήραγγας ενδέχεται να τροποποιήσει τη συνολική δομή μίας πόλης, έστω κατά την κατασκευή του έργου. Σε αυτήν την περίπτωση είναι

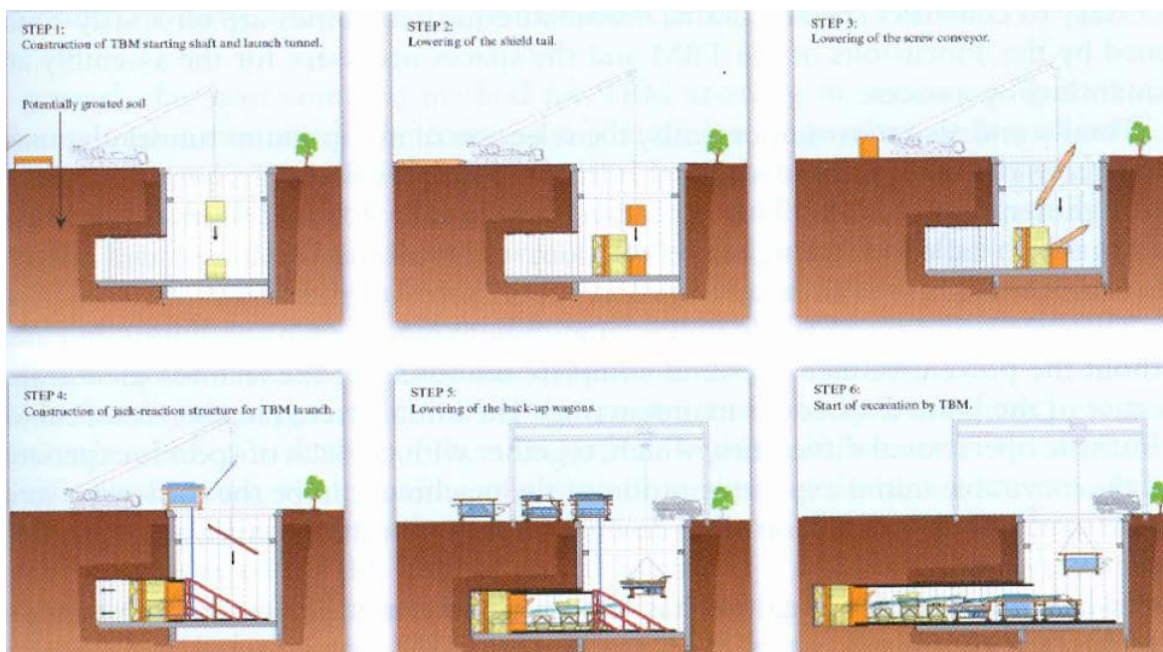
σύνηθες για πολλούς κατοίκους να υιοθετήσουν τη στάση NIMBY (Not In My Back Yard) εξαιτίας της έλλειψης ενημέρωσης. Για την αποφυγή μίας τέτοιας συμπεριφοράς, απαιτείται η συνεχής και έγκαιρη επικοινωνία με το κοινό, κατά τη σχεδίαση και την κατασκευή του έργου. Η αποτυχία της παροχής μίας τέτοιας επικοινωνίας ενδέχεται να προκαλέσει κινδύνους, καθυστερήσεις και υπερβάσεις κόστους στο έργο.

Σήμερα, είναι αναπόφευκτη η κατασκευή υποδομών σε μία πόλη με μεγάλο πληθυσμό χωρίς να ληφθούν υπ' όψιν οι απαιτήσεις των κατοίκων που θα επηρεαστούν από την τελική λειτουργία του έργου. Είναι προφανές ότι δε μπορούν να ικανοποιηθούν όλες οι απαιτήσεις, δύναται όμως να επιτευχθεί ένα ικανοποιητικός διακανονισμός μεταξύ αυτών που θα κατασκευάσουν το έργο και εκείνων που θα υπόσουν τις συνέπειες από την όχληση που θα προκληθεί κατά την περίοδο κατασκευής. Δύο ξεκάθαρα παραδείγματα ζημιών στις υπάρχουσες υποδομές, που προκλήθηκαν από την κατασκευή σε αστικό περιβάλλον παρουσιάζονται στις εικόνες.



Εικόνα 1–9, Ζημιές σε υπάρχουσες κατασκευές κάτω από τις οποίες γίνεται η εκσκαφή μίας αστικής σήραγγας (Αριστερά: Σίδνεϋ, Δεξιά: Λονδίνο), Πηγή: Guglielmetti et al.,2008

Γενικά, πρέπει να εξασφαλισθεί η ελαχιστοποίηση των ανθρώπων που θα επηρεαστούν αρνητικά από το έργο. (Guglielmetti et al.,2008)



Εικόνα 1–10, Τυπικά βήματα συναρμολόγησης ενός TBM στο φρέαρ εκκίνησης, Πηγή: Guglielmetti et al.,2008

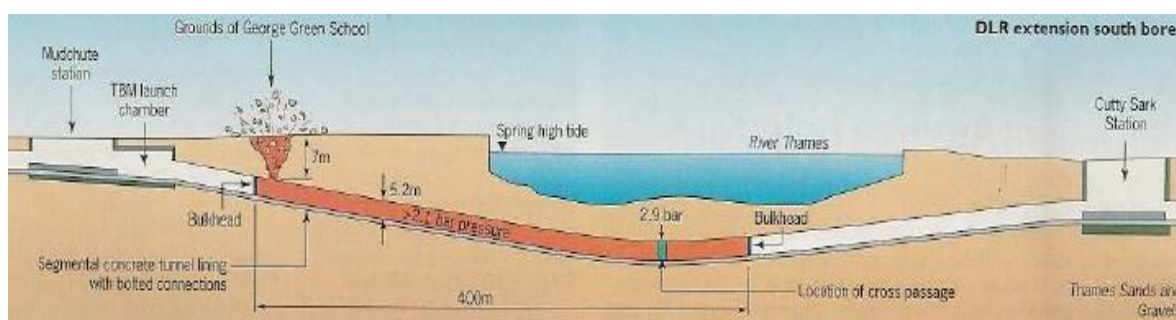
1.3. Περιπτώσεις αστοχιών στη διάνοιξη σηράγγων με μηχανήμα Εξισσορόπησης Εδαφικής Πίεσης (EPB)

- Υπόγειος Προαστιακός Σιδηρόδρομος του Dockland, Μεγάλη Βρετανία 23 Φεβρουαρίου 1998



Εικόνα 1–11, Η έκρηξη του συμπιεσμένου αέρα δημιούργησε ένα τεράστιο κρατήρα στο προάυλιο ενός σχολείου, Πηγή: ICE 1998a

Η κατασκευή του προαστιακού σιδηροδρόμου γινόταν με μηχανήμα EPB και είχε διάμετρο 5,2 μέτρα. Ύστερα από τα πρώτα εκατό μέτρα της διάνοιξης προκλήθηκε κατά την εκσκαφή του μηχανήματος μία έκρηξη η οποία δημιούργησε ένα κρατήρα μήκους 22 μέτρων και βάθους 7 μέτρων. Από την τη λάσπη και τις πέτρες που απελευθερώθηκαν με την έκρηξη έσπασαν τζάμια μέχρι και εκατό μέτρα μακριά από το σημείο. Τα ακριβή αίτια του ατυχήματος δεν εξακριβώθηκαν ποτέ. Οι υπεύθυνοι θεωρούν ότι η αστοχία προκλήθηκε είτε από την ανεπάρκεια των υπερκειμένων πάνω από τη σήραγγα είτε από πιθανές υψηλές πιέσεις μέσα στη σήραγγα που δημιούργησαν την έκρηξη.



Εικόνα 1–12, Μηκτομή σήραγγας του προαστιακού σιδηροδρόμου του Dockland, Πηγή: ICE 1998a

- Μετρό του Πόρτο, Ιταλία, 12 Ιανουαρίου 2001

Η διάνοιξη των σιδηροδρόμων του Πόρτο αντιμετώπισε πολύ μεγάλα προβλήματα ως προς τις γεωλογικές συνθήκες εξαιτίας των μεγάλων διαφοροποιήσεων που παρουσίαζε. Το Μετρό του Πόρτο αποτελείται από δύο σιδηροδρόμους μονής τροχιάς οι οποίες έχουν διάμετρο 8,7 μέτρα και διανοίχθηκαν με μηχανήμα EPB. Οι συνθήκες εκσκαφής προκάλεσαν κάποια προβλήματα υπερεκσκαφών και ευστάθειας μετώπου. Δύο φορές οι υπερεκσκαφές έφτασαν μέχρι την επιφάνεια του εδάφους. Η δεύτερη, όπου η καθίζηση στην επιφάνεια του εδάφους προκλήθηκε ένα μήνα αφού είχε περάσει το μηχανήμα, κόστισε τη ζωή μίας γυναίκας η οποία διέμενε πάνω από την επιφάνεια της χάραξης της σιδηροδρόμου. Ύστερα από αυτό το γεγονός συντάχθηκε μία επιτροπή για να βρεθεί λύση σχετικά με την ορθή και ασφαλή διάνοιξη της σιδηροδρόμου.



Εικόνα 1–13, Ατύχημα τον Ιανουάριο του 2001 στο οποίο σκοτώθηκε μία γυναίκα της οποίας το σπίτι βρισκόταν πάνω από τη σήραγγα, Πηγή: A. Fonseca, University of Porto, 2011

- Μετρό Σανγκάης, Κίνα, 2003

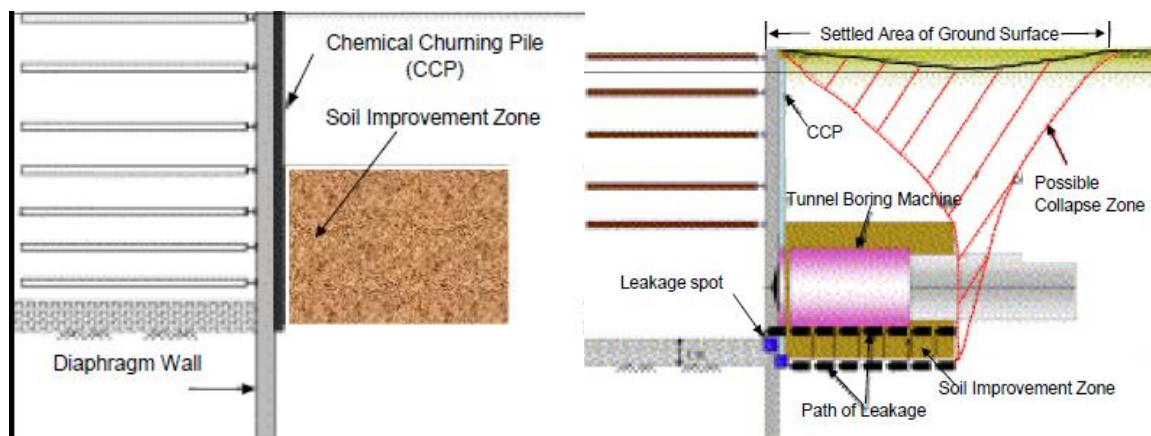


Εικόνα 1–14, Καθίζηση πολυώροφου κτιρίου στη Σανγκάη από την κατασκευή του Μετρό, Πηγή: Boos et al. 2004

Το Μετρό της Σανγκάης κατασκευάστηκε με δύο παράλληλες σήραγγες οι οποίες διανοιγόντουσαν με μηχάνημα EPB. Κατά την επέκταση της γραμμής 4, η οποία περνάει κάτω από τον ποταμό Huangpu, προέκυψε αστοχία κατά την κατασκευή ενός εγκάρσιου περάσματος. Στο μέτωπο της σήραγγας σε βάθος 35 μέτρων εισήλθε ξαφνικά πολύ μεγάλη ποσότητα νερού και υλικού, ενώ συγχρόνως παρουσιάστηκαν στην επιφάνεια του εδάφους αρκετά έντονες καθιζήσεις. Οι καθιζήσεις προκάλεσαν σημαντικές καταστροφές σε πολυώροφα κτίρια και στην τάφρο αντιπλημμυρικής προστασίας του ποταμού. Τελικά, η αστοχία αυτή προκλήθηκε εξαιτίας μίας βλάβης στη μονάδα ψύξης του εδάφους, η οποία δεν εντοπίστηκε εγκαίρως.

- Υπόγειος σιδηρόδρομος Kaohsiung, Ταϊβάν, 29 Μαΐου 2004

Η διάνοιξη του υπόγειου σιδηροδρόμου γινόταν με τη χρήση μηχανήματος EPB, συγχρόνως στις περιοχές λίγο πριν ξετρυπήσει το μηχάνημα κατασκευαζόντουσαν εδαφοπάσσαλοι για την βελτίωση της κατάστασης του εδάφους. Όταν το μηχάνημα βρισκόταν σε απόσταση μισού μέτρου από το διαφραγματικό τοίχο και είχε διακόψει τη λειτουργία του παρουσιάστηκε διαρροή στο δάπεδο της σήραγγας.



Εικόνα 1–15, Παρουσίαση της αστοχίας κατά την έλευση του EPB στο διαφραγματικό τοίχο,
Πηγή: Lee & Ishihara 2010

Η αστοχία που πραγματοποιήθηκε στην επιφάνεια του εδάφους είχε διάμετρο δέκα μέτρων. Επίσης, η περιοχή επιρροής των καθιζήσεων στην επιφάνεια του εδάφους κυμαινόταν από 40 έως 50 μέτρα με μέγιστες καθιζήσεις από 500 έως 1500 χιλιοστά.

Ακόμα, καταστράφηκαν και αρκετά δαχτυλίδια από την τελική επένδυση της σήραγγας, ενώ συγχρόνως προκλήθηκαν ζημιές σε γειτονικά κτίρια. Για αυτήν την αστοχία υπάρχουν πολλές πιθανές αιτίες, κάποιες από αυτές είναι η βαθμιαία ανάπτυξη ρωγμών στους διαφραγματικούς τοίχους μέσα από της οποίες εισέρεε νερό ή πιθανές δυσμενείς συνθήκες του υπεδάφους το οποίο περιείχε ιλυώδη άμμο.



Εικόνα 1-16, Ζημιές σε γειτονικό κτίριο από την αστοχία στη σήραγγα Kaohsiung, Πηγή: Lee & Ishihara 2010

- Κεντρικό αποχετευτικό δίκτυο, Τορόντο, Καναδάς, 2 Μαΐου 2008

Για την κατασκευή του δικτύου χρησιμοποιήθηκε μηχάνημα EPB διαμέτρου 3,3 μέτρων. Όταν το μηχάνημα είχε ήδη κατασκευάσει τα 1,8 χλμ. από τα 3,6 που ήταν το συνολικό μήκος διάνοιξης και βρισκόταν 100 μέτρα μακριά από ένα φρέαρ που είχε ήδη κατασκευασθεί παρουσιάστηκε εισροή νερού και υλικού ανάμεσα από τα προκατασκευασμένα κομμάτια που είχαν ήδη τοποθετηθεί. Ύστερα από 48 ώρες και αφού είχε απομακρυνθεί όλο το προσωπικό, ο συνολικός όγκος λάσπης που εισήλθε μέσα στη σήραγγα έφτασε τα 1800 κυβικά μέτρα και το μηχάνημα εγκλωβίστηκε αφού βυθίστηκε περισσότερο από 3 μέτρα. Επίσης, δημιουργήθηκε ένα μεγάλο άνοιγμα στην επιφάνεια με αποτέλεσμα να κλείσει ο δρόμος. Συνέπεια αυτών ήταν οι πολύ μεγάλες καθυστερήσεις στο έργο.



Εικόνα 1–17, Απαλλαγή του συσσωρευμένου υλικού μέσω της μεταφορικής ταινίας, Πηγή: Wallis P. 2009

Μία πιθανή αιτία της αστοχίας είναι κάποια μηχανική βλάβη στο σύστημα του μηχανήματος που προκάλεσε αλυσιδωτά προβλήματα. Ένα άλλο πιθανό αίτιο αυτής της αστοχίας είναι η ύπαρξη ιδιαίτερα κορεσμένης ιλύος σε πίεση υπόγειων υδάτων κάτω από 1,5 bar.

- Μετρό στο Seattle Beacon Hill, ΗΠΑ, Ιούλιος 2009

Κατά τη διάνοιξη της σήραγγας με μηχανήμα EPB, παρατηρήθηκε στην επιφάνεια ένα άνοιγμα βάθους 6,4 μέτρων, αφού είχε ήδη περάσει το μηχανήμα κάτω από την περιοχή. Στη συνέχεια βρέθηκαν άλλα έξι μεγάλα κένα σε βάθος από 6 έως 18 μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους σε περιοχές όπου το μηχανήμα είχε ήδη πραγματοποιήσει τη διάνοιξη της σήραγγας. Η πιθανή αιτία αυτής της αστοχίας είναι η υπερεκσκαφή όταν το μηχανήμα συναντούσε θύλακες άμμου στο σταθερό στρώμα της αργίλου. Το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε με το άμεσο ελεγχόμενο γέμισμα των κενών και τσιμεντέσεις μέσα από τη σήραγγα στις περιοχές όπου βρίσκονταν τα κενά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Χάραξη - Γεωλογία

2. Χάραξη - Γεωλογία

2.1. Χάραξη

2.1.1. Βασικά Κριτήρια για τη Χάραξη Γραμμής

Τα βασικά κριτήρια οριζόντιας και κάθετης χάραξης, όπως η ακτίνα καμπυλότητας και οι κλίσεις των σήραγγων αποτελούν τη βάση για τη χάραξη μίας γραμμής Μετρό.

2.1.1.1. Οριζόντια χάραξη

Κατά τη μελέτη της οριζόντιας χάραξης κύρια επιδίωξη είναι η σύνδεση των επιλεχθέντων σταθμών να γίνει με τροχιά που η ελάχιστη τιμή της ακτίνας της να περιορίζεται στο όριο των 300 μ. που έχει τεθεί από την Αττικό Μετρό. Επιπλέον, όπου είναι δυνατή η χάραξη με χρήση μεγάλων ακτινών καμπυλότητας αυτή προτιμάται.

Ακόμα, γίνεται προσπάθεια για τη διέλευση της σήραγγας κάτω από κεντρικούς δρόμους, περιοχές με χαμηλή πυκνότητα δόμησης ή ακατοίκητες περιοχές, όπου αυτό είναι δυνατό, ώστε να επιτευχθεί η μικρότερη δυνατή όχληση, από ζημιές που πιθανόν να εκδηλωθούν κατά τη φάση της εκσκαφής, στις υπερκείμενες κατασκευές. Φυσικά πάντα υπάρχουν και περιοχές όπου τα παραπάνω δεν είναι δυνατό να εφαρμοστούν και έτσι η σήραγγα σχεδιάστηκε κάτω από κτίρια, δεδομένου ότι πρόκειται για αστική σήραγγα.

2.1.1.2. Η μηκοτομή της χάραξης

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Αττικό Μετρό η μέγιστη επιτρεπτή κλίση είναι 4 %. Μεγαλύτερες κλίσεις καθιστούν δύσκολη έως αδύνατη την κίνηση των συρμών. Προτεινόμενη κλίση είναι το 1,5 %. Η ελάχιστη κλίση ώστε να εξασφαλίζεται η φυσική ροή των υδάτων στο εσωτερικό της σήραγγας προκειμένου να απομακρυνθούν στη συνέχεια είναι 0,3 %.

Επίσης, πρέπει να τοποθετείται τόξο κατακόρυφης συναρμογής ελάχιστης ακτίνας 2500m, σε συνεχόμενα τμήματα με διαφοροποίηση της κατά μήκος κλίσης $\Delta s > 1\%$.

Συνεπώς, η κατακόρυφη επιτάχυνση που αναπτύσσεται για την ταχύτητα των 80 km/h είναι περίπου $0,20\text{m/s}^2$, τιμή ανεκτή για την άνεση του επιβάτη. Επισημαίνεται ότι το ανθρώπινο σώμα είναι πιο ευαίσθητο στις κατακόρυφες επιταχύνσεις για αυτό και η οριακή τιμή της κατακόρυφης επιτάχυνσης προτείνεται στο $0,3\text{m/s}^2$.

Η τιμή της ακτίνας κατακόρυφης συναρμογής στην είσοδο και στην έξοδο των σταθμών μπορεί να μειωθεί στα 1250m. Στις θέσεις αυτές η ταχύτητα των συρμών δεν υπερβαίνει τα 60km/h, οπότε η κατακόρυφη επιτάχυνση με τιμή $0,20\text{m/s}^2$ εξακολουθεί να είναι ανεκτή για τους επιβάτες. (Αλεξάνδρου, Σταυρή, 2010)

2.1.2. Βασικά στοιχεία της χάραξης του Βασικού έργου

Οι δίδυμες σήραγγες του Μετρό Θεσσαλονίκης μεταξύ του Νέου Σιδηροδρομικού Σταθμού και του Σταθμού Νέα Ελβετία κατασκευάζονται με μηχανήματα ολομέτωπης κοπής τύπου EPB-TBM με Αντιστάθμιση Εδαφικής Πίεσης διαμέτρου 6,19 μέτρων.

Η επιλογή του τύπου μηχανημάτων EPB-TBM έγινε σύμφωνα με τις απαιτήσεις που αφορούν στην αποφυγή επιρροής του υδροφόρου ορίζοντα, την αποφυγή διαταραχής και πρόκλησης ζημιών στα κτίρια και στις κατασκευές που βρίσκονται εντός των ορίων της ζώνης επιρροής, την ελαχιστοποίηση της καθίζησης στην επιφάνεια του εδάφους και την πρόληψη ζημιών στα δίκτυα κοινωφελών υπηρεσιών, εξασφαλίζοντας παράλληλα την ασφάλεια των κατασκευαζόμενων σηράγγων.

Τα υπερκείμενα κυμαίνονται μεταξύ 6-8 m, στην αρχή και στο τέλος της διαδρομής του TBM, έως περίπου 27-28 m στην περιοχή μεταξύ Σταθμού Αγίας Σοφίας και Σταθμού Σιντριβάνι και στην περιοχή του Πανεπιστημίου.

Η απόσταση μεταξύ των δύο κέντρων των σήραγγων έχει ορισθεί να ξεκινά 9 μέτρα από τον Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό και να αυξάνεται σταδιακά ώσπου να φτάσει τα επιθυμητά 13 μέτρα.



Εικόνα 2–1, Βασικό Έργο Μετρό Θεσσαλονίκης, Πηγή: Αττικό Μετρό

2.1.2.1. Χάραξη Γραμμής – Σταθμοί

Η χάραξη της γραμμής σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε οι σταθμοί που θα κατασκευασθούν να εξυπηρετούν όσο το δυνατόν καλύτερα τους κατοίκους της Θεσσαλονίκης. Το Βασικό Έργο που βρίσκεται σε εξέλιξη, αποτελείται από 13 σταθμούς. Μέχρι στιγμής έχουν κατασκευασθεί οι σήραγγες από το Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό μέχρι και τον Σταθμό Αναλήψεως. Εκτός από το Βασικό Έργο έχουν σχεδιασθεί και οι επέκτασεις προς Σταυρούπολη και Καλαμαριά. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι σταθμοί, οι ακριβείς θέσεις τους και τα βάθη τους (Πίνακας 2-1). Το μήκος των σταθμών κυμαίνεται από 73 έως 85 μέτρα. Επίσης, οι αποστάσεις των σταθμών μεταξύ τους κυμαίνονται από 388 μέτρα έως και 723 μέτρα, σύμφωνα με τις προδιαγραφές χάραξης.

Σταθμοί	Θέσεις Σταθμών	Βάθος Σταθμού (m)
Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός	Μοναστηρίου & Αναγεννήσεως	8,4
Δημοκρατίας	Μοναστηρίου & 26ης Οκτωβρίου	12,6
Βενιζέλου	Εγνατίας & Βενιζέλου	17,8
Αγία Σοφίας	Εγνατίας & Αγίας Σοφίας	19,4
Συντριβάνι	Εγνατίας & Αγγελάκη (περιοχή Δ.Ε.Θ.)	18,5
Πανεπιστήμιο	Εγνατίας & 3ης Σεπτεμβρίου	24,5
Παπάφη	Κ.Καραμανλή & Παπάφη	15,4
Ευκλείδη	Ασκληπιού & Κατσιμίδα	19,0
Φλέμινγκ	Δελφών & Φλέμινγκ	12,8
Αναλήψεως	Δελφών & Αναλήψεως	16,5
Πατρικίου	Σόλωνος & 25ης Μαρτίου	13,0
Βούλγαρη	Παπαδάκη & Βούλγαρη	16,3
Νέα Ελβετία	Ψελλού	9,0

Πίνακας 2-1, Θέσεις και Βάθη Σταθμών του Βασικού Έργου

Περιγραφή χάραξης

Το έργο ξεκινά λίγο μετά τη διασταύρωση των οδών Μοναστηρίου και Αγίων Πάντων όπου και βρίσκεται ο επίσταθμος, κάτω από το αριστερό κατάστρωμα της οδού Μοναστηρίου. Στη συνέχεια η χάραξη συναντά το Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό του ΟΣΕ, πλησίον του οποίου χωροθετήθηκε και ο πρώτος σταθμός της χάραξης του Μετρό Θεσσαλονίκης, ο οποίος ονομάστηκε και αυτός Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός. Λίγα μέτρα πιο μετά, στο ύψος της οδού Προμηθείας, συναντάται η διασταύρωση προς Σταυρούπολη. Η χάραξη συνεχίζει κάτω από το κατάστρωμα της οδού Μοναστηρίου και βρίσκει τον σταθμό Δημοκρατίας, πλησίον της πλατείας Δημοκρατίας, στην χιλιομετρική θέση 0+575. Αφού διασχίσουν το σταθμό Δημοκρατίας, οι σήραγγες περνούν κάτω από την πλατεία Δημοκρατίας και συνεχίζουν κάτω από το κατάστρωμα της Εγνατίας Οδού.

Στη συνέχεια, ακολουθώντας την πορεία της Εγνατίας Οδού χωροθετήθηκε ο Σταθμός Βενιζέλου στη διασταύρωση της Εγνατίας με τη Βενιζέλου. Ύστερα από 367 μέτρα και πάντα κάτω από το κατάστρωμα της Εγνατίας κατασκευάζεται ο Σταθμός Αγία Σοφία, ανάμεσα στις Οδούς Πλάτωνος και Αγίας Σοφίας. Ο Σταθμός βρίσκεται πλησίον της εκκλησίας Αγία Σοφία. Η πορεία των σήραγγων συνεχίζει κάτω από την Εγνατία Οδό, όπου στο ύψος της οδού Δημ. Γούναρη διασταυρώνεται με τον Κεντρικό Αποχετευτικό Αγωγό. Ο επόμενος σταθμός είναι ο Σταθμός Συντριβάνι, ο οποίος έχει χωροθετηθεί κάτω από το αριστερό κατάστρωμα της Εγνατίας, στη χιλιομετρική θέση 2+602, λίγο μετά τη διασταύρωση της Εγνατίας με την οδό Αγγελάκη, όπου και βρίσκεται η πλατεία Συντριβανίου.

Μετά το Σταθμό Συντριβάνι πραγματοποιείται μία ελαφριά δεξιά στροφή όπου οι σήραγγες συνεχίζουν την πορεία τους κάτω από τις εγκαταστάσεις του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης ώσπου να συναντήσουν τον Σταθμό Πανεπιστήμιο, ο οποίος βρίσκεται κάτω από τη διασταύρωση της Εγνατίας Οδού με τη Λεωφόρο 3^{ης} Σεπτεμβρίου πλησίον της Φοιτητικής Λέσχης του Πανεπιστημίου. Εν συνεχεία, στο ύψος της οδού Κέρκυρας, οι σήραγγες κινούνται παράλληλα με τη Λεωφόρο Κων. Καραμανλή, στην αριστερή της πλευρά. Στη χιλιομετρική θέση 4+120, στη διασταύρωση της Λ. Καραμανλή με την οδό Παπάφη, χωροθετήθηκε ο Σταθμός Παπάφη.

Ακολούθως, πραγματοποιείται μία δεξιά στροφή και στο ύψος της οδού Περδίκας οι σήραγγες διασταυρώνονται με το κατάστρωμα της Λεωφόρου Κων. Καραμανλή. Ακολούθως, η πορεία που ακολουθείται από τις σήραγγες περνά κάτω από κτίρια ακολουθώντας παράλληλη πορεία με την οδό Κατσιμίδα ώσπου να φτάσει στο Σταθμό Ευκλείδη. Ο Σταθμός Ευκλείδη χωροθετήθηκε στη διασταύρωση της οδού Κατσιμίδα με την οδό Κωνσταντινούπολεως. Ύστερα, η χάραξη ακολουθεί ευθεία πορεία και λίγο αργότερα πραγματοποιεί μία δεξιά στροφή για να εισέλθει στο ύψος της οδού Ξενοφώντος κάτω από το κατάστρωμα της οδού Δελφών.

Ο Σταθμός Φλέμινγκ, βρίσκεται στη χιλιομετρική θέση 5+173, κάτω από το κατάστρωμα της οδού Δελφών στη διασταύρωση της με την οδό Φλέμινγκ. Κατόπιν, η χάραξη ακολουθεί ευθεία πορεία πάντα κάτω από την οδό Δελφών, ώσπου στη χιλιομετρική θέση 5+819, συναντά τον Σταθμό Αναλήψεως στη διασταύρωση της οδού Δελφών με την οδό Αναλήψεως. Στη συνέχεια, οι σήραγγες συνεχίζουν ευθεία κάτω από την οδό Δελφών και

λίγο αργότερα στη διασταύρωση με την οδό Γραβιάς πραγματοποιείται ελαφρά δεξιά στροφή με τη χάραξη να περνά κάτω από κτίρια.

Ο σταθμός Πατρικίου, συναντάται αμέσως μόλις οι γραμμές ξεκινήσουν την πορεία τους κάτω από την οδό Σόλωνος. Ο Σταθμός χωροθετείται στη διασταύρωση της οδού Σόλωνος με την οδό 25ης Μαρτίου και βρίσκεται λίγο πριν την πλατεία Πατρικίου Μηνά. Μετά από 100 μέτρα συναντάται η διασταύρωση της γραμμής με την μελλοντική επέκταση προς Καλαμαριά. Λίγο αργότερα η πορεία της χάραξης ακολουθεί μία ελαφρά αριστερή στροφή και περνά κάτω από την Πλατεία Πατρικίου, όπου και εισέρχεται κάτω από το κατάστρωμα της οδού Καθηγητού Νικ. Παπαδάκη.

Ο σταθμός Βούλγαρη, βρίσκεται στη διασταύρωση της οδού Βούλγαρη με την οδό Καθηγητού Νικ. Παπαδάκη. Εν συνεχεία, οι σήραγγες συνεχίζουν κάτω από την ίδια οδό πραγματοποιώντας και την αριστερή στροφή που ακολουθεί η οδός Καθηγητού Νικ. Παπαδάκη. Πραγματοποιώντας μια ακόμα αριστερή στροφή η χάραξη εισέρχεται κάτω από το κατάστρωμα της οδού Μιχαήλ Ψελλού, όπου στη χιλιομετρική θέση 8+017 συναντά και τον τελευταίο σταθμό του Βασικού Έργου, το Σταθμό Νέα Ελβετία. Τέλος, οι γραμμές περνούν κάτω από αδόμητες περιοχές και με μία αριστερή στροφή εισέρχονται στην οδό Αλλατίνη. Ύστερα, διασταυρώνονται με την Νέα Εγνατία και καταλήγουν στο αμαξοστάσιο της Πυλαίας.

2.1.2.2. Κλίση – Στάθμη Υδροφόρου Ορίζοντα

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Αττικό Μετρό που προαναφέρθηκαν η μέγιστη κλίση των σηράγγων δεν πρέπει να ξεπερνά το 4%, ενώ η ιδανική κλίση υπολογίζεται στο 1,5%. Κλίσεις μεγαλύτερες της μέγιστης θα καθιστούσαν αδύνατη την κίνηση των συρμών αλλά και θα δυσκόλευαν τη χρήση από το επιβατικό κοινό. Ως ελάχιστη κλίση κρίνεται το 0,3%, ώστε να εξασφαλίζεται η φυσική ροή των υδάτων.

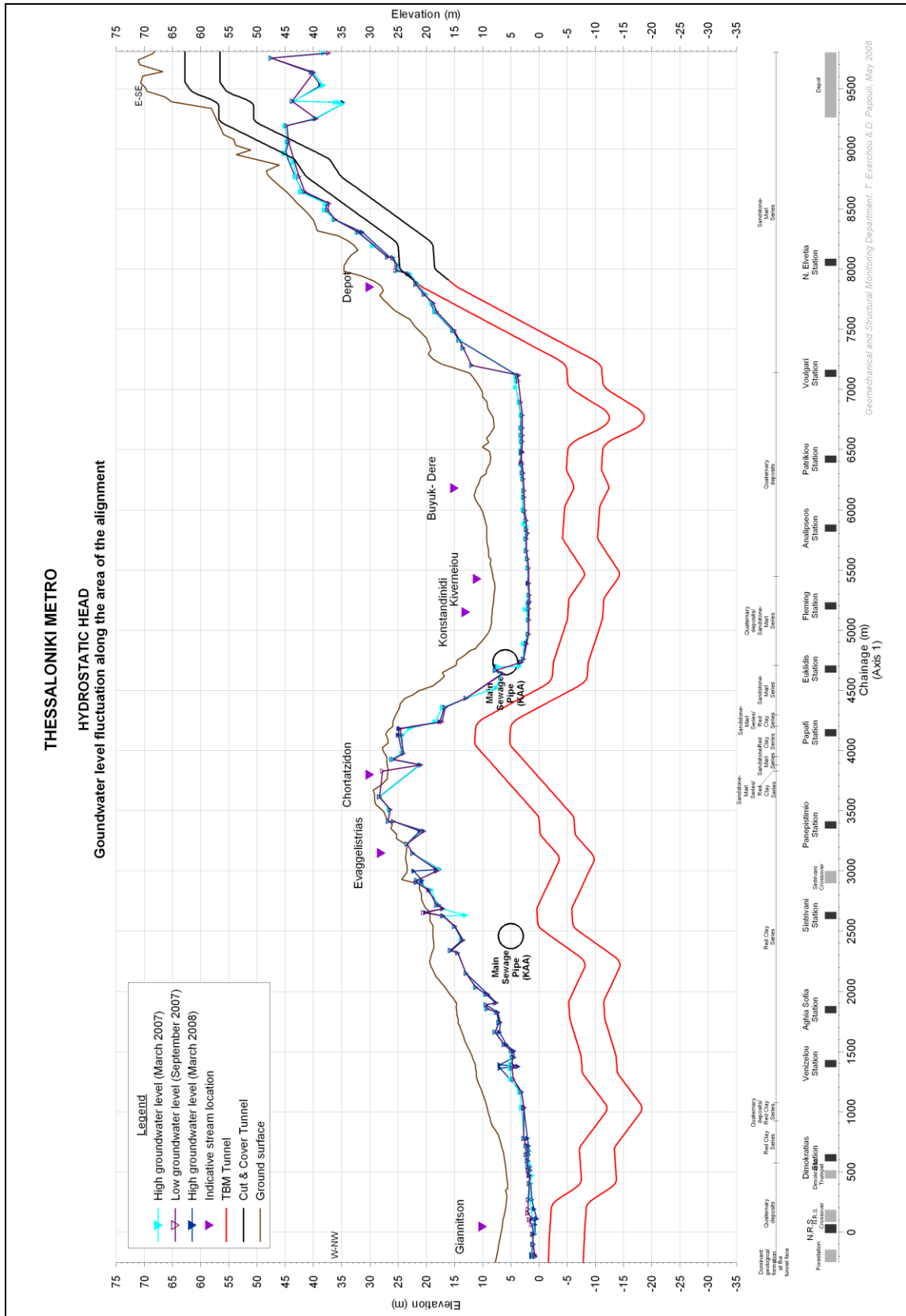
Η κλίση των σηράγγων στη συγκεκριμένη περίπτωση της διάνοιξης του Βασικού Έργου του Μετρό Θεσσαλονίκης ποικίλει ανάλογα με τις ανάγκες της χάραξης από 0,54% ελάχιστη έως 3,5% μέγιστη. Επομένως, η κλίση της σήραγγας από σταθμό σε σταθμό διακρίνεται σε ανηφορική, κατηφορική ή ανηφορική και κατηφορική. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι κλίσεις κάθε μεσοδιαστήματος από σταθμό σε σταθμό, η

απόσταση μεταξύ τους καθώς και τα ανώτατα και κατώτατα βάθη της στέψης και της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα (Πίνακας 2–2).

Από υδρογεωλογική άποψη, η σχεδιασμένη υπόγεια σήραγγα θα κατασκευαστεί κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Η εκτίμηση του υδροφόρου ορίζοντα βασίζεται στις μετρήσεις στάθμης των πιεζομέτρων και προσαρμόζεται πάντα ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες. Όμως, όταν πρόκειται για αρτεσιανό υδροφόρο, η πρόβλεψη του επιπέδου υδροφόρου ορίζοντα βασίζεται στις υδραυλικές μετρήσεις των γεωτρήσεων και διαφοροποιείται και αυτή ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες. Στο σύνολο του Βασικού Έργου η στάθμη του υδροφόρου ποικίλει με την πιο χαμηλή να εμφανίζεται στα -11 μέτρα και την πιο υψηλή να φτάνει τα - 0,6 μέτρα. Στη συνέχεια παρουσιάζεται σχηματικά η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα κατά μήκος του Βασικού Έργου (Σχήμα 2–1).

Μεσοδιάστημα Σταθμών	Μήκος (m)	Βάθος Στέψης (m)	Στάθμη Υδροφόρου Ορίζοντα (m)	Είδος Διαδρομής	Κλίση (%)
ΝΣΣ - Σταθμός Δημοκρατίας	402	από -13 έως -18	από -3,8 έως -4,7	Κατηφορική	1,2
Σταθμός Δημοκρατίας-Σταθμός Βενιζέλου	723	από -18 έως -26	από -4,0 έως -7,2	Κατηφορική - Ανηφορική	-
Σταθμός Βενιζέλου-Σταθμός Αγία Σοφία	388	από -18 έως -20	από -4,8 έως -7,1	Ανηφορική	0,54
Σταθμός Αγία Σοφία-Σταθμός Συντριβάνι	722	από -19 έως -27	από -3,8 έως -8,8	Ανηφορική	0,77
Σταθμός Συντριβάνι-Σταθμός Πανεπιστήμιο	692	από -21 έως -27	από -0,6 έως -3,5	Κατηφορική - Ανηφορική	-
Σταθμός Πανεπιστήμιο-Σταθμός Παπάφη	699	από -15,6 έως -26,2	από -2,1 έως -5,83	Ανηφορική	1,3
Σταθμός Παπάφη-Σταθμός Ευκλείδη	469	από -18 έως -25	από -1,5 έως -11,0	Κατηφορική	2,9
Σταθμός Ευκλείδη-Σταθμός Φλέμινγκ	465	από -13 έως -18	από -1,3 έως -7,9	Κατηφορική	0,6
Σταθμός Φλέμινγκ-Σταθμός Αναλήψεως	585	από -12,8 έως -16	από -5,7 έως -7,2	Κατηφορική - Ανηφορική	-
Σταθμός Αναλήψεως-Σταθμός Πατρικίου	521	από -12,9 έως -16,8	από -5,9 έως -9,1	Κατηφορική -Ανηφορική	-
Σταθμός Πατρικίου-Σταθμός Βούλγαρη	642	από -13,1 έως -26,1	από -5,2 έως -7,2	Κατηφορική -Ανηφορική	-
Σταθμός Βούλγαρη-Σταθμός Νέα Ελβετία	862	από -12,1 έως -21,1	από -5,7 έως -5,9	Ανηφορική	3,5

Πίνακας 2–2, Βασικά Χαρακτηριστικά των Μεσοδιαστημάτων του Βασικού Έργου



Σχήμα 2–1, Διάγραμμα διακύμανσης της στάθμης των υπόγειων υδάτων κατά μήκος της σήραγγας, Πηγή: Αττικό Μετρό

2.2. Γεωλογικές συνθήκες

2.2.1. Στρωματογραφία

Η στρωματογραφία της ευρύτερης περιοχής χάραξης του Βασικού Έργου, συνίσταται από τις παρακάτω γεωλογικές ενότητες, με κατάταξη από τις νεότερες προς τις παλαιότερες:

Τεχνητές Επιχωματώσεις – Αρχαιολογικό Στρώμα (F): Πρόσφατα υλικά από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως πλίνθοι, τμήματα τοίχων, αγγεία, οστά, υλικά της πυρίκαυστης ζώνης, ξύλα κ.λπ., μέσα σε ιλυώδεις - χαλικώδεις - αργιλώδεις άμμους και προϊόντα αποσάθρωσης. Τοπικά εμφανίζονται κενά. Το πάχος τους στην περιοχή έρευνας κυμαίνεται από 0,10 – 12,55 μέτρα.

Τεταρτογενές (Ολόκαινο – Πλειστόκαινο)

Σύγχρονες Αλλουβιακές Αποθέσεις και Υλικά Χειμάρριων Αποθέσεων (Q1): Καστανές έως καστανοπράσινες, μαλακές έως σταθερές και τοπικά στιφρές αμμώδεις άργιλοι, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας και χαλαρές έως μέτρια πυκνές ιλυώδεις άμμοι με χάλικες, με κατά τόπους ενστρώσεις μαλακής έως σταθερής αμμώδους ιλύος, καθώς και χαλαροί έως μέτρια πυκνοί αργιλώδεις ή ιλυώδεις χάλικες, με κυμαινόμενο ποσοστό κροκάλων. Το πάχος τους στην περιοχή έρευνας συνήθως υπερβαίνει τα 38,40 μέτρα.

Ερυθρές Άργιλοι (Q2): Καστανές έως καστανέρυθρες, σταθερές έως στιφρές, αμμώδεις άργιλοι (κατά τόπους με ασβεστιτικά συγκρίματα), χαμηλής πλαστικότητας, με ενστρώσεις χαλαρών έως πυκνών, αργιλωδών ή ιλυωδών άμμων τοπικά με ψηφίδες και χάλικες, και τοπικές εμφανίσεις αμμωδών ιλύων. Το πάχος τους στη περιοχή έρευνας υπερβαίνει τα 14,20 μέτρα.

Νεογενές (Πλειόκαινο – Μειόκαινο)

Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά (Sd-M): Μπεζ συνήθως, καστανοκίτρινες και υπόλευκες στιφρές έως σκληρές, ασβεστιτικές αμμώδεις άργιλοι και ιλύες, (τοπικά καστανέρυθρες άργιλοι) μέσης έως υψηλής πλαστικότητας και ανοιχτές καστανές, πυκνές έως πολύ πυκνές, ασβεστιτικές ιλυώδεις ή αργιλώδεις άμμοι τοπικά με χάλικες. Τα παραπάνω υλικά εμφανίζονται κατά θέσεις διαγενεμένα υπό μορφή πολύ ασθενών έως ασθενών μαργών, αργιλομαργών, ιλυολίθων και ψαμμιτών, ενίοτε σε εναλλαγές με Μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Τοπική παρουσία οργανικών, απολιθωμάτων, ασβεστιτικών συγκριμάτων και εμφάνιση λεπτοστρωματώδους υφής σε Αργίλους και Ιλύες. Έντονη κατά θέσεις

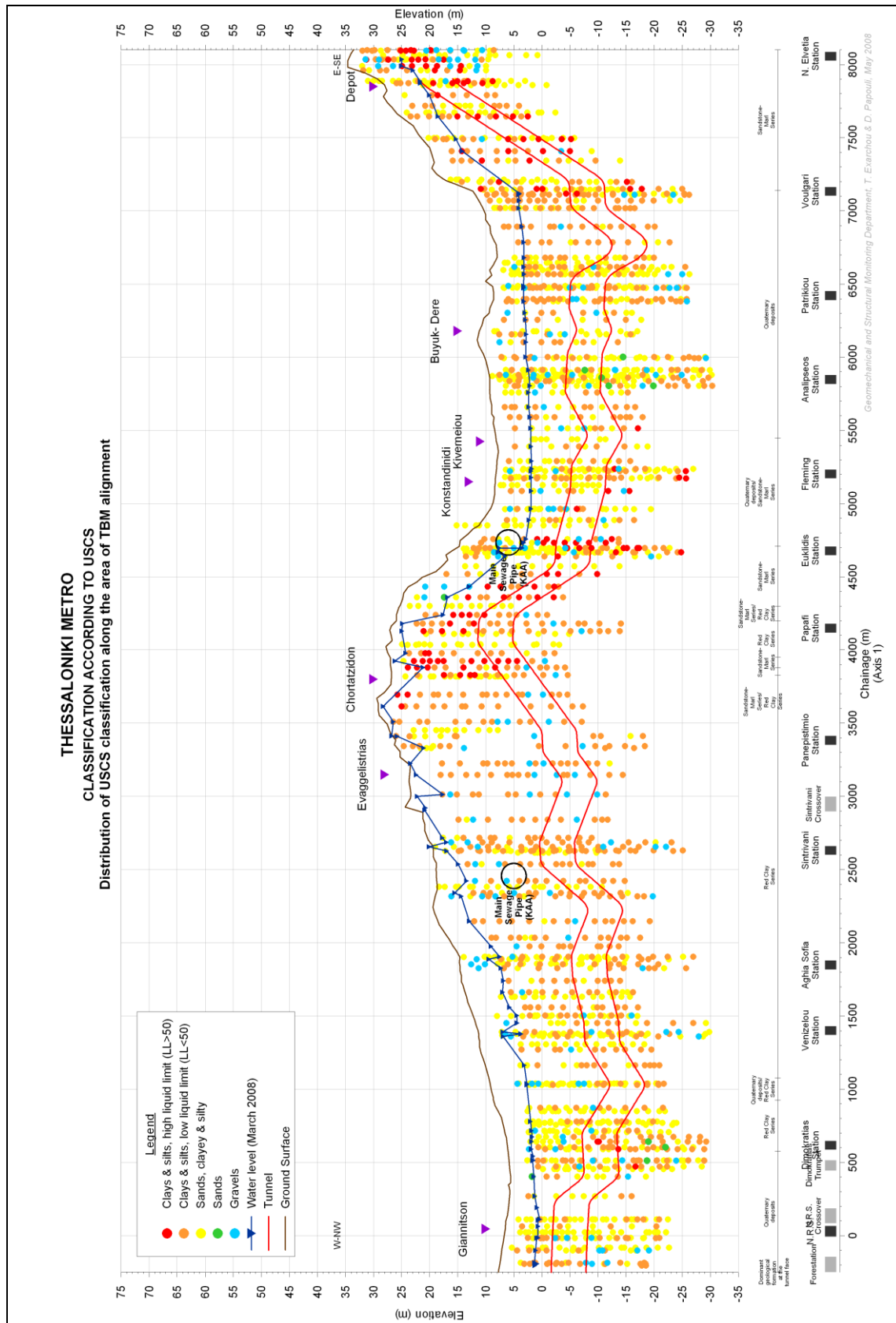
παρουσία τεκτονικών μικροδομών όπως επιφάνειες με γραμμές ολίσθησης, καθώς και διατμημένες επιφάνειες. Το πάχος τους στην περιοχή έρευνας υπερβαίνει τα 37,20 μέτρα.

Στη Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά ανιχνεύεται εσωτερική στρωματογραφία η οποία από πάνω προς τα κάτω, είναι η εξής: (α) καστανέρυθρη Άργιλος, (β) μπεζ ασβεστιτική Άργιλος / Ιλύς έως ασβεστιτικός Αργιλόλιθος / Ιλύλιθος με ενδιαστρώσεις άμμου κ.λπ., (γ) ελαιοπράσινη αμμώδης Ιλύς έως ιλυώδης Άμμος και (δ) πράσινος έως κυανοπράσινος Ιλύλιθος, τοπικά με απολιθώματα.

Σειρά Ερυθρών Αργίλων (RC): Καστανέρυθρες, ερυθρές και τοπικά πολύχρωμες, πολύ στιφρές έως σκληρές άργιλοι με άμμο (κατά τύπους με ασβεστιτικά συγκρίματα και οξειδία Mn), και τοπικά με χαλίκια ή ψηφίδες, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητα, με σποραδικές ενστρώσεις, πυκνών έως πολύ πυκνών αργιλωδών άμμων με χαλίκια και ψηφίδες, αμμωδών ιλύων και πυκνών έως πολύ πυκνών αμμοαργιλωδών χαλίκων. Τα παραπάνω υλικά εμφανίζονται κατά θέσεις διαγενεμένα υπό μορφή πολύ ασθενών έως ασθενών αργιλόλιθων, ιλύλιθων, ψηφίδο-κροκαλοπαγών και λατυποπαγών. Κατά θέσεις παρουσία ρωγμών, ρηγματώσεων, καθώς και τεκτονικών μικροδομών όπως επιφάνειες με γραμμές ολίσθησης. Το πάχος τους στην περιοχή έρευνας υπερβαίνει τα 48,20 μέτρα.

Αλπικό Υπόβαθρο (Σειρά Βερτίσκου)

Γνεύσιοι (Gn): Διμαρμαρυγιακοί, γκριζοπράσινου έως καστανοπράσινου χρώματος, κερματισμένοι έως κατακερματισμένοι, μέσης αντοχής.



Σχήμα 2–2, Διάγραμμα κατανομής της USCS ταξινόμησης των γεωλικών κατά μήκος της σήραγγας, Πηγή: Αττικό Μετρό

2.2.2. Τεκτονικά στοιχεία

Στα δείγματα που συλλέχθηκαν από τις εδαφοτεχνικές γεωτρήσεις, εντόπιστηκε ένας ικανός αριθμός τεκτονικών μικροδομών στους Νεογενείς σχηματισμούς (Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά και Σειρά Ερυθρών Αργίλων), όπως παρουσία ρωγμών, ρηγματώσεων, επιφάνειες με γραμμές ολίσθησης, καθώς και διατμημένες επιφάνειες.

Πολλά από τα τεκτονικά αυτά στοιχεία, είναι πιθανό να μην οφείλονται σε ρηξιγενή τεκτονική, αλλά να είναι αποτέλεσμα συνιζηματογενών διεργασιών, λαμβάνοντας υπόψη τις ανοδικές και καθοδικές κινήσεις της ευρύτερης περιοχής κατά τη διάρκεια κυρίως του Μειοκαίνου, είτε λόγω στερεοποίησης των αργιλικών εδαφικών υλικών.

Σε άλλες περιπτώσεις, η στρωματογραφική διάταξη των γεωλογικών σχηματισμών του Νεογενούς, πιθανολογεί την ύπαρξη ρηγμάτων, στις περιπτώσεις που παρατηρείται μεγάλη υψομετρική διαφορά σε γειτονικές θέσεις γεωτρήσεων, κάποιου συγκεκριμένου καθοδηγητικού ορίζοντα.

2.2.3. Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά

Τα υπόγεια νερά της πόλης της Θεσσαλονίκης, προέρχονται κυρίως από την υδρολογική λεκάνη που οριοθετούν οι κορυφογραμμές των γύρω λόφων της πόλης και αποτελούν τα Β-ΒΑ/κά όρια της λεκάνης απορροής (υδροκρίτης).

Η γενικότερη υδρογεωλογική συμπεριφορά των Νεογενών και Τεταρτογενών ιζημάτων, που δομούν την ευρύτερη περιοχή του Έργου, προσδιορίζεται από τη φύση, τη θέση και το πάχος των διαφόρων λιθολογικών τύπων που υπεισέρχονται στην δομή τους.

Η γενική υδρογεωλογική συμπεριφορά των λιθολογικών τύπων και σχηματισμών, ανά Γεωλογική Ενότητα, στην ευρύτερη περιοχή του Έργου, αποτελείται από:

Τεχνητές Επιχωματώσεις – Αρχαιολογικό Στρώμα: Πρόκειται για χαλαρά και ανομοιογενή υλικά χαμηλής συμπύκνωσης, με ύπαρξη κενών, που χαρακτηρίζονται από υψηλή έως μέση περατότητα.

Σύγχρονες Αλλουβιακές Αποθέσεις, Υλικά Χειμάρριων Αποθέσεων και Ερυθρές Άργιλοι του Τεταρτογενούς: Είναι γενικά σχηματισμοί χαμηλής περατότητας και η υδρογεωλογική συμπεριφορά τους καθορίζεται από το ποσοστό των λεπτοκόκκων υλικών που συμμετέχουν στη δομή τους. Λόγω της αυξημένης συμμετοχής του αργιλικού κλάσματος,

κατά θέσεις χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή περατότητα. Τα αδρόκοκκα υλικά (αμμοχάλικα με κροκάλες), λόγω της ισχυρής ποσοστιαίας συμμετοχής λεπτοκόκκων στη δομή τους, χαρακτηρίζονται επίσης γενικά, σαν σχηματισμοί χαμηλής περατότητας.

Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά του Νεογενούς: Στο σύνολό της η Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά συνίσταται από σχηματισμούς χαμηλής έως πολύ χαμηλής περατότητας. Οι αμιγώς αργιλικοί και αργιλομαργαϊκοί σχηματισμοί, πρακτικά θεωρούνται αδιαπέρατοι, ενώ οι αμμώδεις και ιλλοαμμώδεις στρώσεις, ευνοούν την ανάπτυξη περιορισμένης υδροφορίας, χαρακτηριζόμενες ως χαμηλής περατότητας. Από τους βραχώδεις και ημιβραχώδεις σχηματισμούς της σειράς, οι Αργιλόλιθοι και Ιλυόλιθοι, χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή περατότητα έως πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί, ενώ οι Αμμόμαργες, Ψαμμίτες, Κροκαλολατυποπαγή και μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι, χαρακτηρίζονται από χαμηλή έως πολύ χαμηλή περατότητα, με ελάχιστη πιθανότητα διακίνησης νερού, λόγω του δευτερογενούς ενεργού πορώδους που οφείλεται στην τεκτονική τους καταπόνηση.

Σειρά Ερυθρών Αργίλων του Νεογενούς: Στο σύνολό τους οι σχηματισμοί της σειράς των Ερυθρών Αργίλων χαρακτηρίζονται από χαμηλή έως πολύ χαμηλή περατότητα. Οι αργιλικοί σχηματισμοί (συνήθως σε προσμίξεις με άμμο, χαλίκια και σποραδικές κροκάλες), είναι γενικά χαμηλής περατότητας, όπως και οι ενστρώσεις αργιλωδών χαλίκων. Οι βραχώδεις και ημιβραχώδεις σχηματισμοί της σειράς (Αργιλόλιθοι και Ιλυόλιθοι), χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή περατότητα έως πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί.

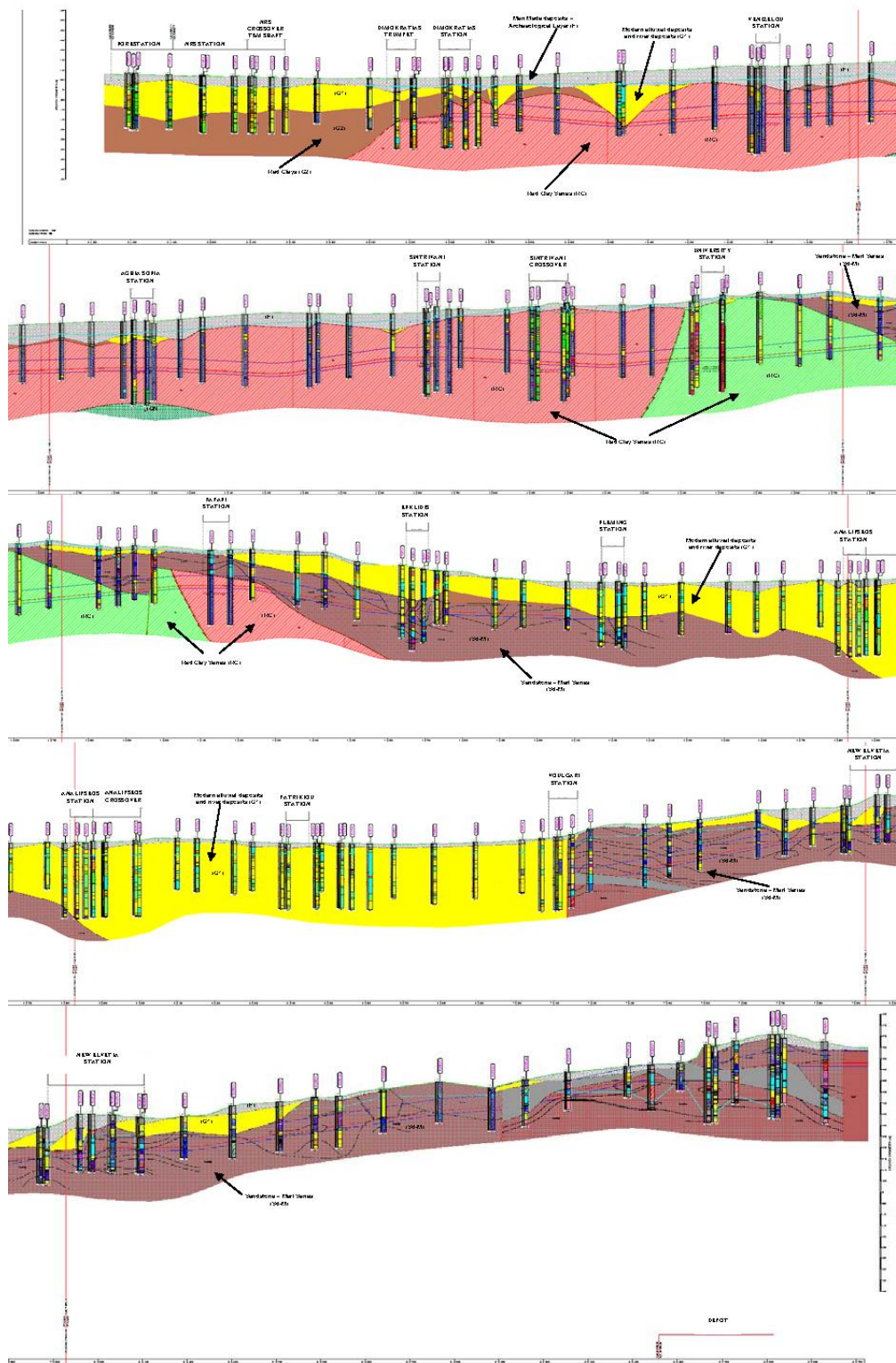
Γνεύσιοι: Σε πρωτογενή κατάσταση χαρακτηρίζονται ως πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί. Λόγω της έντονης όμως τεκτονικής τους καταπόνησης, παρουσιάζουν κατά θέσεις μικρού βαθμού δευτερογενή περατότητα και χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή περατότητα. Ο συντελεστής εναποθήκευσής τους (ενεργό πορώδες), είναι γενικά πολύ μικρός.

Από υδρογεωλογική άποψη, η σχεδιασμένη υπόγεια σήραγγα θα κατασκευαστεί κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Η εκτίμηση του υδροφόρου ορίζοντα βασίζεται στις μετρήσεις στάθμης των πιεζομέτρων η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα κυμαίνεται από 3.80 έως 4.70 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες.

Η πρόβλεψη των συνθηκών των υπογείων υδάτων και της υδραυλικής αγωγιμότητας των γεωλογικών σχηματισμών, που θα συναντηθούν κατά μήκος της χάραξης, συνοψίζονται με τον παρακάτω τρόπο:

Οι τεταρτογενείς αποθέσεις παρουσιάζουν χαμηλή υδραυλική αγωγιμότητα λόγω των αργιλικών συστατικών. Οι τιμές κυμαίνονται από 10^{-6} έως 10^{-7} m/sec.

Οι σχηματισμοί της Σειράς των Ερυθρών Αργίλων παρουσιάζουν χαμηλή υδραυλική αγωγιμότητα. Οι μετρημένες τιμές κυμαίνονται από 10^{-6} έως 10^{-7} m/sec.



Εικόνα 2-2, Γεωλογική μηκτομή του συνόλου της χαραξης, Πηγή: Αττικό Μετρό

2.2.4. Διαχωρισμός γεωλογικών τμημάτων

Το σύνολο του Βασικού Έργου από ΝΣΣ (Χ.Θ. 0-249) έως και Αμαξοστάσιο Πυλαίας (9+572) χωρίστηκε σε τρία, περίπου ίσα σε μήκος, επί μέρους τμήματα Α, Β και Γ έτσι ώστε να διευκολυνθεί τόσο η συγκέντρωση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Τα τμήματα στα οποία χωρίστηκε το Έργο είναι τα παρακάτω:

Α τμήμα: ΝΣΣ (Χ.Θ. 0-249) – ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ (Χ.Θ. 3+630)

Β τμήμα: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ (Χ.Θ. 3+630) – ΒΟΥΛΓΑΡΗ (Χ.Θ. 7+140)

Γ τμήμα: ΒΟΥΛΓΑΡΗ (Χ.Θ. 7+140) – ΑΜΑΞΟΣΤΑΣΙΟ ΠΥΛΑΙΑΣ (Χ.Θ. 9+572)

Στη συνέχεια, τα παραπάνω κύρια τμήματα χωρίστηκαν σε επί μέρους υποτμήματα βάση των κατά θέση γεωλογικών συνθηκών, όπως αυτές προέκυψαν από τις γεωτεχνικές έρευνες που εκτελέστηκαν.

– Το Τμήμα Α χωρίστηκε στα παρακάτω τρία επί μέρους υποτμήματα:

Υποτμήμα 1: ΝΣΣ (Χ.Θ. 0-249) – ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ (Χ.Θ. 0+443)

Υποτμήμα 2: ΔΙΑΣΤ. ΔΗΜ. (Χ.Θ. 0+443) – ΑΓΙΑΣ ΣΟΦΙΑΣ (Χ.Θ. 1+908)

Υποτμήμα 3: ΑΓΙΑΣ ΣΟΦΙΑΣ (Χ.Θ. 1+908) – ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ (Χ.Θ. 3+630)

– Το Τμήμα Β χωρίστηκε στα παρακάτω τρία επί μέρους υποτμήματα:

Υποτμήμα 1: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ (Χ.Θ. 3+630) – ΠΑΠΑΦΗ (Χ.Θ. 4+240)

Υποτμήμα 2: ΠΑΠΑΦΗ (Χ.Θ. 4+240) – ΑΝΑΛΗΨΕΩΣ (Χ.Θ. 5+815)

Υποτμήμα 3: ΑΝΑΛΗΨΕΩΣ (Χ.Θ. 5+815) – ΒΟΥΛΓΑΡΗ (Χ.Θ. 7+140)

– Το Τμήμα Γ διατηρήθηκε ενιαίο από το Σταθμό Βούλγαρη (Χ.Θ. 7+140) έως το Αμαξοστάσιο Πυλαίας (Χ.Θ. 9+572) καθώς οι γεωλογικές συνθήκες της περιοχής δεν μεταβάλλονται.

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία γίνεται μέλετη του τμήματος του Βασικού Έργου από το σταθμό ΝΣΣ(Χ.Θ. 0-249) έως και το σταθμό ΑΝΑΛΗΨΕΩΣ(Χ.Θ. 5+815). Συνεπώς, γίνεται ανάλυση των γεωλογικών και γεωτεχνικών συνθηκών όλου του Τμήματος Α και των Υποτμημάτων 1 και 2 από το Τμήμα Β.

Γεωλογικές συνθήκες

Ύστερα από ειδικές γεωτεχνικές έρευνες και επισκόπηση των επί τόπου γεωτρήσεων σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών που εκτελέστηκαν προσδιορίστηκαν τα γεωλογικά χαρακτηριστικά των τμημάτων.

Γεωλογικές συνθήκες τμήματος Α

Στο τμήμα από Χ.Θ. 0-249 έως Χ.Θ. 3+630 εντοπίστηκαν τρεις κύριες γεωλογικές ενότητες:

- Τεχνητές Επιχώσεις / Αρχαιολογικό Στρώμα
- Τεταρτογενείς / Πλειστοκαινικές αποθέσεις
- Νεογενής Σειρά Ερυθρών Αργίλων

Βάση της εμφάνισης των παραπάνω γεωλογικών ενοτήτων κατά μήκος του τμήματος που μελετάται, διαχωρίζονται τα παρακάτω τρία επί μέρους τμήματα:

Από Επίσταθμο ΝΣΣ έως Διασταύρωση Δημοκρατίας (Χ.Θ. 0-249 – Χ.Θ. 0+443) όπου οι Τεχνητές Επιχώσεις υπέρκεινται των Τεταρτογενών αποθέσεων (**Υποτμήμα 1**).

Από Διασταύρωση Δημοκρατίας έως και τον Σταθμό Αγ. Σοφίας (Χ.Θ. 0+443 – Χ.Θ. 1+908) όπου εμφανίζονται οι Τεχνητές Επιχώσεις πάνω από τις Τεταρτογενείς αποθέσεις, οι οποίες υπέρκεινται της γεωλογικής ενότητας των Ερυθρών Αργίλων (**Υποτμήμα 2**).

Από Σταθμό Αγ. Σοφίας έως αμέσως μετά τον Σταθμό Πανεπιστήμιο (Χ.Θ. 1+908 – Χ.Θ. 3+630) όπου εντοπίζονται μόνον οι Τεχνητές Επιχώσεις και η υποκείμενη Σειρά των Ερυθρών Αργίλων (**Υποτμήμα 3**).

Γεωλογικές συνθήκες τμήματος Β

Στο τμήμα της χάραξης από Χ.Θ. 3+630 έως Χ.Θ. 7+140 εντοπίστηκαν τέσσερις κύριες Γεωλογικές Ενότητες:

- Τεχνητές Επιχώσεις / Αρχαιολογικό Στρώμα
- Τεταρτογενείς αποθέσεις
- Νεογενής Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά
- Νεογενής Σειρά Ερυθρών Αργίλων

Βάση της εμφάνισης των παραπάνω Γεωλογικών Ενότητων κατά μήκος του Τμήματος Β που μελετάται, διαχωρίζονται τα παρακάτω τρία Υποτμήματα:

- Από Σταθμό Πανεπιστήμιο έως Σταθμό Παπαφή (Χ.Θ. 3+630 – Χ.Θ. 4+250) όπου εντοπίζονται όλες οι παραπάνω Γεωλογικές Ενότητες με την παρακάτω στρωματογραφική ακολουθία (από πάνω προς κάτω): Επιχώσεις → Τεταρτογενείς αποθέσεις → Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά → Σειρά Ερυθρών Αργίλων. **(Υποτμήμα 1)**
- Από Σταθμό Παπάφη έως Διασταύρωση Αναλήψεως (Χ.Θ. 4+250 – Χ.Θ. 5+880) όπου εντοπίζεται η παραπάνω στρωματογραφική ακολουθία δίχως την παρουσία της Σειράς των Ερυθρών Αργίλων. **(Υποτμήμα 2)**
- Από Διασταύρωση Αναλήψεως έως Σταθμό Βούλγαρη (Χ.Θ. 5+880 – Χ.Θ. 7+140) όπου εντοπίζονται μόνον οι Τεχνητές Επιχώσεις και η υποκείμενη Ενότητα των Τεταρτογενών αποθέσεων. **(Υποτμήμα 3)**

Γεωλογικές συνθήκες τμήματος Γ

Στο τμήμα της χάραξης από Χ.Θ. 7+140 έως Χ.Θ. 9+600 εντοπίστηκαν τρεις κύριες Γεωλογικές Ενότητες:

- Τεχνητές Επιχώσεις
- Τεταρτογενείς αποθέσεις
- Νεογενής Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά

Από τις παραπάνω Γεωλογικές Ενότητες, αυτή που κυριαρχεί καθόλο το μήκος του Τμήματος Γ είναι η Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά, ενώ οι Τεχνητές Επιχώσεις και οι Τεταρτογενείς Αποθέσεις παρουσιάζουν πολύ μικρά πάχη, με τις τελευταίες μάλιστα να μην εντοπίζονται καθόλο το μήκος του Τμήματος Γ. Σε γενικές γραμμές η στρωματογραφική ακολουθία που παρατηρείται είναι (από πάνω προς τα κάτω): Τεχνητές Επιχώσεις → Τεταρτογενείς αποθέσεις → Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά.

2.2.5. Τμήμα Α

Τεχνητές επιχώσεις

Η Γεωλογική Ενότητα των **Τεχνητών Επιχώσεων** εντοπίζεται καθόλο το μήκος του συνολικού τμήματος που αξιολογείται και αποτελείται κυρίως από μαλακές έως τοπικά σταθερές, καστανές έως σκούρες καστανές, αμμώδεις **ΑΡΓΙΛΟΥΣ (CL-CI)** χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας, με χαλίκια, από χαλαρές έως μέτρια πυκνές, ανοιχτές καστανές έως καστανοπράσινες, αργιλώδεις **ΑΜΜΟΥΣ (SC)** με χάλικες καθώς και από επίσης χαλαρούς έως μέτρια πυκνούς, αργιλώδεις **ΧΑΛΙΚΕΣ (GC)** με άμμο.

Το πάχος της γεωλογικής ενότητας κυμαίνεται από 2.0 έως 6.0m στο τμήμα από τον Επίσταθμο του ΝΣΣ έως και τον Σταθμό Δημοκρατίας, στην συνέχεια αυξάνει μπαίνοντας στο ιστορικό κέντρο (από Σταθμό Δημοκρατίας έως Σταθμό Σιντριβάνι) και κυμαίνεται από 5.0m έως 11.0m, ενώ στο τελευταίο κομμάτι από Σταθμό Σιντριβάνι έως και το πέρας του τμήματος που μελετάται (Χ.Θ. 3+630), το πάχος μειώνεται πάλι και κυμαίνεται από 2.0m έως και τοπικά 6.0m.

Τεταρτογενείς αποθέσεις

Η γεωλογική ενότητα των **Τεταρτογενών ιζημάτων**, η οποία εμφανίζεται κάτω από τις Τεχνητές Επιχώσεις, αποτελείται εν γένει από κανονικά στερεοποιημένους σχηματισμούς όπως μαλακές έως σταθερές και τοπικά στιφρές, σκούρες καστανές έως καστανές αμμώδεις **ΑΡΓΙΛΟΥΣ (CL)** χαμηλής κυρίως και τοπικά μέσης πλαστικότητας, από χαλαρές έως μέτρια πυκνές, καστανές έως καστανοπράσινες αργιλώδεις / ιλυώδεις **ΑΜΜΟΥΣ (SC-SM)** με χάλικες και από επίσης χαλαρούς έως μέτρια πυκνούς αργιλώδεις **ΧΑΛΙΚΕΣ (GC)** με άμμο.

Το πάχος της γεωλογικής ενότητας των Τεταρτογενών ιζημάτων ποικίλει κατά μήκος του τμήματος Α. Πιο συγκεκριμένα εντοπίζονται περιοχές (Υποτμήμα 1) στις οποίες η εν λόγω ενότητα εντοπίζεται κάτω από τις Τεχνητές Επιχώσεις και εκτείνεται τουλάχιστον ως το πέρας των γεωτρήσεων που ανορύχθηκαν (~30 – 35m) και άλλες (Υποτμήμα 3) στις οποίες τα Τεταρτογενή ιζήματα απουσιάζουν εντελώς.

Σειρά Ερυθρών Αργίλων

Η γεωλογική ενότητα των **Ερυθρών Αργίλων** αποτελείται από υπερστερεοποιημένους, Νεογενείς – Πλειοκαινικούς, γεωτεχνικούς σχηματισμούς, οι οποίοι παρουσιάζουν σαφώς αυξημένα μηχανικά χαρακτηριστικά σε σύγκριση με αυτούς της γεωλογικής ενότητας των Τεταρτογενών αποθέσεων. Πιο συγκεκριμένα, ο κύριος γεωτεχνικός σχηματισμός που συνιστά την ενότητα είναι στιφρές έως σκληρές, καστανέρυθρες έως ερυθρές **ΑΡΓΙΛΟΙ** με άμμο έως αμμώδεις **ΑΡΓΙΛΟΙ (CL-CI)** χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας.

Η ενότητα των Ερυθρών Αργίλων εμφανίζεται σχεδόν συστηματικά μέχρι το πέρας των γεωτρήσεων, με εξαίρεση τον Σταθμό Αγίας Σοφίας όπου κάτω από την εν λόγω ενότητα εμφανίζεται το βραχώδες Αλπικό υπόβαθρο της πόλης της Θεσσαλονίκης αποτελούμενο από **ΓΝΕΥΣΙΟΥΣ**.

2.2.5.1. Υποτμήμα 1 (X.Θ. 0-249 – X.Θ. 0+443)

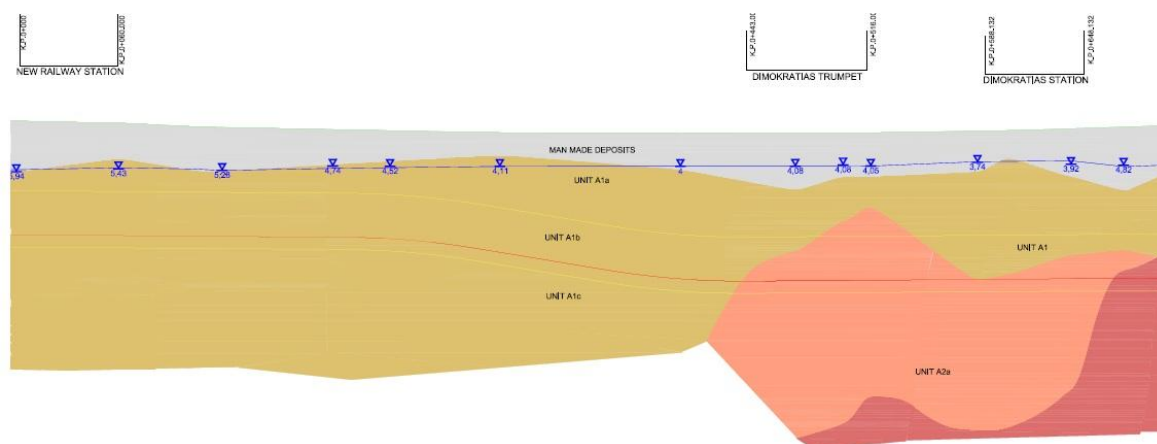
Στο πρώτο επί μέρους τμήμα, από τον Επίσταθμο του ΝΣΣ έως την Διασταύρωση Δημοκρατίας (X.Θ. 0-249 – X.Θ. 0+443), η γεωλογική ενότητα των **Τεταρτογενών αποθέσεων**, η οποία υπόκειται της ενότητας των Τεχνητών Επιχώσεων ομαδοποιείται και αναφέρεται ως **Γεωτεχνική Ενότητα Α1**.

Τα Τεταρτογενή ιζημάτα, βάση των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δοκιμών προσδιορισμού των φυσικών / μηχανικών χαρακτηριστικών τους, χωρίζονται στις γεωτεχνικές ενότητες **A1α, A1β και A1γ**. Ο παραπάνω διαχωρισμός στηρίζεται κύρια στην διαφορετική κοκκομετρία που εμφανίζει κάθε μια από τις παραπάνω ενότητες και κατά δεύτερο λόγο στην διαφορετική αντοχή των ιζημάτων τους. Οι Ενότητες A1α και A1γ είναι συνεκτικές (αμμώδεις άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας) με λεπτές, ασυνεχείς, κοκκώδεις ενστρώσεις, ενώ η A1β είναι κοκκώδης (αργιλώδης άμμος με χαλίκια).

Η γεωτεχνική ενότητα **A1α** αποτελείται από μαλακές έως σταθερές και τοπικά στιφρές, σκούρες καστανές έως καστανές, αμμώδεις **ΑΡΓΙΛΟΥΣ (CL-CI)**, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας, ενώ από την Διασταύρωση του ΝΣΣ και μέχρι τον Σταθμό Δημοκρατίας εμφανίζονται και ενστρώσεις χαλαρών έως μέτρια πυκνών, καστανοπράσινων, αργιλωδών **ΑΜΜΩΝ (SC)** τοπικά με χάλικες. Το πάχος της A1α κυμαίνεται από 2,70m έως 8,80m, ενώ το μέσο πάχος της είναι περίπου 5,5m. Αναφορικά με το βάθος επαφής της A1α με την υποκείμενη A1β αυτό κυμαίνεται από -4.00m έως -12.00m από την επιφάνεια του εδάφους.

Η υποκείμενη γεωτεχνική ενότητα **A1β** συνίσταται από χαλαρές έως μέτρια πυκνές, καστανοπράσινες, αργιλώδεις **ΑΜΜΟΥΣ (SC)** με χάλικες καθώς και από χαλαρούς έως μέτρια πυκνούς αργιλώδεις **ΧΑΛΙΚΕΣ (GC)** έως αργιλώδεις / ιλυώδεις **ΧΑΛΙΚΕΣ (GC-GM)**. Η ενότητα αυτή παρουσιάζει πάχος που κυμαίνεται από 6.1m έως 13.3m, ενώ το μέσο πάχος της είναι περίπου 8.8m. Όσον αφορά στο βάθος επαφής με την υποκείμενη A1γ αυτό κυμαίνεται από -15.00m έως -20.65m από την επιφάνεια του εδάφους.

Τέλος, η επαφή της A1β με την υποκείμενη **A1γ** εκτιμάται ότι συνιστά γεωλογικό όριο καθώς φαίνεται ότι μεταβάλλεται το περιβάλλον ιζηματογένεσης (αλλαγή χρώματος των ιζημάτων) και αυξάνουν οι αντοχές των σχηματισμών που εμφανίζονται. Παράλληλα εκτιμήθηκε και ελαφρώς αυξημένος συντελεστής υπερστερεοποίησης (OCR). Η εν λόγω γεωτεχνική ενότητα εκτείνεται τουλάχιστον ως το πέρας όλων των γεωτρήσεων (~30m) που εκτελέστηκαν στο πρώτο επί μέρους τμήμα από τον Επίσταθμο ΝΣΣ έως τον Σταθμό Δημοκρατίας.



Εικόνα 2–3, Γεωλογική μηκτομή του Υπομημήματος 1Α ΝΣΣ – Δημοκρατίας, Πηγή: Αττικό Μετρό

Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά

Από τις τρεις ενότητες που παρουσιάζονται παραπάνω οι Α1α και Α1γ είναι συνεκτικές με ποσοστά λεπτοκόκκων που κυμαίνονται από 50 έως 65%. Η Α1β είναι κατά βάση αμμοχαλικώδης σε μέσο ποσοστό 70%.

Οι τεταρτογενείς αποθέσεις είναι κανονικά στερεοποιημένες με αντοχές και μέτρα παραμορφωσιμότητας που αυξάνουν με το βάθος. Επισημαίνεται ότι η ενότητα Α1γ παρουσιάζεται οριακά υπερστερεοποιημένη με συντελεστές υπερστερεοποίησης OCR που κυμαίνονται μεταξύ 1,10 και 1,20 και ενεργές συνοχές c' μεταξύ 30 και 40kPa.

Από τις δοκιμές διαπερατότητας που εκτελέστηκαν προκύπτει ότι οι μέσες τιμές των συντελεστών διαπερατότητας και των τριών ενότητων δε διαφέρουν ιδιαίτερα παρά την διαφορετική κοκκομετρία τους. Η πιο αδρόκοκκη ενότητα Α1β παρουσιάζει συντελεστές περίπου κατά μισή τάξη μεγέθους μεγαλύτερους από αυτούς των δύο λεπτόκοκκων ενότητων. Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση της περιεκτικότητας των λεπτοκόκκων από 30 έως 60% έχει ελάχιστη επιρροή στη μείωση της διαπερατότητας των σχηματισμών.

Τέλος, οι συντελεστές ώθησης σε ηρεμία K_0 κυμαίνονται από 0,40 έως 0,52 για τις κοκκώδεις και συνεκτικές ενότητες αντίστοιχα.

ΕΝΟΤΗΤΑ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ							
	Χάλικες%		Άμμος%		ΐλύς%		Άργιλος%	
	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ
ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	12		36,5		51,5		32,5	
A1α	5	11	29	38,5	51	63	22,5	
A1β	11	32,5	39,5	50,5	28	39	4	
A1γ	8	15	33	39	53	54	23	25

ΕΝΟΤΗΤΑ	ΟΡΙΑ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ				ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ		ΦΑΙΝ. ΒΑΡΟΣ	
	PI%		LL%		w%		$\gamma_v(\text{KN/m}^3)$	
	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ
ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	10,4		27,5		20,9		20,4	
A1α	16	20,5	33,3	36,5	18,2	20,6	20,7	21,1
A1β	10,3	13,2	25,2	28,0	13,7	16,0	21,6	22,0
A1γ	13,5	18,9	31,0	33,5	12,6	18,0	20,9	21,3

ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΥΠΟΤΜΗΜΑ 1 ΤΗΣ ΧΑΡΑΞΗΣ				
ΕΝΟΤΗΤΑ	c_u (kPa)	c' (kPa)	ϕ' (°)	E_s (MPa)
A1α	50 - 80	0 - 15	27 - 31	25 - 40
A1β	50	7,5 - 15	32 - 35	35 - 50
A1γ	100	30 - 40	28 - 29	45 - 60

Πίνακας 2–3, Διακύμανση των μέσων φυσικών χαρακτηριστικών των γεωτεχνικών ενοτήτων του Υποτμήματος 1 (Χ.Θ. 0- 249 έως Χ.Θ. 0+443), Πηγή: Αττικό Μετρό

2.2.5.2. Υποτμήμα 2 (Χ.Θ. 0+443 – Χ.Θ. 1+908)

Στο δεύτερο επί μέρους τμήμα από την Διασταύρωση Δημοκρατίας έως και τον Σταθμό Αγίας Σοφίας (Χ.Θ. 0+443 – Χ.Θ. 1+908), το πάχος των Τεταρτογενών αποθέσεων μειώνεται σημαντικά καθώς κάτω από αυτές εμφανίζεται η Νεογενής Σειρά των Ερυθρών Αργίλων. Το πάχος της γεωτεχνικής ενότητας A1 κυμαίνεται από 2,60m έως 20,30m, ενώ το μέσο πάχος της είναι περίπου 9,29m. Αναφορικά με το βάθος επαφής της A1 με την υποκείμενη Σειρά των Ερυθρών Αργίλων, αυτό κυμαίνεται από -9.80m έως -27.50m από

την επιφάνεια του εδάφους. Επισημαίνεται ότι τα Τεταρτογενή ιζήματα της ενότητας Α1 δεν εντοπίζονται τοπικά στην θέση του Σταθμού Βενιζέλου.

Η υποκείμενη Σειρά των Ερυθρών Αργίλων αποτελείται από ιζήματα Νεογενούς ηλικίας, τα οποία παρουσιάζουν σαφώς υψηλότερο βαθμό υπερστερεοποίησης (OCR) σε σύγκριση με τα Τεταρτογενή, μεγαλύτερη διαγένεση και πολύ υψηλότερες αντοχές. Τα ιζήματα της Σειράς των Ερυθρών Αργίλων αναφέρονται ως **Γεωτεχνική Ενότητα Α2**. Γενικά, παρατηρείται μια διακύμανση των αντοχών των ιζημάτων της γεωτεχνικής ενότητας Α2 κατά μήκος της χάραξης του έργου με αποτέλεσμα να χωρίζεται σε τρεις επί μέρους γεωτεχνικές ενότητες **Α2α**, **Α2β** και **Α2γ**. Η μέση αντοχή σε θλίψη στην **Α2α** δεν ξεπερνά τα 300 kPa, στην **Α2β** κυμαίνεται μεταξύ 300 – 600 kPa, ενώ στην **Α2γ** ξεπερνάει τα 600 kPa και κυμαίνεται στα επίπεδα αντοχής ημιβράχων.

Στον **Σταθμό Δημοκρατίας** η εικόνα που παρουσιάζουν οι γεωτεχνικοί σχηματισμοί της γεωλογικής ενότητας των Ερυθρών Αργίλων βελτιώνεται, με αποτέλεσμα να κατατάσσεται μεγαλύτερο τμήμα των γεωτεχνικών σχηματισμών στην γεωτεχνική ενότητα **Α2β** συγκριτικά με την Διασταύρωση Δημοκρατίας.

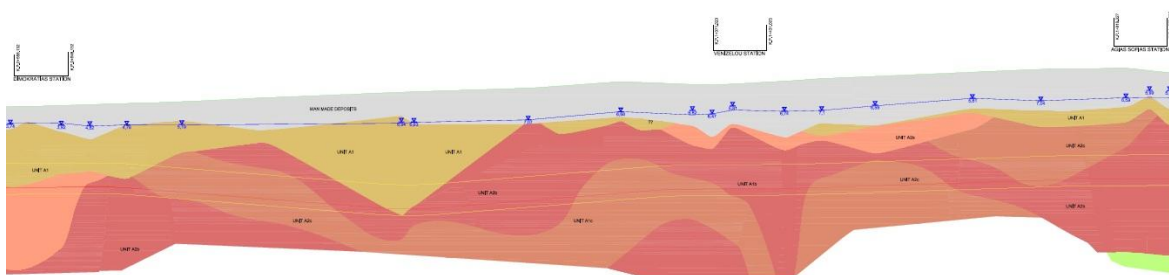
Στο τμήμα της **Σήραγγας μεταξύ των Σταθμών Δημοκρατίας και Βενιζέλου** οι αντοχές σε θλίψη κυμαίνονται ως επί το πλείστον μεταξύ 300 – 600 kPa και συνεπώς οι γεωτεχνικοί σχηματισμοί των Ερυθρών Αργίλων κατατάσσονται στην γεωτεχνική ενότητα **Α2β**. Τοπικά ωστόσο εντοπίζονται και τμήματα αργιολίθων και ιλυολίθων ($q_u > 600$ kPa) κατά μήκος της Σήραγγας τα οποία κατατάσσονται στην γεωτεχνική ενότητα **Α2γ**.

Στον **Σταθμό Βενιζέλου**, η πλειοψηφία των γεωτεχνικών σχηματισμών εξακολουθεί να κατατάσσεται στην γεωτεχνική ενότητα **Α2β** ($300 < q_u < 600$ kPa), ενώ επίσης εντοπίζονται τοπικά τμήματα ημιβράχων ($q_u > 600$ kPa) που κατατάσσονται στην γεωτεχνική ενότητα **Α2γ**.

Στο τμήμα της **Σήραγγας μεταξύ των Σταθμών Βενιζέλου και Αγίας Σοφίας** εμφανίζονται σε μεγαλύτερη έκταση αργιολίθοι και ιλυόλιθοι, οι οποίοι κατατάσσονται στην γεωτεχνική ενότητα **Α2γ**, εντός των οποίων παρεμβάλλονται ενστρώσεις στιφρών – πολύ στιφρών αργίλων κυρίως, που κατατάσσονται στην γεωτεχνική ενότητα **Α2β**. Όπως και στον Σταθμό Βενιζέλου έτσι και στην Σήραγγα αυτή, στα πρώτα μέτρα εμφάνισης της γεωλογικής ενότητας των Ερυθρών Αργίλων οι γεωτεχνικοί σχηματισμοί δεν ξεπερνούν σε θλιπτική αντοχή τα 300 kPa και κατατάσσονται στην γεωτεχνική ενότητα **Α2α**.

Τέλος, στον **Σταθμό Αγίας Σοφίας**, η αντοχή των γεωτεχνικών σχηματισμών της γεωλογικής ενότητας των Ερυθρών Αργίλων μειώνεται και πάλι, με αποτέλεσμα να κατατάσσονται στην γεωτεχνική ενότητα **A2β**.

Επισημαίνεται ότι εντελώς τοπικά (στο αριστερό μέρος του Σταθμού Αγίας Σοφίας) κάτω από την γεωλογική ενότητα των Ερυθρών Αργίλων εμφανίζεται το **Αλπικό Υπόβαθρο** της Θεσσαλονίκης αποτελούμενο από μέτρια ισχυρό, γκριζοπράσινο έως καστανοπράσινο, κερματισμένο και έντονα κατά θέσεις κερματισμένο **ΓΝΕΥΣΙΟ**.



Εικόνα 2-4, Γεωλογική μηκοτομή του Υπομημήματος 2Α Δημοκρατίας – Αγία Σοφία, Πηγή: Αττικό Μετρό

Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά

Η συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζει συμπεριφορά ημιβράχου. Οι παράμετροι αντοχής και παραμορφωσιμότητας των Ερυθρών Αργίλων, παρουσιάζουν αύξηση από την A2α προς την A2γ.

Τα μέτρα συμπίεστικότητας των Τεταρτογενών κυμαίνονται από 35 έως 50MPa. Οι αστράγγιστες διατμητικές αντοχές των Τεταρτογενών στο τμήμα αυτό είναι λίγο υψηλότερες από αυτές του προηγούμενου υπομημήματος. Η ίδια βελτιωμένη εικόνα εμφανίζεται και στις ενεργές παραμέτρους αντοχής.

Οι τεταρτογενείς αποθέσεις, στις θέσεις όπου κυριαρχούν τα λεπτόκοκκα, είναι οριακά υπερστερεοποιημένες με $OCR = 1,00-1,20$, ενώ σε μεγάλη έκταση εμφανίζονται κοκκώδεις. Οι συντελεστές ώθησης σε ηρεμία K_0 των τεταρτογενών εκτιμήθηκαν και κυμαίνονται από 0,50 έως 0,57.

Οι Ερυθρές Άργιλοι είναι υπερστερεοποιημένες και παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό υπερστερεοποίησης αφού κυμαίνεται από 1,40, 2,00 έως και 2,20 για τις γεωτεχνικές

ενότητες Α2α, Α2β και Α2γ αντίστοιχα. Λόγω και των αυξημένων συντελεστών υπερστερεοποίησης οι συντελεστές ώθησης σε ηρεμία K_0 παρουσιάζουν αύξηση και κυμαίνονται από 0,56 έως και 0,70 ανάλογα με την ενότητα και το είδος του έργου.

Οι δοκιμές διαπερατότητας έδειξαν ότι οι μεγαλύτεροι συντελεστές μετρήθηκαν στις τεταρτογενείς αποθέσεις οι οποίες παρουσιάζουν και τα χαμηλότερα ποσοστά λεπτοκόκκων (43%). Στις ενότητες των ερυθρών αργίλων οι συντελεστές δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις ανάλογα με τις επί μέρους κοκκομετρίες.

ΕΝΟΤΗΤΑ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ							
	Χάλικες%		Άμμος%		ΐλύς%		Άργιλος%	
	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ
ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	2	80	17	56	0	69	10	20
A1	13	22.5	34.5	46.0	33.5	49.5	9.5	21
A2α	15.5	22.5	30.5	41	37	53.5	18	20.5
A2β	4	13	32	40	57	61	18.5	23
A2γ	10		25		65		17	

ΕΝΟΤΗΤΑ	ΟΡΙΑ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ				ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ		ΦΑΙΝ. ΒΑΡΟΣ	
	PI%		LL%		w%		γ_0 (KN/m ³)	
	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ
ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	NP	19,5	21	39	10	30	15,8	22,3
A1	8.3	16.3	25.7	35.3	13.8	15.2	20.4	22.0
A2α	15.4	17.9	31.6	37.9	15.6	19.5	20.4	21.5
A2β	15.5	18.1	34.3	35.6	15.1	16.6	21.1	21.3
A2γ	14.4	17.4	35.2	36.3	14.2	14.9	21.1	21.3

ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΥΠΟΤΜΗΜΑ 2 ΤΗΣ ΧΑΡΑΞΗΣ				
ΕΝΟΤΗΤΑ	c_u (kPa)	c' (kPa)	ϕ' ($^\circ$)	E_s (MPa)
A1	50 - 80	15 - 25	27 - 30	35 - 50
A2α	130 - 140	27 - 60	26 - 28	70 - 80
A2β	220 - 300	90 - 110	25 - 27	135 - 200
A2γ	450	130	28	400

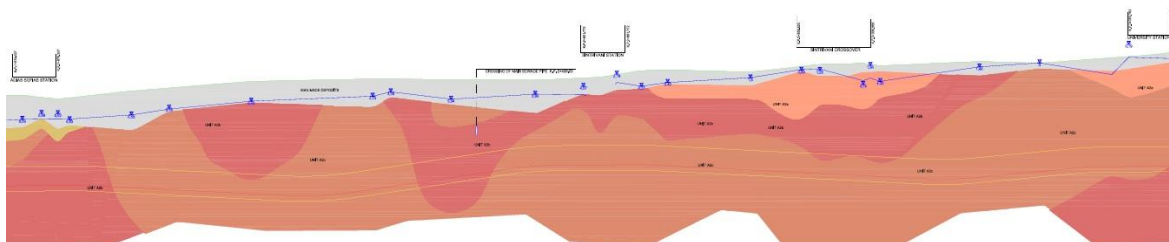
Πίνακας 2–4, Διακύμανση των μέσων φυσικών χαρακτηριστικών των γεωτεχνικών ενότητων του Υποτμήματος 2 (Χ.Θ. 0+443 έως Χ.Θ. 1+908), Πηγή: Αττικό Μετρό

2.2.5.3. Υποτμήμα 3 (Χ.Θ. 1+908 – Χ.Θ. 3+630)

Στο τρίτο τμήμα από τον Σταθμό Αγίας Σοφίας έως και μετά τον Σταθμό Πανεπιστήμιο (Χ.Θ. 1+908 – Χ.Θ. 3+630), η γεωλογική ενότητα των Τεταρτογενών αποθέσεων απουσιάζει με αποτέλεσμα κάτω από τις Τεχνητές Επιχώσεις να εμφανίζονται γεωτεχνικοί σχηματισμοί της Σειράς των Ερυθρών Αργίλων. Πρόκειται για ένα σχεδόν αποκλειστικά ημιβραχώδες τμήμα με ακόμα υψηλότερα μηχανικά χαρακτηριστικά σε σύγκριση με το προηγούμενα. Στο εσωτερικό των σκληρών αργίλων εμφανίζονται οξειδώσεις μαγγανίου καθώς και πολλά ασβεστιτικά συγκρίματα.

Πιο συγκεκριμένα σε αυτό το τμήμα επικρατεί η γεωτεχνική, ημιβραχώδης ενότητα A2γ με εξαίρεση το τμήμα από Σταθμό Σιντριβάνι έως Διασταύρωση Σιντριβάνι όπου πάνω από την A2γ εμφανίζονται οι γεωτεχνικές ενότητες A2α και A2β, με την A2α να εμφανίζεται μόνο στην Διασταύρωση Σιντριβάνι μέχρι το βάθος των -13m και την A2β να εμφανίζεται καθόλο το τμήμα που προαναφέρθηκε μέχρι το βάθος των -25m περίπου.

Σχετικά με την γεωτεχνική διαίρεση της A2 στις A2α, A2β και A2γ, είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι αν και κατά μήκος της χάραξης οι συνθήκες βελτιώνονται με αποτέλεσμα είναι δυνατό στο εσωτερικό της A2γ να εμφανίζονται μικρότερες ζώνες χαμηλότερης αντοχής σε θλίψη (A2β) όπως και στην A2β είναι δυνατό τοπικά να εντοπίζονται ζώνες υψηλότερων αντοχών (A2γ).



Εικόνα 2–5, Γεωλογική μηκτομή του Υποτμήματος 3Α Αγία Σοφία - Πανεπιστήμιο (Πηγή: Αττικό Μετρό)

Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά

Το τρίτο τμήμα της χάραξης καλύπτεται μόνον από σχηματισμούς της Σειράς των Ερυθρών Αργίλων (A2). Κάτω από τις επιφανειακές επιχώσεις οι ερυθρές άργιλοι διακρίνονται στις τρεις παρακάτω γεωτεχνικές ενότητες A2α, A2β και A2γ ανάλογα με την αντοχή τους.

Ανάλογες προς τις αντοχές σε θλίψη είναι και οι παράμετροι αντοχής και παραμορφωσιμότητας, οι οποίες παρουσιάζουν αύξηση από την A2α προς την A2γ.

Αναφορικά προς τη διαπερατότητα των γεωτεχνικών ενότητων σημειώνεται ότι όλες οι ενότητες παρουσιάζουν την ίδια περίπου μέση διαπερατότητα (της τάξεως του $1,0 \times 10^{-5}$ cm/sec).

Οι ερυθρές άργιλοι είναι υπερστερεοποιημένες αλλά παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό υπερστερεοποίησης αφού οι τιμές κυμαίνονται από 1.50, 1.70, 2.00 έως και 2,20 για τις ενότητες A2α, A2β και A2γ αντίστοιχα.

Λόγω και των αυξημένων συντελεστών υπερστερεοποίησης οι συντελεστές ώθησης σε ηρεμία K_0 παρουσιάζουν σημαντική διακύμανση από 0,50 έως και 0,70 ανάλογα με την γεωτεχνική ενότητα και το είδος του έργου.

ΕΝΟΤΗΤΑ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ							
	Χάλικες%		Άμμος%		Ιλύς%		Άργιλος%	
	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ
ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	16	36	30	70	14	43	-	-
A2α	11		27		62		34	
A2β	13	22	25.5	28	51	60.5	10	29
A2γ	8	26	18	32	50	65	9	31.5

ΕΝΟΤΗΤΑ	ΟΡΙΑ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ				ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ		ΦΑΙΝ. ΒΑΡΟΣ	
	PI%		LL%		w%		$\gamma_v(\text{KN/m}^3)$	
	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ
ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	8.7	9.5	25.3	47.0	11.6	24.2	21.6	23.3
A2α	16.9	19.2	34.1	35.4	14.2	16.6	21.4	21.6
A2β	14.8	17.3	31.1	34.5	14.7	15.3	20.9	21.6
A2γ	11.5	17.0	31.8	36.5	13.8	17.2	20.9	22.0

ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΥΠΟΤΜΗΜΑ 3 ΤΗΣ ΧΑΡΑΞΗΣ				
ΕΝΟΤΗΤΑ	c_u (kPa)	c' (kPa)	ϕ' ($^\circ$)	E_s (MPa)
A2α	140	50	26	100
A2β	170 - 300	55 - 110	28	100 - 150
A2γ	350 - 500	100 - 150	26 - 30	280 - 400

Πίνακας 2–5, Διακύμανση των μέσων φυσικών χαρακτηριστικών των γεωτεχνικών ενοτήτων του Υποτμήματος 3(Χ.Θ. 1+908 έως Χ.Θ. 3+630), Πηγή: Αττικό Μετρό

2.2.5.4. Υδρογεωλογικές συνθήκες τμήματος Α

Στο σύνολο του τμήματος οι μετρήσεις της στάθμης, οι οποίες προέκυψαν από την εκτέλεση συνολικά πενήντα πέντε γεωτρήσεων στις οποίες τοποθετήθηκαν πιεζόμετρα ανοιχτού τύπου για την παρακολούθηση της διακύμανσης της στάθμης του υπόγειου νερού, δίνονται υπό την μορφή απόλυτων υψομέτρων της στάθμης του υδροφόρου.

Στο **υποτμήμα 1** από τον Επίσταθμό του ΝΣΣ έως την Διασταύρωση Δημοκρατίας (Χ.Θ. 0-249 – Χ.Θ. 0+443) ότι η Στάθμη του υπόγειου νερού δεν μεταβάλλεται σημαντικά κατά μήκος των Έργων του ΝΣΣ όπου και παρουσιάζει μια διακύμανση της τάξης των $\pm 0,20\text{m}$ (απόλυτο υψόμετρο). Περνώντας στο τμήμα της σήραγγας μεταξύ των Σταθμών ΝΣΣ και Διασταύρωσης Δημοκρατίας η στάθμη του νερού ανέρχεται και πλησιάζει στην επιφάνεια του εδάφους. Η στάθμη που δίνεται αντιστοιχεί στη στάθμη του ελεύθερου υδροφόρου που αναπτύσσεται στην περιοχή, λόγω απουσίας αρτεσιανισμού.

Στα παρακάτω τμήματα η στάθμη παρουσιάζει τις παρακάτω διακυμάνσεις απόλυτου υψομέτρου:

- **Επίσταθμος ΝΣΣ** → +0,72m έως +1,11m
(επιφάνεια εδάφους: +7,60 έως +8,35m)
- **ΝΣΣ** → +0,56m έως +1,41m
(επιφάνεια εδάφους: +6,93 έως +7,26m)
- **Διασταύρωση – Φρέαρ TBM** → +1,01m έως +1,20m
(επιφάνεια εδάφους: +6,45)
- **TBM ΝΣΣ – Σταθμός Δημοκρατίας** → +1,53m έως +2,10m
(επιφάνεια εδάφους: +5,67 έως +5,77m)

Στο **υπομήμα 2** από την Διασταύρωση Δημοκρατίας έως και τον Σταθμό Αγίας Σοφίας (Χ.Θ. 0+443 – Χ.Θ. 1+908) προκύπτει ότι η στάθμη του υπόγειου νερού παρουσιάζει μια ανοδική τάση από την Διασταύρωση Δημοκρατίας προς τον Σταθμό Αγίας Σοφίας η οποία ακολουθεί την άνοδο του απόλυτου υψομέτρου της επιφάνειας του εδάφους. Η στάθμη που δίνεται αντιστοιχεί στη στάθμη του ελεύθερου υδροφόρου που αναπτύσσεται στην περιοχή, λόγω απουσίας αρτεσιανισμού.

Στα παρακάτω τμήματα η στάθμη παρουσιάζει τις παρακάτω διακυμάνσεις απόλυτου υψομέτρου:

- **Διασταύρωση Δημοκρατίας** → +1,73m έως +1,90m
(επιφάνεια εδάφους: +5,75 έως +5,92m)
- **Σταθμός Δημοκρατίας** → +1,65m έως +3,00m
(επιφάνεια εδάφους: +5,84 έως +6,63m)
- **TBM Δημοκρατίας–Βενιζέλου (ως 0+900)** → +2,32m έως +2,88m
- **TBM Δημοκρατίας–Βενιζέλου (από 0+900)** → +3,00m έως +5,29m
(επιφάνεια εδάφους: +6,71 έως +11,55m)
- **Σταθμός Βενιζέλου** → +4,30m έως +5,22m
(επιφάνεια εδάφους: +10,82 έως +11,97m)
- **TBM Βενιζέλου – Αγίας Σοφίας** → +4,98m έως +7,92m
(επιφάνεια εδάφους: +12,26 έως +14,35m)
- **Σταθμός Αγίας Σοφίας** → +7,41m έως +9,47m
(επιφάνεια εδάφους: +13,60 έως +15,55m)

Τέλος, στο **υποτμήμα 3** από τον Σταθμό Αγίας Σοφίας έως και μετά τον Σταθμό Πανεπιστήμιο (Χ.Θ. 1+908 – Χ.Θ. 3+630) προκύπτει ότι περίπου από τον Σταθμό Σιντριβάνι και μέχρι και το πέρας του τμήματος που μελετάται, μετά τον Σταθμό Πανεπιστήμιο, αναπτύσσεται αρτεσιανός υδροφόρος. Η πιεζομετρική στάθμη αυτού του υδροφόρου βρίσκεται πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, ενώ κατά τόπους στη σήραγγα από Διασταύρωση Σιντριβάνι έως Πανεπιστήμιο αλλά και στον Σταθμό Πανεπιστήμιο, εκδηλώνονται επιφανειακές ροές μικρής παροχής. Βάση των γεωλογικών στοιχείων εκτιμάται ότι ο εν λόγω υδροφόρος αναπτύσσεται σε βάθη μεγαλύτερα των 25 – 30m από την επιφάνεια του εδάφους.

Η στάθμη παρουσιάζει τις παρακάτω διακυμάνσεις στα παρακάτω τμήματα:

- **TBM Αγ. Σοφία – Σιντριβάνι (ως 2+200)** → +9,48m έως +12,98m
- **TBM Αγ. Σοφία – Σιντριβάνι (από 2+200)** → +13,61m έως +15,99m
(επιφάνεια εδάφους: +15,79 έως +19,09m)
- **Σταθμός Σιντριβάνι** → +11,20m έως +20,60m
(επιφάνεια εδάφους: +19,55 έως +22,55m)
- **TBM Σιντριβάνι – Διασταύρωση Σιντριβάνι** → +15,85m έως +19,56m
(επιφάνεια εδάφους: +20,98 έως +21,62m)
- **Διασταύρωση Σιντριβάνι** → +16,83m έως +23,21m
(επιφάνεια εδάφους: +22,26 έως +24,72m)
- **TBM Διαστ. Σιντριβάνι – Πανεπιστήμιο** → +17,86m έως +23,49m
(επιφάνεια εδάφους: +22,72 έως +23,87m)
- **Σταθμός Πανεπιστήμιο** → +18,05m έως +28,64m
(επιφάνεια εδάφους: +24,89 έως +28,77m)
- **TBM Πανεπιστήμιο – Παπάφη (μέχρι ΧΘ 3+630)** → +26,49m έως +28,35m
(επιφάνεια εδάφους: +28,95 έως +30,34m)

Από τα παραπάνω είναι εμφανής η παρουσία του αρτεσιανού υδροφόρου ο οποίος και οδηγεί στις μεγάλες διακυμάνσεις της στάθμης που εντοπίζονται από τον Σταθμό Σιντριβάνι και μετά.

2.2.6. Τμήμα Β

Τεχνητές Επιχώσεις

Η Ενότητα των **Τεχνητών Επιχώσεων** εντοπίζεται καθόλο το μήκος του συνολικού τμήματος που αξιολογείται και αποτελείται κυρίως από μαλακές έως τοπικά σταθερές, καστανές έως σκούρες καστανές, αμμώδεις **ΑΡΓΙΛΟΥΣ (CL-CI)** χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας, με χαλίκια, από χαλαρές έως μέτρια πυκνές, ανοιχτές καστανές έως καστανοπράσινες, αργιλώδεις **ΑΜΜΟΥΣ (SC)** με χάλικες καθώς και από επίσης χαλαρούς έως μέτρια πυκνούς, αργιλώδεις **ΧΑΛΙΚΕΣ (GC)** με άμμο. Στο εσωτερικό των παραπάνω υλικών εντοπίζονται και τεμάχια κεραμικών και τούβλων. Το πάχος της Ενότητας των Επιχώσεων δεν παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις κατά μήκος του Τμήματος Β. Πιο συγκεκριμένα στο **Υποτμήμα 1** το πάχος της Ενότητας διατηρείται περίπου σταθερό καθώς κυμαίνεται από 2 – 3m. Στο **Υποτμήμα 2** το πάχος των επιχώσεων αυξάνει και κυμαίνεται από 2 – 4.5m, ενώ τοπικά φτάνει και τα 6m. Τέλος στο **Υποτμήμα 3** το πάχος διατηρείται στα επίπεδα του προηγούμενου Υποτμήματος κυμαινόμενο μεταξύ 2 και 4m.

Επισημαίνεται ότι στο εσωτερικό των Επιχώσεων δεν εντοπίζονται κενά (αγωγοί, πηγάδια, κλπ), όπως στο Τμήμα Α, πιθανότατα λόγω του σημαντικά μικρότερου πάχους που παρουσιάζει η Ενότητα των Επιχώσεων κατά μήκος του συνόλου του Τμήματος Β.

Τεταρτογενείς Αποθέσεις

Η Γεωλογική Ενότητα των Τεταρτογενών Αποθέσεων, η οποία εντοπίζεται συστηματικά κάτω από την Ενότητα των Επιχώσεων, αποτελείται από κανονικά στερεοποιημένους σχηματισμούς, χαμηλών αντοχών / πυκνοτήτων και σχετικά υψηλής συμπίεστότητας. Οι σχηματισμοί που συνιστούν την Ενότητα είναι μαλακές έως σιφρές, σκούρες έως ανοιχτές καστανές, αμμώδεις **ΑΡΓΙΛΟΙ (CL)** χαμηλής έως τοπικά μέσης πλαστικότητας, τοπικά με χάλικες, χαλαρές έως τοπικά μέτρια πυκνές, **ΑΜΜΟΙ (SC-SM)** με χάλικες και χαλαροί έως μέτρια πυκνοί αργιλώδεις / ιλυώδεις **ΧΑΛΙΚΕΣ (GC-GM)** με άμμο. Αυτοί οι Γεωτεχνικοί Σχηματισμοί δεν εμφανίζονται σε συνεχείς στρώσεις σημαντικού πάχους, με αποτέλεσμα να μην αναπτύσσεται μια σαφής στρωματογραφία.

Το πάχος της Γεωλογικής Ενότητας των Τεταρτογενών αποθέσεων ποικίλει κατά μήκος του Τμήματος Β. Συγκεκριμένα, στο Υπομήμα 1, μεταξύ των Σταθμών Πανεπιστήμιο και Παπάφη, οι Τεταρτογενείς σχηματισμοί εμφανίζουν το μικρότερο πάχος τους, το οποίο αυξάνει σταδιακά κατά μήκος του Υπομήματος 2, μεταξύ του Σταθμού Παπάφη και της Διασταύρωσης Αναλήψεως, για να εμφανίσει το μέγιστο πάχος του στο Υπομήμα 3 που εκτείνεται από την Διασταύρωση Αναλήψεως έως τον Σταθμό Βούλγαρη.

Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά

Η Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά, συνίσταται από σταθερές έως πολύ στιφρές και κατά τόπους σκληρές ασβεστιτικές **ΑΡΓΙΛΟΥΣ (CI-CH)** μέσης έως υψηλής πλαστικότητας, με ενστρώσεις από **ΙΛΥΕΣ (ML)** έως ελαστικές **ΙΛΥΕΣ (MH)** και από μέτρια πυκνές έως πολύ πυκνές **ΑΜΜΟΥΣ (SC-SM)**. Τοπικά εμφανίζονται και πολύ ασθενείς έως ασθενείς **ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΙ, ΙΛΥΟΛΙΘΟΙ** και **ΨΑΜΜΙΤΕΣ**. Επιπλέον οι σχηματισμοί είναι υπερστερεοποιημένοι και παρουσιάζουν σχετικά υψηλές αντοχές, οι οποίες τοπικά φτάνουν στα επίπεδα αντοχής των ημιβράχων.

Η Ψαμμιτομαργαϊκή Ενότητα εμφανίζεται στα Υπομήματα 1 και 2 κάτω από την Ενότητα των Τεταρτογενών Αποθέσεων, ενώ παρουσιάζει το μέγιστο πάχος της στο Υπομήμα 2 όπου και εκτείνεται τουλάχιστον μέχρι το πέρας των γεωτρήσεων που ανορύχθηκαν. Κατά μήκος του Υπομήματος 1, η Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά υπέρκειται την Ενότητας των Ερυθρών Αργίλων και ως εκ τούτου το πάχος της είναι περιορισμένο.

Σειρά ερυθρών αργίλων

Η Γεωλογική Ενότητα των Ερυθρών Αργίλων αποτελείται από υπερστερεοποιημένους σχηματισμούς και παρουσιάζει υψηλότερες αντοχές συγκριτικά με τις παραπάνω ενότητες. Πρόκειται για χερσαίες αποθέσεις, όπως πολύ στιφρές έως σκληρές, ερυθρές, **ΑΡΓΙΛΟΙ (CL-CI)** με άμμο, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας, έως ασθενείς **ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΙ**, με ασυνεχείς ενστρώσεις πολύ στιφρών έως σκληρών, καστανέρυθρων, αμμωδών **ΙΛΥΩΝ (ML)** χαμηλής πλαστικότητας.

Η Ενότητα των Ερυθρών Αργίλων εμφανίζεται μόνο στο Υπομήμα 1 του Τμήματος Β κάτω από την Ψαμμιτομαργαϊκή Ενότητα και εκτείνεται ως το τέλος των γεωτρήσεων που διατρήθηκαν στο συγκεκριμένο Υπομήμα.

2.2.6.1. Υποτμήμα 1 (Χ.Θ. 3+630 – Χ.Θ. 4+250)

Στο **Υποτμήμα 1**, από τον Σταθμό Πανεπιστήμιο έως τον Σταθμό Παπάφη (Χ.Θ. 3+630 – Χ.Θ. 4+250), τα ιζήματα της Ενότητας των Τεταρτογενών αποθέσεων ομαδοποιούνται σε μια Γεωλογική Ενότητα που ονομάζεται **Ενότητα Α1**, η οποία διαχωρίζεται με τη σειρά της στις **Γεωτεχνικές Ενότητες Α1α, Α1β και Α1γ**. Ο παραπάνω διαχωρισμός βασίζεται αποκλειστικά και μόνο στη διαφορετική κοκκομετρία που εμφανίζουν τα ιζήματα των τριών Ενότητων (**Α1α: συνεκτική – Α1β: κοκκώδης – Α1γ: συνεκτική**) και όχι σε μεταβολή της αντοχής τους.

Συγκεκριμένα βρέθηκε ότι στη συνεκτική **Ενότητα Α1α** οι τιμές της αντοχής σε θλίψη, καθόλο το μήκος του **Τμήματος Β** κυμαίνονται από 23 – 412 kPa, στην κοκκώδη **Ενότητα Α1β** κυμαίνονται από 27 – 478 kPa, ενώ στην επίσης συνεκτική **Α1γ** η διακύμανση είναι από 38 – 591 kPa.

Στο **Υποτμήμα 1** τα υλικά που περιγράφηκαν ομαδοποιούνται στην **Γεωτεχνική Ενότητα Α1α**. Αναφορικά με το πάχος των Τεταρτογενών αποθέσεων αυτό κυμαίνεται από περίπου 1.40 έως 6.00m, ενώ το μέσο πάχος τους είναι περίπου 2.80m. Το βάθος επαφής της **Ενότητας Α1α** με την υποκείμενη **Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά**, κυμαίνεται από τα -3.30m έως τα -7.90m από την επιφάνεια του εδάφους.

Η υποκείμενη **Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά**, παρουσιάζει υψηλότερο βαθμό υπερστερεοποίησης (OCR) σε σύγκριση με τα Τεταρτογενή, μεγαλύτερη διαγένεση και υψηλότερες αντοχές. Τα ιζήματα της Νεογενούς, Ψαμμιτομαργαϊκής Σειράς ομαδοποιούνται στην **Ενότητα Β**. Στο Υποτμήμα 1 το πάχος των ιζημάτων της Ψαμμιτομαργαϊκής Σειράς κυμαίνεται από 7 έως 20m περίπου, ενώ το μέσο πάχος τους είναι περίπου 12.5m. Το βάθος επαφής της **Ενότητας Β** με την υποκείμενη **Ενότητα των Ερυθρών Αργίλων**, κυμαίνεται από τα -11.00m έως τα -26.00m από την επιφάνεια του εδάφους.

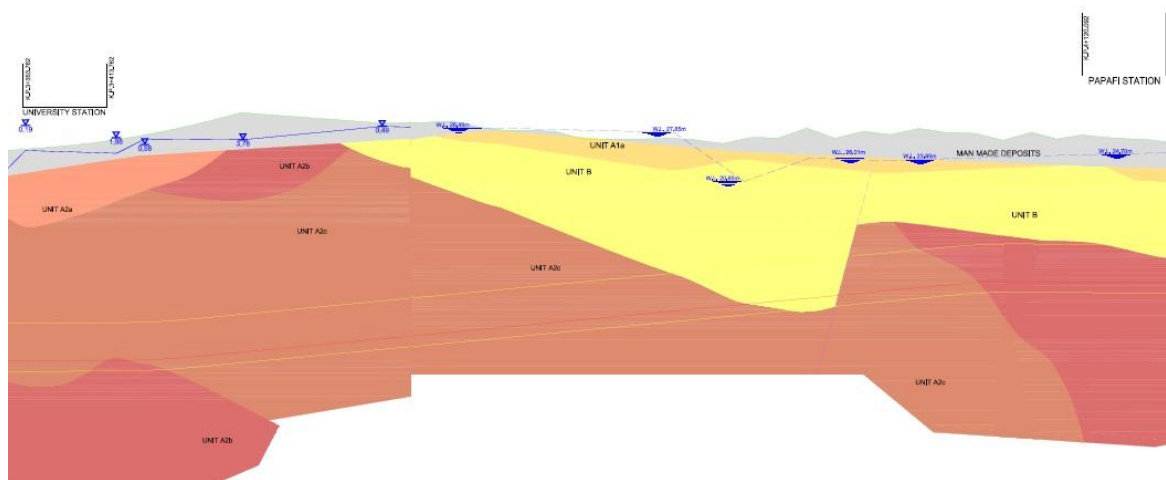
Η υποκείμενη **Ενότητα των Ερυθρών Αργίλων** παρουσιάζει τον υψηλότερο βαθμό διαγένεσης συγκριτικά με τις δύο προαναφερθείσες Γεωλογικές Ενότητες (Α1 και Β), με αποτέλεσμα να εμφανίζει και πολύ υψηλότερες αντοχές. Τα ιζήματα της Σειράς των Ερυθρών Αργίλων ομαδοποιούνται στην **Γεωλογική Ενότητα Α2**.

Τονίζεται ότι η **Γεωλογική Ενότητα Α2** παρουσιάζει μια διακύμανση των αντοχών των σχηματισμών της με αποτέλεσμα να χωρίζεται σε τρεις επί μέρους **Γεωτεχνικές Ενότητες**

A2α, A2β και A2γ. Η μέση αντοχή σε θλίψη στην **A2α** δεν ξεπερνά τα 300 kPa, στην **A2β** κυμαίνεται μεταξύ 300 – 600 kPa, ενώ στην **A2γ** ξεπερνάει τα 600 kPa και κυμαίνεται στα επίπεδα αντοχής ημιβράχων. Επισημαίνεται ότι ο παραπάνω διαχωρισμός στηρίζεται αποκλειστικά στις διαφορετικές αντοχές (μηχανικά χαρακτηριστικά) που εμφανίζουν οι γεωτεχνικοί σχηματισμοί από θέση σε θέση.

Επομένως, στο **Υπομήμα 1** της παρούσας Έκθεσης οι σχηματισμοί που εμφανίζονται στο τμήμα της Σήραγγας μεταξύ των **Σταθμών Πανεπιστήμιο – Παπάφη** παρουσιάζουν μέσες αντοχές σε θλίψη που ξεπερνούν τα 600 kPa και κατατάσσονται στην **Ενότητα A2γ**, ενώ στο **Σταθμό Παπάφη** οι μέσες αντοχές σε θλίψη μειώνονται και κυμαίνονται από 300 έως 600 kPa με αποτέλεσμα τα υλικά να ομαδοποιούνται στην **Ενότητα A2β**. Η Σειρά των Ερυθρών Αργίλων αποτελεί το εδαφικό υπόβαθρο της Θεσσαλονίκης και στο εν λόγω Υπομήμα εκτείνεται τουλάχιστον ως το πέρας των γεωτρήσεων (~40m) που εκτελέστηκαν. Η Ενότητα των Ερυθρών Αργίλων δεν εντοπίστηκε στα Υπομήματα 2 και 3.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο τμήμα της Σήραγγας μεταξύ των Σταθμών Πανεπιστήμιο – Παπάφη (πλησίον του Σταθμού Παπάφη) όπου υπάρχουν ενδείξεις παρουσίας κανονικού ρήγματος, όπως έντονη παρουσία επιφανειών ολίσθησης και απότομη μεταβολή του ορίου επαφής των Ενοτήτων A2 και B (από τα -25.90m στα -11.10m, περίπου 16m άλμα). Το εν λόγω ρήγμα δεν έχει επιφανειακή εμφάνιση, είναι πιθανά Νεογενούς ηλικίας και εκτιμάται ως ανενεργό.



Εικόνα 2–6, Γεωλογική μηκτομή του Υπομήματος 1B Πανεπιστήμιο – Παπάφη, Πηγή: Αττικό Μετρό

Γεωτεχνικά Χαρακτηριστικά

Οι Τεταρτογενείς Αποθέσεις (A1) είναι κανονικά στερεοποιημένες με συντελεστή υπερστερεοποίησης OCR περί το 1,0-1.2. Η αστράγγιστη διατμητική αντοχή κυμαίνεται γύρω στα 65KPa και τα μέτρα συμπίεστικότητας μεταξύ 30 και 50 MPa.

Η Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά είναι υπερστερεοποιημένη (OCR = 1.70 – 2.20). Οι ενεργές παράμετροι αντοχής κυμαίνονται μεταξύ $c' = 50 - 100$ KPa και $\phi' = 25 - 26^\circ$, ενώ η αστράγγιστη διατμητική αντοχή μεταξύ $c_u=100-250$ KPa. Τα μέτρα συμπίεστικότητας είναι γύρω στα 60 MPa.

Η Σειρά Ερυθρών Αργίλων είναι υπερστερεοποιημένη με OCR = 2,00 – 2.20. Οι ενεργές παράμετροι αντοχής κυμαίνονται μεταξύ $c' = 100 - 150$ KPa και $\phi' = 26 - 28^\circ$, ενώ η αστράγγιστη διατμητική αντοχή μεταξύ $c_u = 300 - 500$ KPa. Τα μέτρα συμπίεστικότητας κυμαίνονται μεταξύ 250 και 450 MPa.

Από τις δοκιμές διαπερατότητας που εκτελέστηκαν στις ενότητες του υποτιμήματος προκύπτει ότι η μέση τιμή των συντελεστών διαπερατότητας στη ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά (B) είναι της τάξης του 1×10^{-4} (συγκεκριμένα $3,18 \times 10^{-5}$), ενώ στις Ερυθρές Αργίλους (A2β και A2γ) κυμαίνονται από 5×10^{-6} έως 5×10^{-5} cm/sec αντίστοιχα. Αρκετά υψηλότερες είναι οι τιμές των συντελεστών στην ενότητα A1α (1×10^{-3}).

Τέλος, οι συντελεστές ώθησης σε ηρεμία K_0 , οι οποίοι μετρήθηκαν με το πρεσσιόμετρο στις ενότητες του υποτιμήματος κυμαίνονται από 0.56 έως 0.78 ανάλογα με την ενότητα.

ΕΝΟΤΗΤΑ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ							
	Χάλικες%		Άμμος%		Ιλύς%		Αργίλος%	
	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ
T.E.	--	--	--	--	--	--	--	--
ΕΝΟΤΗΤΑ A1α	1	27	29	48	39	65	20	
ΕΝΟΤΗΤΑ B	0	30	0	74	26	100	10	65
ΕΝΟΤΗΤΑ A2β	0	54	11	29	26	84	4	22
ΕΝΟΤΗΤΑ A2γ	0	47	8	45	26	92	2	15

ΕΝΟΤΗΤΑ	ΟΡΙΑ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ				ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ		ΦΑΙΝ. ΒΑΡΟΣ	
	PI%		LL%		w%		$\gamma_b(\text{KN/m}^3)$	
	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ
Τ.Ε.	---	---	---	---	---	---	---	---
ΕΝΟΤΗΤΑ Α1α	5,5	17,5	20	33	10,5	17,0	19.5	22.8
ΕΝΟΤΗΤΑ Β	4	49	22	75	14,5	36,8	17,0	22,0
ΕΝΟΤΗΤΑ Α2β	14,5	24,5	33,2	44,0	9,0	36.0	19.0	23,0
ΕΝΟΤΗΤΑ Α2γ	5	26	25,5	46,5	6,5	24,8	18,0	22,4

ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΥΠΟΤΜΗΜΑ 1 ΤΗΣ ΧΑΡΑΞΗΣ				
ΕΝΟΤΗΤΑ	c_u (kPa)	c' (kPa)	ϕ' (°)	E_s (Mpa)
A1α	80	20	28	35
B	100 - 200	50 – 100	25 -26	60
A2β	300	100	26	100
A2γ	450	150	28	350

Πίνακας 2–6, Διακύμανση των μέσων φυσικών χαρακτηριστικών των γεωτεχνικών ενοτήτων του Υποτμήματος 1(Χ.Θ. 3+630 έως Χ.Θ. 4+250), Πηγή: Αττικό Μετρό

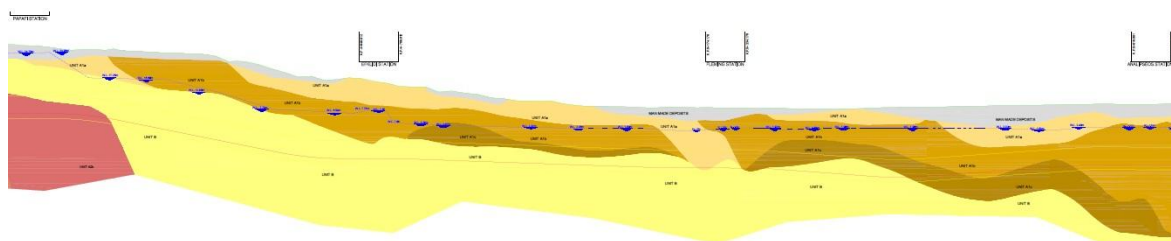
2.2.6.2. Υποτμήμα 2 (Χ.Θ. 4+250 – Χ.Θ. 5+880)

Στο **Υποτμήμα 2**, από τον Σταθμό Παπάφη έως την Διασταύρωση Αναλήψεως (Χ.Θ. 4+250 – Χ.Θ. 5+880), η Ενότητα των **Τεταρτογενών αποθέσεων (Ενότητα Α1)** παρουσιάζει πάχος το οποίο κυμαίνεται από περίπου 9.5m έως 25m, με το πάχος να αυξάνει προοδευτικά κατά μήκος της χάραξης (από Σταθμό Παπάφη προς Διασταύρωση Αναλήψεως), ενώ το μέσο πάχος της Ενότητας είναι περίπου 15m. Το βάθος επαφής της **Ενότητας Α1** με την υποκείμενη **Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά (Ενότητα Β)** επίσης αυξάνει προοδευτικά κατά μήκος της χάραξης και κυμαίνεται από τα -11.5m έως τα -27m από την επιφάνεια του εδάφους.

Οι άργιλοι, ανάλογα με το βάθος εμφάνισής τους, ομαδοποιούνται στις **Γεωτεχνικές Ενότητες Α1α και Α1γ**, με τις άμμους και τους χάλικες να παρεμβάλλονται μεταξύ των

δύο και να ομαδοποιούνται στην **Γεωτεχνική Ενότητα Α1β**. Τονίζεται ότι οι άργιλοι της υποκείμενης **Ενότητας Α1γ** παρουσιάζουν ελαφρώς αυξημένη αντοχή σε θλίψη συγκριτικά με αυτές τις **Α1α**, κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο καθώς πρόκειται για κανονικά στερεοποιημένους σχηματισμούς των οποίων η αντοχή σε θλίψη αυξάνει με το βάθος. Επίσης εντός των συνεκτικών **Ενοτήτων Α1α και Α1γ** εντοπίζονται κατά τόπους και ενστρώσεις κοκκωδών ιζημάτων (άμμων και χαλικών). Και οι τρεις **Γεωτεχνικές Ενότητες Α1α, Α1β και Α1γ** εντοπίζονται καθόλο το μήκος του **Υποτμήματος 2** με εξαίρεση το τμήμα από Σταθμό Πανεπιστήμιο (Χ.Θ. 3+630) έως Σταθμό Ευκλείδη όπου εμφανίζεται μόνο η **Ενότητα Α1α**.

Η υποκείμενη **Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά (Ενότητα Β)** εκτείνεται ως το πέρας των γεωτρήσεων που διατρήθηκαν (~40m). Στο **Υποτμήμα 2** οι Νεογενείς Γεωτεχνικοί Σχηματισμοί που συνιστούν την **Ενότητα Β** είναι στιφρές έως σκληρές, ανοιχτές καστανές έως μπλε, ασβεστιτικές **ΑΡΓΙΛΟΙ (CI-CH)** έως αμμώδεις **ΑΡΓΙΛΟΙ**, μέσης έως υψηλής πλαστικότητας, έως ασθενείς **ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΙ / ΙΛΥΟΛΙΘΟΙ** και στιφρές έως σκληρές, μπλε **ΙΛΥΕΣ (ML-MH)**, χαμηλής έως υψηλής πλαστικότητας, με ενστρώσεις, πυκνών έως πολύ πυκνών, ανοιχτών καστανών, αργιλωδών / ιλυωδών **ΑΜΜΩΝ (SC-SM)** με χάλικες έως και πολύ ασθενών **ΨΑΜΜΙΤΩΝ**.



Εικόνα 2-7, Γεωλογική μηκοτομή του Υποτμήματος 2B Παπάφη – Αναλήψεως, Πηγή: Αττικό Μετρό

Γεωτεχνικά Χαρακτηριστικά

Το δεύτερο υποτμήμα της χάραξης καλύπτεται από σχηματισμούς τόσο του Τεταρτογενούς (Ενότητα Α1) όσον και των Νεογενών της Ψαμμιτομαργαϊκής Σειράς (Β). Κάτω από τις επιφανειακές Τεχνητές Επιχώσεις συναντώνται οι πρόσφατες τεταρτογενείς αποθέσεις οι οποίες διακρίνονται στις γεωτεχνικές ενότητες Α1α, Α1β και Α1γ ανάλογα με την κοκκομετρική σύνθεσή τους ως εξής:

Οι ενότητες A1α και A1γ είναι συνεκτικές (αμμώδεις άργιλοι και βαθύτερα εναλλαγές αμμώδων αργίλων με αργιλώδεις / ιλυώδεις άμμους), ενώ η A1β είναι μη συνεκτική (αργιλώδεις / ιλυώδεις άμμοι - χάλικες).

Οι τεταρτογενείς αποθέσεις είναι κανονικά στερεοποιημένες (OCR=1.0) και τα μηχανικά χαρακτηριστικά αυξάνουν με το βάθος. Η αστράγγιστη διατμητική αντοχή στις συνεκτικές ενότητες κυμαίνεται μεταξύ $c_u = 60 - 100$ KPa ανάλογα με την θέση ενώ οι ενεργές παράμετροι αντοχής κυμαίνονται μεταξύ $c' = 15 - 25$ KPa και $\phi' = 26 - 28^\circ$. Τα μέτρα συμπίεστικότητας κυμαίνονται από 15 έως 55MPa.

Η Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά είναι υπερστερεοποιημένη (OCR = 1.80 – 2.20). Οι ενεργές παράμετροι αντοχής κυμαίνονται μεταξύ $c' = 40 - 65$ KPa και $\phi' = 25 - 28^\circ$ ενώ η αστράγγιστη διατμητική αντοχή μεταξύ $c_u = 150 - 200$ KPa. Τα μέτρα συμπίεστικότητας κυμαίνονται μεταξύ 70 και 130 MPa.

Από τις δοκιμές διαπερατότητας που εκτελέστηκαν στις επι μέρους ενότητες προκύπτει ότι οι μέσες προκύπτουσες τιμές των συντελεστών διαπερατότητας στις τεταρτογενείς (A1α, A1β) δεν διαφέρουν ιδιαίτερα παρά την ελαφρώς διαφορετική κοκκομετρία τους και κυμαίνονται γύρω στο 1×10^{-4} cm/sec. Η ενότητα A1γ του τεταρτογενούς καθώς και η ψαμμιτομαργαϊκή σειρά παρουσιάζουν περίπου της ίδιας τάξης μεγέθους διαπερατότητα ($K=1 \times 10^{-5}$ cm/sec).

Τέλος, οι συντελεστές ώθησης σε ηρεμία K_0 , οι οποίοι εκτιμήθηκαν από τις πρεσσιομετρικές δοκιμές, κυμαίνονται από 0.30 έως 0.94 ανάλογα με τη ενότητα.

ΕΝΟΤΗΤΑ A2β	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ							
	Χάλικες%		Άμμος%		Ιλύς%		Άργιλος%	
	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ
Τ.Ε.	1	40	18	39	28	76	11	
ΕΝΟΤΗΤΑ A1α	0	55	15	66	12	84	6	34
ΕΝΟΤΗΤΑ A1β	0	77	11	95	1	81	1	35
ΕΝΟΤΗΤΑ A1γ	0	37	17	51	17	80	13	45
ΕΝΟΤΗΤΑ B	0	1370	0	94	6	100	3	70

ΕΝΟΤΗΤΑ	ΟΡΙΑ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ				ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ		ΦΑΙΝ. ΒΑΡΟΣ	
	PI%		LL%		w%		$\gamma_v(\text{KN/m}^3)$	
	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ
Τ.Ε.	NP	13	21,5	29,7	9,60		20,1	21,9
ΕΝΟΤΗΤΑ Α1α	5,6	16,6	24,9	35,1	9,3	20,5	20,4	22,6
ΕΝΟΤΗΤΑ Α1β	NP	37,0	19,7	31,1	8,5	22,7	20,6	23,6
ΕΝΟΤΗΤΑ Α1γ	6,0	20,8	24,0	43,0	13,4	31,6	19,0	22,4
ΕΝΟΤΗΤΑ Β	NP	47	24	92	7,7	87,0	15,4	23,7

ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΥΠΟΤΜΗΜΑ 2 ΤΗΣ ΧΑΡΑΞΗΣ ΑΠΟ Χ.Θ. 4+250 ΕΩΣ Χ.Θ. 5+880				
ΕΝΟΤΗΤΑ	c_u (kPa)	c' (kPa)	ϕ' ($^\circ$)	E_s (Mpa)
A1α	60 - 100	15 - 20	26 - 28	15 - 30
A1β	40 - 70	5 - 10	31 - 35	30 - 80 (τοπικά 10)
A1γ	80 - 100	20 - 25	27 - 28	30 - 55
B	150 - 200	40 - 65	25 - 28	70 - 130

Πίνακας 2-7, Διακύμανση των μέσων φυσικών χαρακτηριστικών των γεωτεχνικών ενοτήτων του Υποτμήματος 2 (Χ.Θ. 4+250 έως Χ.Θ. 5+880), Πηγή: Αττικό Μετρό

2.2.6.3. Υδρογεωλογικές συνθήκες τμήματος Β

Στο σύνολο του τμήματος από Χ.Θ. 3+630 έως Χ.Θ. 7+140 που μελετάται, εκτελέστηκαν συνολικά πενήντα οκτώ (58) γεωτρήσεις στις οποίες και τοποθετήθηκαν πιεζόμετρα ανοιχτού τύπου για την παρακολούθηση της διακύμανσης της στάθμης του υπόγειου νερού. Οι μετρήσεις της στάθμης δίνονται υπό την μορφή απόλυτων υψομέτρων της στάθμης του υδροφόρου.

Στο **Υποτμήμα 1** από τον Σταθμό Πανεπιστήμιο έως τον Σταθμό Παπάφη (Χ.Θ. 3+630 – Χ.Θ. 4+250) τοποθετήθηκαν συνολικά οκτώ (8) πιεζόμετρα. Στην αρχή του Υποτμήματος 1 και μέχρι και τον Σταθμό Παπάφη αναπτύσσεται αρτεσιανός υδροφόρος. Η πιεζομετρική επιφάνεια αυτού του υδροφόρου βρίσκεται πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους στον Σταθμό Παπάφη, ενώ κατά τόπους όπως στην σήραγγα από τον Σταθμό Πανεπιστήμιο έως και τον Σταθμό Παπάφη, εκδηλώνονται επιφανειακές ροές μικρής παροχής. Εκτιμάται ότι

πρόκειται για τον ίδιο αρτεσιανό υδροφόρο που περιγράφηκε στο Υποτμήμα 3 του Τμήματος Α, ο οποίος αναπτύσσεται σε βάθη μεγαλύτερα των 25 – 30m από την επιφάνεια του εδάφους.

Συγκεκριμένα η στάθμη του υπόγειου νερού παρουσιάζει τις παρακάτω διακυμάνσεις στα παρακάτω τμήματα:

- **TBM Πανεπιστήμιο – Παπάφη** → +20,72m έως +28,79m
(επιφάνεια εδάφους: +26,22 έως +30,69m)
- **Σταθμός Παπάφη** → +20,37m έως +25,38m
(επιφάνεια εδάφους: +25,48 έως +25,62m)
- **TBM Παπάφη – Ευκλείδη** → +17,20m έως +18,59m
(επιφάνεια εδάφους: +26,02m)

Από τα παραπάνω είναι εμφανής η παρουσία του αρτεσιανού υδροφόρου ο οποίος και οδηγεί στις μεγάλες διακυμάνσεις της στάθμης που εντοπίζονται τόσο στον Σταθμό Παπάφη όσο και στο τμήμα της Σήραγγας μεταξύ των Σταθμών Πανεπιστήμιο και Παπάφη. Από τον Σταθμό Παπάφη και μετά οι μεγάλες διακυμάνσεις της στάθμης σταματούν και η φρεατική γραμμή του μόνιμου ελεύθερου υδροφόρου της περιοχής εντοπίζεται περί τα +17.50 έως +18.50m.

Στο **Υποτμήμα 2** από τον Σταθμό Παπάφη έως την Διασταύρωση Αναλήψεως (Χ.Θ. 4+250 – Χ.Θ. 5+880) τοποθετήθηκαν συνολικά εικοσιέξι (26) πιεζόμετρα. Η στάθμη του υπόγειου νερού δεν παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές σε κάθε επί μέρους Σταθμό / Σήραγγα. Εξάιρεση φαίνεται να παρουσιάζει το τμήμα της Σήραγγας μεταξύ των Σταθμών Παπάφη και Ευκλείδη όπου η στάθμη εμφανίζει μια συνεχή πτώση. Επιπλέον, από τον Σταθμό Ευκλείδη και μέχρι και το τέλος του Υποτμήματος 2 η στάθμη δεν παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές και εμφανίζεται περίπου σταθερή, ανεξάρτητα από τις όποιες μεταβολές του υψομέτρου του φυσικού εδάφους.

Συγκεκριμένα η στάθμη παρουσιάζει τις παρακάτω διακυμάνσεις στα παρακάτω τμήματα:

- **TBM Παπάφη – Ευκλείδη** → +7,68m έως +17,26m
(επιφάνεια εδάφους: +19.39 έως +25.00m)
- **Σταθμός Ευκλείδη** → +6,46m έως +7,88m
(επιφάνεια εδάφους: +14.61 έως +19.10m)
- **TBM Ευκλείδη – Φλέμινγκ** → +1,85m έως +3,42m
(επιφάνεια εδάφους: +8.90 έως +14.61m)

- Σταθμός Φλέμινγκ → +1,29m έως +2,55m
(επιφάνεια εδάφους: +7.70 έως +8.71m)
- TBM Φλέμινγκ – Αναλήψεως → +1,53m έως +2,51m
(επιφάνεια εδάφους: +8.15 έως +9.65m)
- Σταθμός Αναλήψεως → +2,15m έως +2,64m
(επιφάνεια εδάφους: +9.00 έως +10.04m)

Από τις παραπάνω διακυμάνσεις επιβεβαιώνεται η συνεχής πτώση της στάθμης του υπόγειου νερού από την αρχή του Υποτμήματος 2 (~ +17.26m) και μέχρι και τον Σταθμό Ευκλείδη (~ +7.68m). Στη συνέχεια και μέχρι και το τέλος του Υποτμήματος 2 η στάθμη σταθεροποιείται περί το υψόμετρο των +2.50 έως +3.00m χωρίς σημαντικές μεταβολές.

Τονίζεται ότι σε κανένα σημείο κατά μήκος του Υποτμήματος 2 δεν εντοπίζονται φαινόμενα αρτεσιανισμού, με αποτέλεσμα οι στάθμες να αντιστοιχούν στην φρεατική γραμμή του μόνιμου υδροφόρου της περιοχής.

2.3. Γεωλογικές, Υδρογεωλογικές και Γεωτεχνικές συνθήκες λειτουργίας Μηχανήματος EPB στο Τμήμα ΝΣΣ - Αναλήψεως

2.3.1. Περιβάλλον εκσκαφής της σήραγγας

Φρέαρ TBM – Δημοκρατίας Διακλάδωση (Χ.Θ. ~ 0+186 – 0+443)

Η σήραγγα θα διανοιχθεί σε σταθερές έως στιφρές αμμώδεις αργίλους, αργιλώδεις άμμους και αργιλώδεις χάλικες με άμμο (Τεταρτογενείς αποθέσεις) με χαμηλών αντοχών (qu:80-150 kPa).

Δημοκρατίας Διακλάδωση – Σταθμός Αγίας Σοφίας (Χ.Θ. ~ 0+443– 1+908)

Στο περιβάλλον εκσκαφής της σήραγγας απαντώνται οι σχηματισμοί της Σειράς των Ερυθρών Αργίλων, οι οποίες συνίστανται από στιφρές έως σκληρές και τοπικά μόνο σταθερές αμμώδεις αργίλους χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας. Οι σχηματισμοί της Σειράς των Ερυθρών Αργίλων που θα σκάψει το EPB ανήκουν στις γεωτεχνικές ενότητες A2β και A2γ.

Στο τμήμα της σήραγγας μεταξύ των χ.θ. ~1+000 και χ.θ. ~1+100 στο άνω τμήμα της διατομής της σήραγγας αναμένονται τεταρτογενείς αποθέσεις.

Σταθμός Αγίας Σοφίας – Σταθμός Πανεπιστήμιο (Χ.Θ. ~ 1+908– 3+630)

Στο περιβάλλον εκσκαφής της σήραγγας αναμένονται κυρίως ημιβραχώδεις σχηματισμοί της Σειράς των Ερυθρών Αργίλων. Οι Ερυθρές Άργιλοι συνίστανται από στιφρές έως σκληρές και τοπικά μόνο σταθερές αμμώδεις αργίλους χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας. Κατά θέσεις εμφανίζονται υπό τη μορφή αργιολίθων και ιλυολίθων ενώ συχνά εντοπίζονται και χαλαρά έως και τοπικά ισχυρά συνδεδεμένα κροκαλοπαγή.

Σταθμός Πανεπιστήμιο – Σταθμός Παπάφη (Χ.Θ. ~ 3+630– 4+250)

Αρχικά και μέχρι τη χ.θ. 3+830 η εκσκαφή της σήραγγας θα γίνει εντός των στιφρών έως σκληρών και τοπικά μόνο σταθερών χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας αμμωδών αργίλων της ενότητας των Ερυθρών Αργίλων. Κατά θέσεις οι ερυθρές άργιλοι εμφανίζονται υπό τη

μορφή αργιολίθων και ιλυολίθων ενώ συχνά εντοπίζονται και χαλαρά έως και τοπικά ισχυρά συνδεδεμένα κροκαλοπαγή. Οι σχηματισμοί αυτοί ανήκουν στη γεωτεχνική ενότητα Α2γ.

Στη συνέχεια και μέχρι τη χ.θ. 3+950 (πιθανή θέση ρήγματος) η σήραγγα διέρχεται μέσα από τους σχηματισμούς της Ψαμμιτομαργαϊκής Σειράς, η οποία συνίσταται από σταθερές έως πολύ στιφρές, ασβεστιτικές αργίλους (CI-CH) μέσης έως υψηλής πλαστικότητας κυρίως, έως εντελώς τοπικά ασθενείς αργιολίθους, με τοπικές και ασυνεχείς ενστρώσεις σταθερών έως στιφρών, μπεζ, ελαστικών ιλύων (MH) και μέτρια πυκνών έως πυκνών, καστανών, ιλυωδών άμμων (SM).

Μετά τη χ.θ. 3+950 και μέχρι το τέλος του τμήματος η σήραγγα θα διανοιχθεί σε σχηματισμούς της γεωτεχνικής ενότητας Α2β της Σειράς των Ερυθρών αργίλων.

Σταθμός Παπάφη – Διασταύρωση Αναλήψεως (Χ.Θ. ~ 4+250– 5+880)

Η εκσκαφή της σήραγγας από το σταθμό Παπάφη μέχρι το σταθμό Ευκλείδη θα πραγματοποιηθεί στους σχηματισμούς της Ψαμμιτομαργαϊκής Σειράς. Στη συνέχεια από το σταθμό Ευκλείδη και μέχρι τη χ.θ. ~ 5+450 στο κάτω ήμισυ της διατομής της σήραγγας θα συναντηθούν οι σχηματισμοί της Ψαμμιτομαργαϊκής Σειράς, ενώ στο άνω ήμισυ Τεταρτογενείς αποθέσεις. Με τις τελευταίες να συνίστανται από σταθερές έως στιφρές αμμώδεις αργίλους, αργιλώδεις άμμους και αργιλώδεις χάλικες με άμμο. Τέλος, από τη χ.θ. 5+450 και μέχρι τη Διασταύρωση Αναλήψεως η σήραγγα διέρχεται από σχηματισμούς του Τεταρτογενούς.

3.4.2 Παρουσία ιδιαίτερων συνθηκών κατά την εκσκαφή

- Κολλώδης συμπεριφορά και τάση δημιουργίας συσσωματωμάτων των γεωυλικών

Γενικά στο επίπεδο της σήραγγας επικρατούν γεωυλικά που έχουν χαμηλή τάση επικόλλησης. Γεωυλικά που θα παρουσιάζουν υψηλή τάση επικόλλησης, τα οποία πάντως θα είναι περιορισμένα σε αριθμό, εκτιμάται ότι θα συναντηθούν στο τμήμα της σήραγγας μεταξύ των σταθμών Παπάφη και Φλέμινγκ (χ.θ. 4+100 – 5+500).

Επιπλέον, στο επίπεδο της σήραγγας επικρατούν γεωυλικά που έχουν μέση τάση δημιουργίας συσσωματωμάτων. Γεωυλικά που θα παρουσιάζουν υψηλή τάση δημιουργίας

συσσωματωμάτων εκτιμάται ότι πρόκειται να συναντηθούν από τη χ.θ. ~0+500 έως χ.θ. ~0+900 και από τη χ.θ. 3+900 έως χ.θ. ~ 5+300.

- Εντοπισμός κενών κατά μήκος της χάραξης

Όσον αφορά στην πιθανότητα ύπαρξης κενών κατά μήκος της σήραγγας, εκτιμάται ότι πιθανή είναι παρουσία τους εντός της ενότητας των Τεχνητών Επιχώσεων και κυρίως στο τμήμα Α της σήραγγας (Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός Διασταύρωση – Σταθμός Πανεπιστήμιο) λόγω του μεγαλύτερου πάχους της ενότητας αυτής.

Το γνωστό κενό το οποίο συναντάται εντός της χάραξης της σήραγγας χρειάζεται να αντιμετωπιστεί πριν τη διέλευση του TBM, με πλήρωση, όταν είναι δυνατό, και/ ή έκχυση, και/ ή βελτίωση εδάφους, όπου οι διατρήσεις συναντήσουν την κοιλότητα.

- Εντοπισμός τεμαχίων πετρωμάτων και ογκολίθων κατά μήκος της χάραξης

Σύμφωνα με το Βρετανικό σύστημα ταξινόμησης (BS5930:1999) τα εδαφικά στρώματα με κύριο συστατικό αδρομερέστερο από τα χαλίκια, περιγράφονται ως τεμάχη πετρωμάτων (cobble) όταν $6 \text{ cm} < d < 20 \text{ cm}$ ή ογκόλιθοι (boulders) όταν $d > 20 \text{ cm}$.

Στη περίπτωση του Μετρό Θεσσαλονίκης εκτιμάται ότι δεν αναμένεται παρουσία ογκολίθων στο περιβάλλον εκσκαφής των σηράγγων TBM. Όσον αφορά στη παρουσία τεμαχών, αυτά δύναται να συναντηθούν στα τμήματα της σήραγγας που αναμένονται να διανοιχθούν στις Τεταρτογενείς αποθέσεις και στη Σειρά Ερυθρών Αργίλων.

- Συνθήκες μικτού μετώπου

Δυσκολίες μπορεί να αντιμετωπίσει ένα μηχάνημα διάνοιξης σηράγγων (TBM) όταν κατά την λειτουργία του συναντήσει στο ίδιο μέτωπο εκσκαφής γεωυλικά με σημαντικές μεταβολές στην ποιότητάς τους. Ειδικότερα όταν φτωχότερης ποιότητας γεωυλικά υπέρκεινται ανθεκτικότερων γεωυλικών. Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να προβλεφθεί απώλεια πίεσης κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Στα μηχανήματα εδαφικής εξισορροπητικής πίεσης αυτό αντιμετωπίζεται με το σύστημα AFS (Additional Face Support).

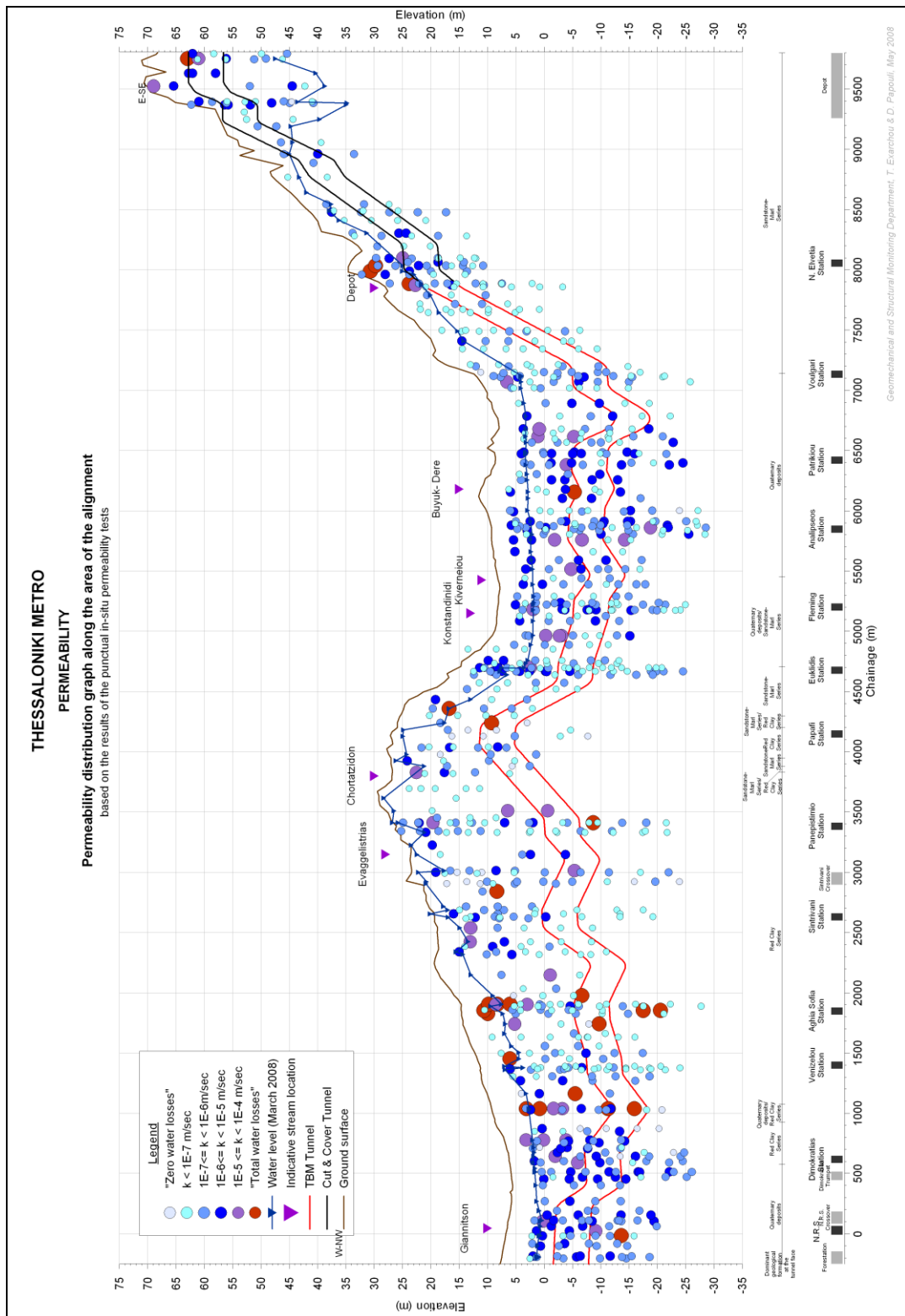
Στη περίπτωση του Μετρό Θεσσαλονίκης δεν αναμένονται σημαντικές μεταβολές στη ποιότητα των γεωυλικών στο ίδιο μέτωπο εκσκαφής, δηλαδή δεν πρόκειται για τις τυπικές μεικτές συνθήκες μετώπου εκσκαφής όπως αυτές αναγράφονται στη διεθνή βιβλιογραφία.

Ωστόσο, υπάρχουν τμήματα της σήραγγας στα οποία αναμένονται να συναντηθούν διαφορετικής ποιότητας γεωυλικά στο ίδιο μέτωπο εκσκαφής και αυτά είναι τα παρακάτω:

- χ.θ. ~1+000 - 1+100: Στο άνω τμήμα της διατομής αναμένονται τεταρτογενείς αποθέσεις και στο κάτω τμήμα της οι σχηματισμοί της Σειράς των Ερυθρών Αργίλων.
- χ.θ. ~3+830 - 3+880: Το άνω ήμισυ της διατομής της σήραγγας πρόκειται να εκσκαφθεί στα γεωυλικά της Ψαμμιτομαργαϊκής Σειράς και το κάτω ήμισυ στους σχηματισμούς της Σειράς Ερυθρών Αργίλων.
- χ.θ. ~4+200 - 4+300: Στο άνω ήμισυ της διατομής της σήραγγας αναμένεται ενότητα της Ψαμμιτομαργαϊκής Σειράς και στο κάτω ήμισυ της Σειράς Ερυθρών Αργίλων.
- χ.θ. ~ 4+708 - 5+450: Στο άνω ήμισυ της διατομής της σήραγγας συναντώνται τεταρτογενείς αποθέσεις και στο κάτω ήμισυ οι σχηματισμοί της Ψαμμιτομαργαϊκής Σειράς.

2.3.2. Περατότητα κατά μήκος της χάραξης

Οι τιμές περατότητας που επικρατούν κατά μήκος του έργου είναι μικρότερες από $1 \cdot 10^{-5}$ m/sec. Οι τιμές περατοτήτων που είναι μεγαλύτερες από $1 \cdot 10^{-5}$ m/sec παρατηρούνται κυρίως στη ζώνη των υπερκειμένων της σήραγγας μεταξύ των περιοχών Δημοκρατίας Διασταύρωση και σταθμός Συντριβάνι καθώς μεταξύ του Σταθμού Ευκλείδη και Σταθμός Πατρικίου. Όσον αφορά στο άμεσο περιβάλλον εκσκαφής της σήραγγας οι τιμές περατοτήτων που επικρατούν είναι μικρότερες από $1 \cdot 10^{-5}$ m/sec. Οι μεγαλύτερες τιμές περατοτήτων, οι οποίες είναι τοπικές και περιορισμένες σε αριθμό, παρατηρούνται μεταξύ των χ.θ. ~ 1+000 και χ.θ. ~ 2+000. Στο τμήμα αυτό επικρατούν οι σχηματισμοί της Σειράς Ερυθρών Αργίλων και οι γεωτεχνικές ενότητες Α2β και Α2γ. (Σχήμα 3-6)



Σχήμα 2-3, Κατανομή περατότητας κατά μήκος της χάραξης, Πηγή: Αττικό Μετρό

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Μηχανήματα εξισορρόπησης της εδαφικής πίεσης

3. Μηχανήματα εξισορρόπησης της εδαφικής πίεσης

3.1. Γενικά χαρακτηριστικά TBM

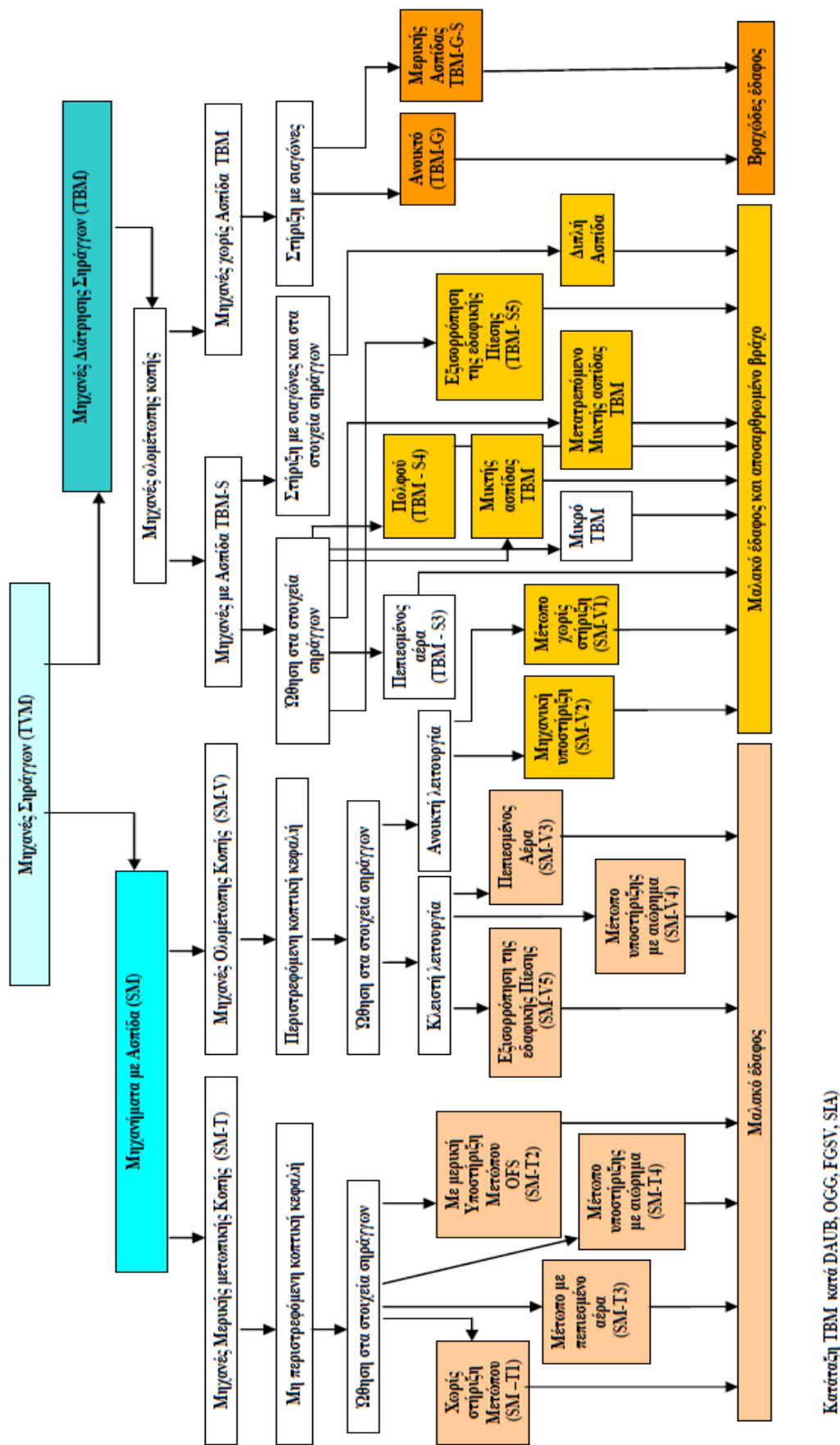
Τα Μηχανήματα Ολομέτωπης Διάνοιξης Σήραγγας (Σχήμα 3-1) με ασπίδα ή χωρίς (TBM), απομακρύνουν το σκληρό έδαφος εκσκαφής με τη χρήση των κοπτικών και προωθούν το μηχάνημα πιέζοντας τα προκατασκευασμένα στοιχεία ή υποστηρίζοντας τον ειδικό εξοπλισμό πλευρικών στοιχείων συγκράτησης του μηχανήματος.

Γενικά, η χρήση μίας μηχανής ολομέτωπης κοπής T.B.M. απαιτεί το μήκος της σήραγγας όπου θα χρησιμοποιηθεί να είναι μεγάλο. Αυτό οφείλεται τόσο στο κόστος αγοράς ενός τέτοιου μηχανήματος, όσο και στο κόστος συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησής του που είναι ιδιαίτερα σημαντικά. Επομένως, για να δικαιολογηθεί η αγορά του πρέπει να αποσβέσει τα χρήματα που δαπανήθηκαν, δηλαδή να διανοίξει μεγάλου μήκους σήραγγες.

Τα Μηχανήματα Ολομέτωπης κοπής με Ασπίδα “TBM – S”, είναι εξοπλισμένα με σώμα κλειστής ασπίδας και χρησιμοποιούνται σε εδάφη με συμπαγή βράχο καθώς και σε εδάφη με χαμηλή ευστάθεια μετώπου εκσκαφής (εύθραυστος βράχος).

Η μηχανή συνδυάζεται με ασπίδα για μικρούς χρόνους ευστάθειας του εδάφους. Η επιλογή του κατάλληλου τύπου μηχανής με ασπίδα εξαρτάται κυρίως από τις γεωλογικές συνθήκες. Όταν το έδαφος στο οποίο πρόκειται να διανοιχθεί η σήραγγα είναι χαμηλής αντοχής αντιμετωπίζονται έντονα προβλήματα καθιζήσεων στην επιφάνεια του εδάφους πάνω και γύρω από τη στέψη της σήραγγας. Το πρόβλημα γίνεται εντονότερο όταν το πάχος των υπερκειμένων είναι μικρό. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι δυνατό να δημιουργηθούν ζημιές στις υπερκείμενες κατασκευές (κτίρια, δρόμους κτλ.).

Σημαντικές λύσεις στα προβλήματα αυτού του τύπου ήρθαν να δώσουν τα μηχανήματα E.P.B. (Earth Pressure Balance). Τα μηχανήματα αυτά πιέζουν το μέτωπο της εκσκαφής χωρίς να το αφήνουν να χαλαρώσει. Έτσι αποτρέπουν τη μετάδοση μιας πιθανής χαλάρωσης πάνω και γύρω από τη σήραγγα, γεγονός που αποτελεί συνήθως την αιτία των επιφανειακών καθιζήσεων. Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους, όπως μικρή υδροπερατότητα, πλαστικά χαρακτηριστικά, μικρό υπερκείμενο και παρουσία κατασκευών στην επιφάνεια, απαιτούν την επιλογή μιας μηχανής ολομέτωπης κοπής με ασπίδα.



Κατάταξη TBM κατά DAUB, OGG, FGSV, SIA

Σχήμα 3-1, Ταξινόμηση των Μηχανών Διάνοιξης Σηράγγων, Πηγή: Σ.Κουκουτάς

3.2. Μηχάνημα Εξισορρόπησης της Εδαφικής Πίεσης (EPB)

3.2.1. Εδαφικές συνθήκες όπου χρησιμοποιείται το Ε.Ρ.Β.

Τα αργιλώδη - ιλυώδη και τα ιλυώδη - αμμώδη εδάφη με πολφώδη έως αραιή σύσταση είναι απόλυτα κατάλληλα για χρήση, μηχανής Ε.Ρ.Β. Ανάλογα με τη σύσταση του εδάφους, είτε δεν χρειάζεται καθόλου ανάμιξη νερού, είτε απαιτείται ελάχιστη ποσότητα.

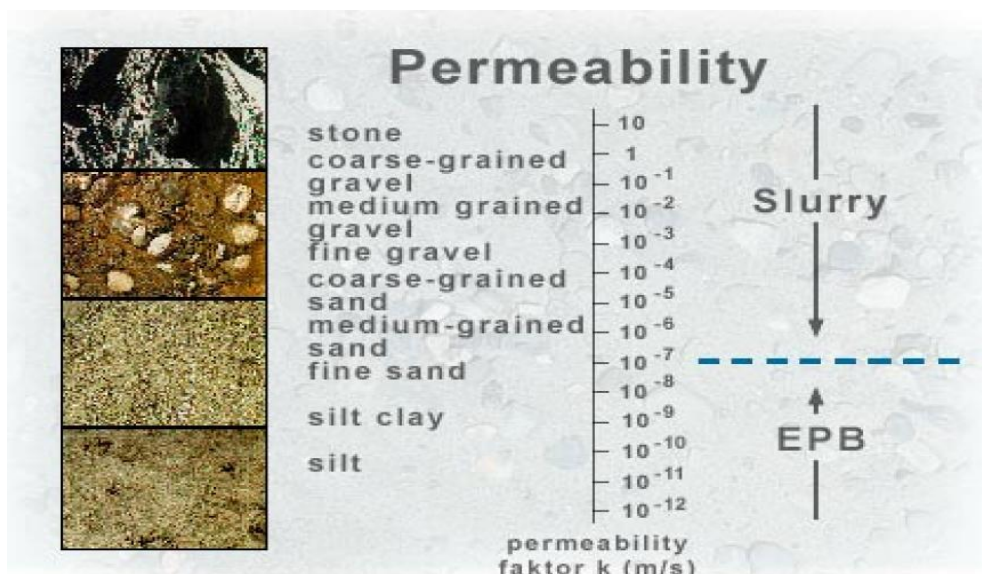
Οι καλύτερες εδαφικές συνθήκες συναντώνται όταν το υπό εκσκαφή έδαφος έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Καλή πλαστικότητα
- Πολφώδη έως αραιή σύσταση
- Μικρή γωνία εσωτερικής τριβής
- Μικρή διαπερατότητα

Γενικότερα, οι μηχανές Ε.Ρ.Β. είναι κατάλληλες σε μαλακά συνεκτικά εδάφη κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα καθώς έχουν εκτελέσει πολλές εργασίες με επιτυχία.

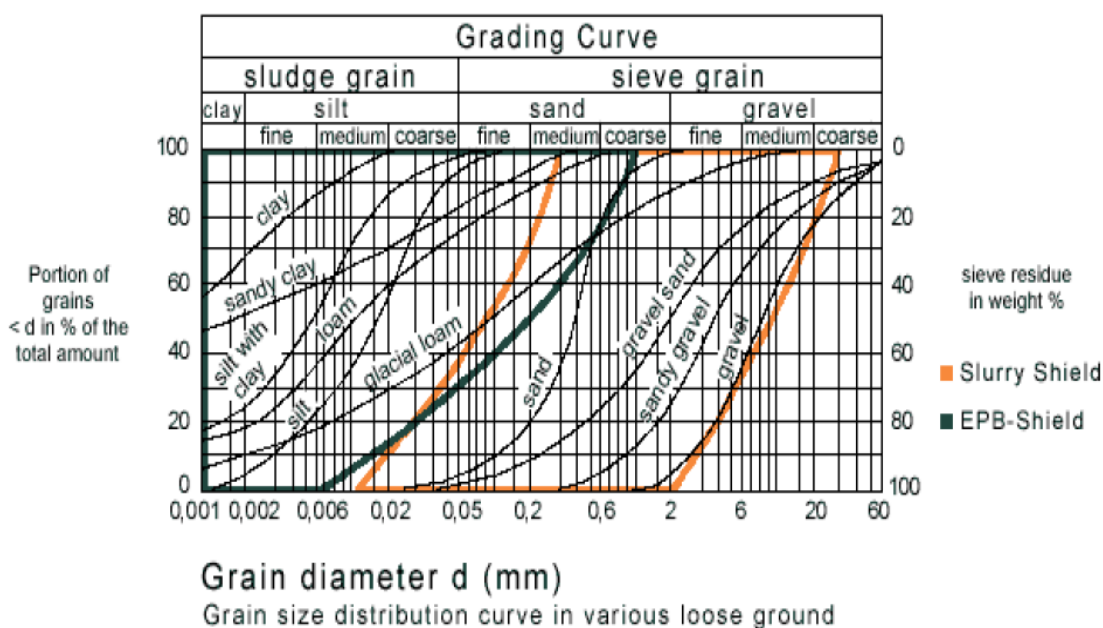
Τα κριτήρια για την επιλογή μιας μηχανής Ε.Ρ.Β. είναι:

- Η κοκκομετρική καμπύλη (μέγεθος κόκκου) του εδάφους
- Η διαπερατότητα του εδάφους (συντελεστής διαπερατότητας $k(m/s) < 10^{-5}$), (Σχήμα 3-2)
- Τα όρια σύστασης (περιεκτικότητα σε νερού (W), όριο υγρών (LL), δείκτης πλαστικότητας (PI, PL, Ic και άλλα) , αραιά έως μαλακά εδάφη
- Η ορυκτολογία του βράχου / αργίλου
- Η ποιότητα του εδάφους
- Η αντοχή του πετρώματος για βραχώδη εδάφη
- Το κοκκομετρικό κλάσμα των λεπτομερών εδαφών $< 60 \mu m$, άργιλος και ιλύς $> 25 - 30 \%$
- Πολύ μαλακές έως άκαμπτες άργιλοι / πολύ χαλαρές μέχρι μέτριες άμμοι: αριθμός κρούσεων N: 0 -15
- Γωνία εσωτερικής τριβής $\phi: 0 - 30^\circ$



Σχήμα 3-2, Εφαρμογές μηχανών Πολφού και EPB σε σχέση με το έδαφος, Πηγή: Αττικό Μετρό

Προκειμένου να επιτευχθούν καλύτερα αποτελέσματα μπορούν να εφαρμοστούν τεχνικές με χρήση αφρού έκχυσης ή μπεντονίτη στο μέτωπο της εκσκαφής. Αυτό προϋποθέτει την ολοκληρωμένη γνώση των γεωλογικών σχηματισμών. Πρόσθετοι ρυθμιστικοί παράγοντες απαιτούνται για να μειώσουν τη διαπερατότητα του εδάφους ακόμα και όταν υπάρχουν σχετικά μικρά επίπεδα πίεσης του υπογείου νερού (Σχήμα 3-2). Η πρόσθετη έκχυση ρυθμιστικών παραγόντων (αφρού η μπεντονίτη), δεν είναι αναγκαία εάν δεν υπάρχει υπόγειο νερό. Διαπερατότητα της τάξεως των 10^{-5} m/s, είναι ένα εμπειρικό όριο λειτουργίας του E.P.B. και μπορεί να ελεγχθεί με έκχυση μπεντονίτη ή άλλων πρόσθετων παραγόντων.



Σχήμα 3–3, Όρια εφαρμογής πρόσθετων ρυθμιστικών παραγόντων στο EPB, Πηγή: Σ. Κουκουτάς

Εάν το υλικό δεν είναι συνεκτικό, το ποσοστό του υλικού λίπανσης που απαιτείται είναι μικρότερο, επειδή το υλικό δεν έχει την τάση να κολλά στην κεφαλή κοπής και στον ατέρμονα κοχλία (όπως οι άμμοι). Τα κολλώδη, ιξώδη υλικά, όπως η άργιλος, έχουν την τάση να προσκολλούνται στον ατέρμονα κοχλία και να αντιστέκονται στην απόθεση τους στην πρώτη μεταφορική ταινία. (πηγή: Κουκουτάς, 2010)

Γεωτεχνικά	γ (kN/m ³)	PI	c' (kPa)	ϕ' ($^{\circ}$)	E(MPa)	q_u (MPa)	K(m/s)
Αλλουβιακές αποθέσεις	21	15	0.02	30	30	0.13-0.16	10^{-5} - 10^{-8}
Λατύπες	25	n/a	0.10	-	1000	2-20	10^{-6} - 10^{-8}
Μάργες	22	15-30	0.05	25	500	1.5-1.7	10^{-7} - 10^{-9}
Αθηναϊκος σχιστόλιθος	23	5-15	0.05-0.15	20-25	500-2000	0.5-2	10^{-5} - 10^{-8}

Πίνακας 3–1, Γεωτεχνική ταξινόμηση, μέσες τιμές παραμέτρων, Πηγή: Σ. Κουκουτάς

Όπου:

γ : πυκνότητα εν ξηρό

c' : συνοχή

E: μέτρο ελαστικότητας

K: συντελεστής υδροπερατότητας

PI: δείκτης πλαστικότητας

ϕ' : γωνία εσωτερικής τριβής

q_u : μονοαξονική αντοχή σε θλίψη

3.2.2. Περιγραφή Μηχανήματος Εξισορρόπησης Εδαφικής Πίεσης (EPB)

Το Μηχάνημα Εξισορρόπησης Εδαφικής Πίεσης (EPB) του διαφράγματος με διάμετρο εκσκαφής που κυμαίνεται από μικρή έως μέση, έχει εξελιχθεί σε προχωρημένο τεχνολογικό επίπεδο μηχανικής και καταλαμβάνει σήμερα τα δύο τρίτα της αγοράς των μηχανημάτων παγκοσμίως. Η τυπική διάμετρος του μηχανήματος κυμαίνεται από 2 έως 14 και πλέον μέτρα.

Αρχή λειτουργίας ασπίδας EPB

Τα μηχανήματα εδαφικής εξισορρόπησης πίεσης EPB (Earth-Pressure-Balance) χρησιμοποιούνται κυρίως σε συνεκτικά εδάφη με υψηλό ποσοστό αργίλου, πηλού ή ιλύος, τα οποία έχουν χαμηλό ποσοστό διαπερατότητας. Στην ασπίδα εδαφικής πίεσης, το γεωυλικό που αφαιρείται από τον τροχό κοπής χρησιμοποιείται για τη στήριξη του μετώπου εκσκαφής, για να αποφεύγονται καθιζήσεις ή ανοδικές μετατοπίσεις.

Για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί το γεωυλικό που αφαιρείται από το μέτωπο εκσκαφής ως μέσο στήριξης, πρέπει να έχει τις εξής ιδιότητες:

- καλή πλαστική δυνατότητα παραμόρφωσης
- υδαρή έως μαλακή σύσταση
- μειωμένη εσωτερική τριβή
- μειωμένη διαπερατότητα.

Κατά κανόνα αυτές οι ιδιότητες δεν υπάρχουν εξ' ολοκλήρου στα γεωυλικά ούτε πριν ούτε μετά την εκσκαφή. Συνεπώς, το υλικό πρέπει να βελτιωθεί με πρόσθετα όπως αφρός , ώστε να αποκτήσει τις συγκεκριμένες ιδιότητες και να μπορεί να προωθείται όπου αυτό απαιτείται.



Εικόνα 3-1, Κεφαλή μηχανήματος EPB σε ξετρύπημα σταθμού, Πηγή: Σ. Κουκουτάς

Υποστήριξη Μετώπου

Στο Μηχάνημα Εξισορρόπησης Εδαφικής Πίεσης (EPB), το μέσο υποστήριξης του μετώπου της σήραγγας είναι το εκσκαφθέν υλικό, το οποίο βελτιώνεται με υγρά πρόσθετα ή πλαστικοποιητές. Προκειμένου να επιτευχθεί επαρκής και ομοιόμορφη συνεκτικότητα

των υλικών εκσκαφής, εισπνέζονται υλικά σταθεροποίησης στο θάλαμο και μπροστά από την κεφαλή κοπής. Τα υλικά σταθεροποίησης προκαλούν ομογενοποίηση του εκσκαφθέντος υλικού. Τείνουν δε να μειώσουν την εμφανή πυκνότητα λόγω κακής πλήρωσης και επιπλέον οδηγούν σε μείωση της διατμητικής αντοχής της ιλύος. Τα υλικά σταθεροποίησης εφαρμόζονται επίσης προκειμένου η ιλύς να μην κολλήσει στην κεφαλή και στο θάλαμο κοπής.

Κατά την προχώρηση του EPB, η κατάσταση εξισορρόπησης επιτυγχάνεται όταν το έδαφος στο οποίο έχουν προστεθεί σταθεροποιητές στο θάλαμο της κεφαλής κοπής φθάσει στη μέγιστη πυκνότητα ώστε η ενεργή πίεση και ο όγκος του υλικού που εξάγεται από τον ατέρμονα κοχλία να εξισορροπεί το αντίστοιχο «θεωρητικό» υλικό που απομακρύνεται από την κεφαλή κοπής (Maidl et al. 1996). Η πίεση που εφαρμόζεται από το μέτωπο κοπής κατά την προώθηση των EPB πρέπει να αντιστοιχεί στην πίεση του εδάφους εκσκαφής, μειώνοντας έτσι την πιθανότητα να συμβούν περιστατικά που οδηγούν σε αστάθεια του μετώπου ή καθίζηση στην επιφάνεια.

Εισπίεση Αφρού

Ανάλογα με τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους, τα οποία θα εμφανιστούν κατά τη διάρκεια της εκσκαφής της σήραγγας, η δυνατότητα εκτίμησης των παραμέτρων ρύθμισης του αφρού είναι οι ακόλουθες:

- Λόγος Εισπίεσης Αφρού (FIR) 60%
- Λόγος Διόγκωσης Αφρού (FER) 8:1

Είναι σημαντικό να υπάρξει η σωστή επιλογή του λόγου εισπίεσης αφρού, για τη ρύθμιση των προϊόντων εκσκαφής. Σε υπερβολικά μεγάλη τιμή FIR, ο αφρός εντός του υλικού των προϊόντων εκσκαφής, είναι σε πλεόνασμα και δε μπορεί να ενσωματωθεί. Σε λόγο διόγκωσης αφρού 8:1, η ποσότητα του αέρα σε 1m³ αφρού θα είναι 8m³ και εάν ο λόγος εισπίεσης αφρού υπερβαίνει την περιοριστική τιμή, μέρος του αέρα θα είναι ελεύθερο να κινηθεί στο εσωτερικό του θαλάμου εκσκαφής που είναι υπό πίεση. Ο αφρός που χρησιμοποιείται στη διάνοιξη της σήραγγας είναι στην ουσία ένα αέριο, που διαχέεται στο υγρό υπό μορφή φυσαλίδων. Δημιουργείται με την χρήση δραστικού μέσου μείωσης της επιφανειακής τάσης, στο σημείο επαφής αέρα και ύδατος. Οι ιδιότητες του αφρού σχετίζονται με το ρυθμό διαστολής του. Η εφαρμογή του αφρού στο έδαφος εκσκαφής

αυξάνει την πλήρωση του θαλάμου κεφαλής κοπής, την ταχύτητα του μηχανήματος Διάνοιξης, ενώ μειώνει την τριβή και τη ροπή στρέψης.

Η χρήση πρόσμικτων σε αργιλώδη εδάφη αυξάνει την ταχύτητα διάνοιξης και μειώνει τα προβλήματα απόφραξης, κολλημάτων και μεταφοράς των υλικών εκσκαφής. Επίσης, η χρήση των πολυμερών βελτιώνει τη δομή στεγανότητας του εδάφους και μειώνει την περιεκτικότητα σε υγρό και τις καθιζήσεις.



Εικόνα 3–2, Κοπτική κεφαλή EPB, Πηγή: Αττικό Μετρό

Κοπτική κεφαλή

Η κοπτική τους κεφαλή (Εικόνα 3–2) είναι εξοπλισμένη με σκαπτικά εργαλεία όπως δίσκοι κοπής, σιαγώνες σύνθλιψης και σιαγώνες εκχωμάτωσης. Τα πρώτα χρησιμοποιούνται σε σχηματισμούς βράχου και πετρωμάτων, τα δεύτερα χρησιμοποιούνται στα αμμώδη εδάφη και τα τελευταία σε συνεκτικά εδάφη. Στις περιπτώσεις μικτών εδαφικών συνθηκών, η κοπτική κεφαλή πρέπει να εξοπλίζεται με εργαλεία διαφόρων τύπων.

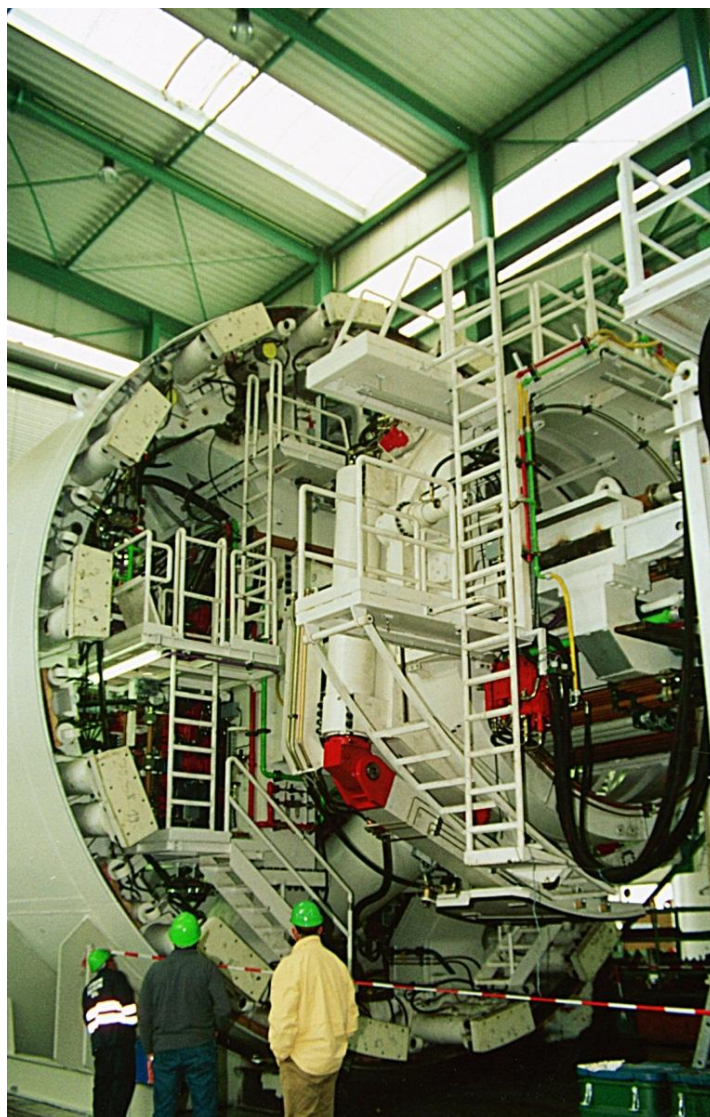
Ο σχεδιασμός της κοπτικής κεφαλής και του κεντρικού της τμήματος έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγεται η έμφραξη. Τα ανοίγματα στην κοπτική κεφαλή περιορίζουν το μέγεθος των τεμαχίων στο μέγεθος που μπορεί να διαχειριστούν τα ανοίγματα, οι βίδες και οι μιάντες μεταφοράς της κοπτικής κεφαλής, και ώστε να δημιουργείται ένα ασφαλές περιβάλλον εργασίας για το προσωπικό σχετικά με την πτώση τεμαχίων και την πιθανότητα κατάρρευσης κατά τη διάρκεια των εργασιών συντήρησης στο θάλαμο εργασίας. Κατά την περιστροφή το υλικό εκσκαφής μεταφέρεται μέσα από το κανάλι κάδων στο πίσω μέρος της κοπτικής κεφαλής.

Το εμπρόσθιο τμήμα του EPB φέρει τον παρακάτω εξοπλισμό (Εικόνα 3–3):

- Μετωπική επιφάνεια κοπτικής κεφαλής
- Θάλαμος κεφαλής κοπής
- Διάφραγμα
- Θάλαμος υπερβαρικού αέρα
- Συγκρότημα ατέρμονα μεταφορικού κοχλία
- Βραχίονας τοποθέτησης στοιχείων επένδυσης (ανυψωτής)
- Επένδυση σήραγγας με προκατασκευασμένα στοιχεία

Η κεφαλή κοπής συνήθως διαθέτει ελαφρώς μεγαλύτερη διάμετρο από τη διάμετρο του περιβλήματος της ασπίδας. Το γεγονός αυτό δημιουργεί την «υπερεκσκαφή» προκειμένου να αποφεύγεται το «σφήνωμα» της ασπίδας στο ήδη σκαμμένο έδαφος.

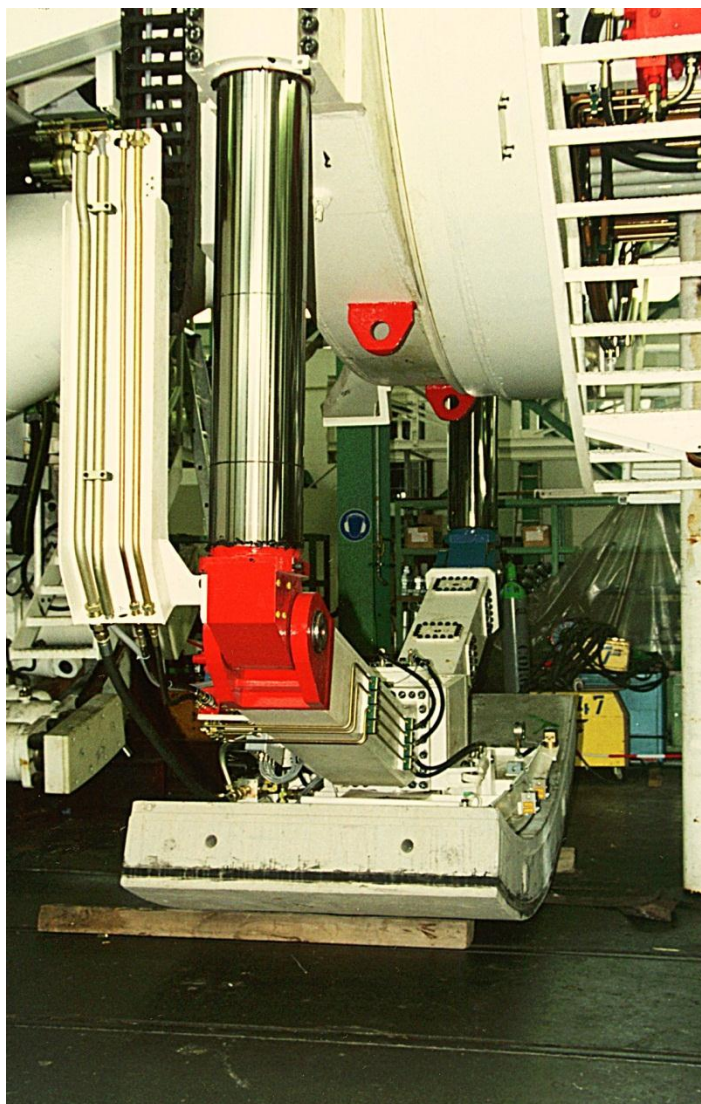
Το κενό μεταξύ του περιβλήματος της ασπίδας και της καμπύλης της εκσκαφής καλείται «διάκενο γύρω από την ασπίδα». Σε ασταθείς βραχώμαζες ή εδάφη, στο διάκενο γύρω από την ασπίδα γίνεται η πλήρωση του με εναιώρημα μπεντονίτη, δημιουργώντας ένα μονολιθικό σύστημα το οποίο μειώνει τις πιθανές καθιζήσεις του εδάφους και τη διαρροή ύδατος. Η πίεση του εισπιεζόμενου μπεντονίτη διατηρείται σταθερή μέσω ενός αυτόματου συστήματος αντλιών.



Εικόνα 3–3, Το εσωτερικό της κοπτικής κεφαλής του EPB, Πηγή: Σ. Κουκουτάς

Δακτυλιοειδές Κενό

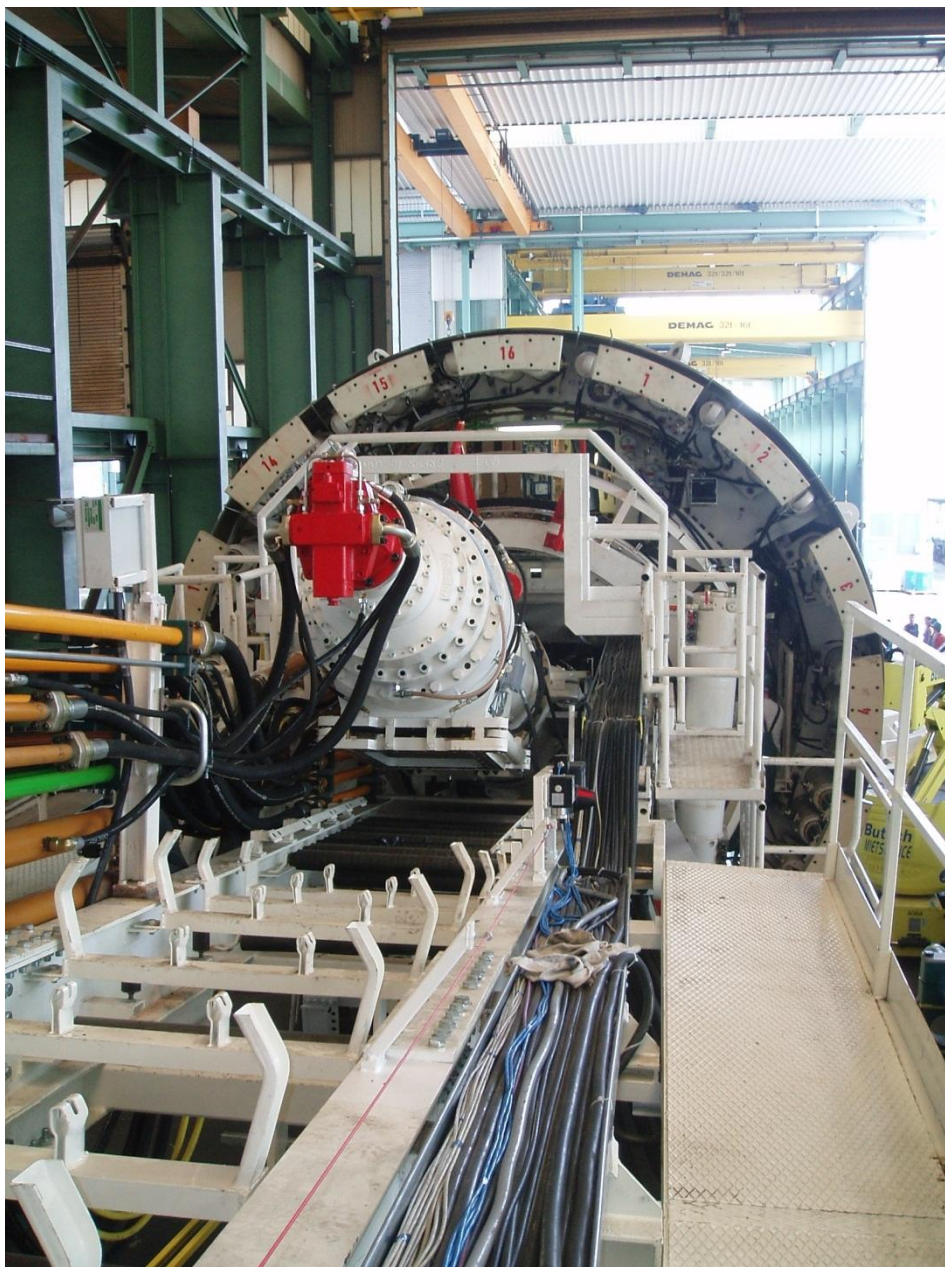
Τα σημεία επαφής μεταξύ της επένδυσης με προκατασκευασμένα στοιχεία και της καμπύλης της εκσκαφής, δημιουργούν το «δακτυλιοειδές κενό», το οποίο συνήθως πληρώνεται με ένεμα με τη χρήση σωλήνων έγχυσης υπό πίεση που είναι ενσωματωμένες στο ουραίο περίβλημα. Το ένεμα στο δακτυλιοειδές κενό δημιουργεί μία στρώση επένδυσης περιφερειακά των προκατασκευασμένων στοιχείων διατηρώντας σε χαμηλά επίπεδα τις ροπές και τις παραμορφώσεις της επένδυσης. Μεταξύ του περιβλήματος της ασπίδας και της επένδυσης με προκατασκευασμένα στοιχεία πραγματοποιείται «σφράγιση του ουραίου περιβλήματος» προς αποφυγή διαρροής του ενέματος από το δακτυλιοειδές κενό εντός του χώρου εργασίας του μηχανήματος.



Εικόνα 3–4, Σύστημα τοποθέτησης προκατασκευασμένων στοιχείων, Πηγή: Σ. Κουκουτάς

Ατέρμων Κοχλίας

Η διαδικασία απομάκρυνσης των προϊόντων εκσκαφής πραγματοποιείται με μεταφορικό ατέρμονα κοχλία του οποίου η λειτουργία (στροφές ανά λεπτό), ρυθμίζεται ανάλογα με την απαιτούμενη προκαθορισμένη τιμή της πίεσης υποστήριξης του εδάφους σε κλειστό τρόπο λειτουργίας.



Εικόνα 3–5, Ο ατέρμων κοχλίας, Πηγή: Σ. Κουκουτάς

Σε αστικό περιβάλλον και συγκεκριμένα σε σήραγγα με χαμηλό υπερκείμενο, πρέπει να αποφεύγεται η χρήση / λειτουργία της ασπίδας EPB σε «Ανοικτό Τρόπο Λειτουργίας» ανεξάρτητα από τον τύπο του προς εκσκαφή εδάφους. Το μηχάνημα EPB - TBM προωθείται μέσω πίεσης που ασκούν τα έμβολα ώθησης στα προκατασκευασμένα στοιχεία επένδυσης της σήραγγας που τοποθετούνται εντός του ουραίου περιβλήματος του TBM, με την χρήση βραχίονα ανύψωσης ενσωματωμένου στο μηχάνημα.

Το κάτω τμήμα του διαφράγματος στην εμπρόσθια ασπίδα του EPB είναι εξοπλισμένο με θυρίδα ασφαλείας, η οποία κλείνει όταν ο ατέρμων κοχλίας αποσύρεται για λόγους συντήρησης. Έτσι δίδεται η δυνατότητα πλήρους απομόνωσης του κενού χώρου της κεφαλής κοπής, αποφεύγοντας την εισροή ύδατος / προϊόντων εκσκαφής κατά την διάρκεια της συντήρησης στο χώρο εργασίας του μηχανήματος.

Αισθητήρες Πίεσης

Προκειμένου να ελέγχεται η ευστάθεια του μετώπου και να αποφεύγονται οι καθιζήσεις στην επιφάνεια κατά την προχώρηση του μηχανήματος EPB ένα σύστημα αισθητήρων πίεσης είναι εγκατεστημένο στα τοιχώματα του διαφράγματος της κοπτικής κεφαλής (σε τρία τουλάχιστον διαφορετικά επίπεδα). Ο σχεδιασμός της μέγιστης λειτουργίας πίεσης στα τοιχώματα του διαφράγματος της κεφαλής κοπής είναι 5 bars. Το σύστημα των αισθητήρων πίεσης υπολογίζει το βαθμό πληρότητας του θαλάμου της κεφαλής κοπής με προϊόντα εκσκαφής κατάλληλης πυκνότητας κατά τη διάρκεια ώθησης του μηχανήματος EPB. Η πληρότητα του θαλάμου ρυθμίζεται ανάλογα με την ποσότητα της αποκομιδής των υλικών εκσκαφής που συσχετίζεται με την ταχύτητα περιστροφής του ατέρμονα μεταφορικού κοχλίου.

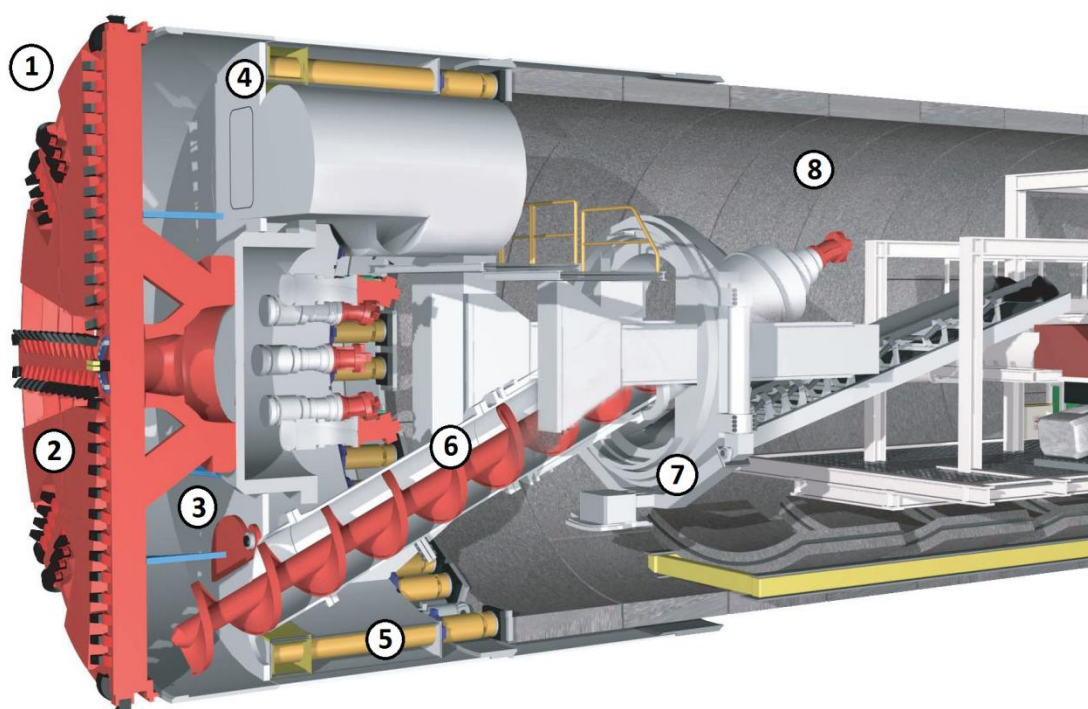
Δύο επιπλέον αισθητήρες πίεσης βρίσκονται στον ατέρμονα μεταφορικό κοχλίο, στα σημεία εισόδου και εξόδου, προκειμένου να παρακολουθούν την πυκνότητα του αναμεμειγμένου με αφρό εδάφους κατά την εξαγωγή του από το θάλαμο εκσκαφής (αλλαγή στη ρευστότητα των προϊόντων εκσκαφής). (Πηγή: Σ. Κουκουτάς)

3.2.3. Τεχνική περιγραφή της μηχανής διάνοιξης σιράγγων

3.2.3.1. Εκσκαφή υλικού / Προώθηση

Αρχικά, το γεωυλικό αφαιρείται με τα εργαλεία του περιστρεφόμενου τροχού κοπής στο μέτωπο εκσκαφής [1] (Σχήμα 3-4) και πιέζεται μέσω των ανοιγμάτων του τροχού κοπής [2] μέσα στο θάλαμο εκσκαφής [3]. Εκεί αναμιγνύεται με το ήδη υπάρχον εδαφικό μίγμα που βρίσκεται στο θάλαμο. Η δύναμη του ατέρμονα κοχλίου μεταδίδεται μέσω του διαφράγματος [4] στο εδαφικό μίγμα και εμποδίζει έτσι την ανεξέλεγκτη διείσδυση του γεωυλικού από το μέτωπο εκσκαφής μέσα στο θάλαμο εκσκαφής. Η κατάσταση ισορροπίας επιτυγχάνεται όταν το εδαφικό μίγμα μέσα στο θάλαμο εκσκαφής δε μπορεί να συμπιεστεί πλέον λόγω της ασκούμενης εδαφικής πίεσης και της πίεσης του νερού.

Επομένως, η εδαφική πίεση που ασκείται στην περίπτωση αυτή στο μέτωπο εκσκαφής αντιστοιχεί περίπου στην εδαφική πίεση ηρεμίας. Εάν όμως η εξισορροπητική πίεση του εδαφικού μίγματος αυξηθεί περισσότερο από την κατάσταση ισορροπίας, προκύπτει περαιτέρω συμπίεση του εδαφικού μίγματος στο θάλαμο εκσκαφής καθώς και του γεωυλικού που εκκρεμεί για επεξεργασία και υπό ορισμένες συνθήκες οδηγεί σε ανοδική μετατόπιση του εδάφους πριν από την ασπίδα. Αντίθετα, σε περίπτωση μείωσης της εδαφικής πίεσης, το γεωυλικό του οποίου η επεξεργασία εκκρεμεί μπορεί να διεισδύσει μέσα στο θάλαμο εκσκαφής και τελικά να δημιουργήσει καθιζήσεις στην επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 3–4, Αρχή λειτουργίας ασπίδας EPB, Πηγή : Herrecknecht

Στη συνέχεια, το υλικό εκσκαφής προωθείται με τον ατέρμονα κοχλία [6] έξω από τον υπό πίεση θάλαμο στη σήραγγα η οποία βρίσκεται υπό ατμοσφαιρική πίεση. Για να μπορεί να προωθείται το υλικό από την έξοδο του μεταφορέα προς την ταινία μεταφοράς χωρίς να υπάρχουν ενδιάμεσοι θάλαμοι, το γεωυλικό θα πρέπει να έχει μειωμένη διαπερατότητα για να αποφεύγεται η υπερβολική ροή από τον κοχλιωτό μεταφορέα. (Σχήμα 3–4)

Η επένδυση της σήραγγας γίνεται με προκατασκευασμένα στοιχεία επένδυσης οπλισμένου σκυροδέματος [7], τα οποία συναρμολογούνται σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης στην

περιοχή της ασπίδας πίσω από το διάφραγμα. Το παραμένον διάκενο μεταξύ της εξωτερικής πλευράς των προκατασκευασμένων στοιχείων επένδυσης και της διαμέτρου εκσκαφής καλύπτεται με συνεχείς ενεμάτωσεις από ανοίγματα διάχυσης στην ουρά της ασπίδας [8]. (Σχήμα 3-4)

3.2.3.2. Εδαφική Πίεση

Η εδαφική πίεση επηρεάζεται από τους εξής βασικούς παράγοντες:

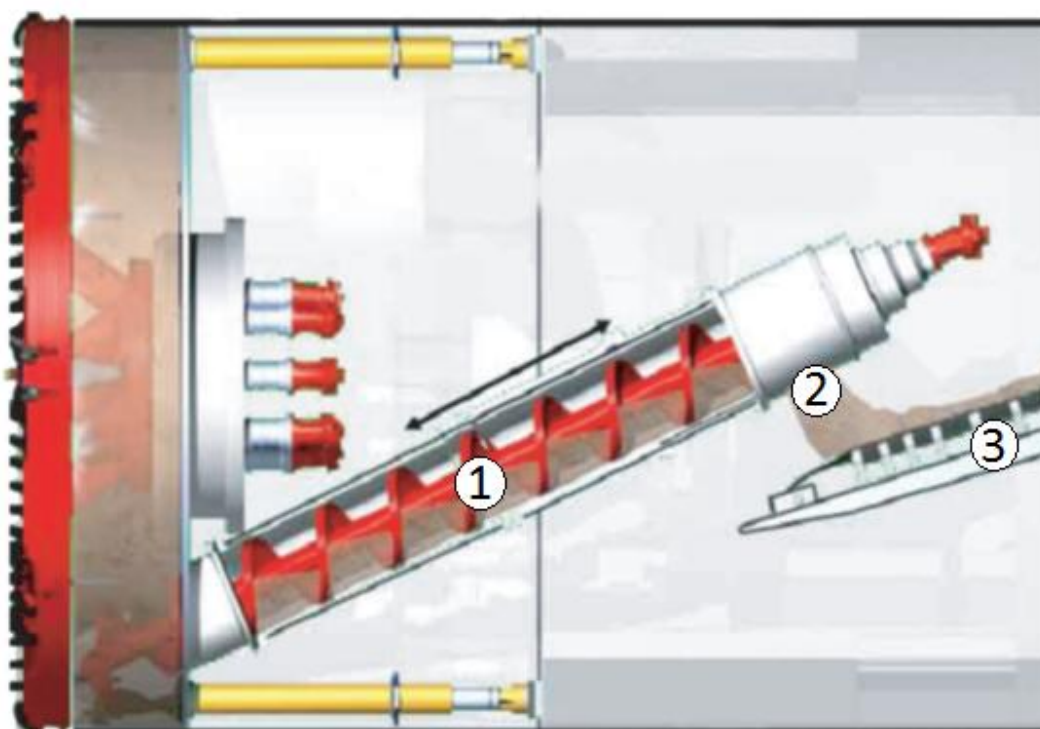
- Ταχύτητα προώθησης
- Ποσότητα εκσκαφής
- Προσθήκη πρόσθετων για τη βελτίωση του εδάφους

Ο συνηθισμένος τρόπος ρύθμισης της εδαφικής πίεσης κατά τη διάρκεια της προώθησης σε συγκεκριμένη ταχύτητα είναι η τροποποίηση της ταχύτητας του κοχλιωτού μεταφορέα. Εάν το γεωυλικό αφαιρείται ταχύτερα λόγω αυξημένης ταχύτητας του μεταφορέα τότε πέφτει η εδαφική πίεση, ενώ αν αφαιρείται πιο αργά, αυξάνεται η εδαφική πίεση. Επίσης, η εδαφική πίεση δύναται να ρυθμίζεται και μέσω της ταχύτητας προώθησης. Σε αυτήν την περίπτωση, η μείωση της ταχύτητας προώθησης σημαίνει αυτόματα τη μείωση της εδαφικής πίεσης, ενώ η αύξηση της ταχύτητας προώθησης οδηγεί σε αύξηση της εδαφικής πίεσης. Σε κάθε περίπτωση ο στόχος είναι να διατηρείται σταθερή η εδαφική πίεση κατά τη διάρκεια της προχώρησης. Η πίεση που δημιουργείται στο θάλαμο εκσκαφής πρέπει να αντισταθμίζει την εδαφική πίεση πριν από τον τροχό κοπής για να αποφεύγονται πιθανές καθιζήσεις και ολίσθηση γεωυλικού.

Τέλος, η ταχύτητα περιστροφής του τροχού κοπής μπορεί να τροποποιείται κατά τη διάρκεια της προώθησης, ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη ανάμειξη και βελτίωση του γυαλικού ή ώστε να μειώνεται το ρολαριστά της ασπίδας.

3.2.3.3. Κοχλιωτός μεταφορέας / προώθηση υλικού εκσκαφής

Για τη μεταφορά του υλικού εκσκαφής έχει εγκατασταθεί ένας κοχλιωτός μεταφορέας [1], ο οποίος φτάνει υπό μία ορισμένη γωνία μέχρι την ταινία μεταφοράς. Εάν απαιτείται η βελτίωση της ροής του υλικού μπορεί να εισπνέεται νερό ή αφρός μέσω της οπής ινωμάτωσης. Στην άνω άκρη του κοχλίου, στην περιοχή που βρίσκεται ο σύρτης απόρριψης μεταφορέα [2] έχει εγκατασταθεί ένας αισθητήρας μέτρησης της εδαφικής πίεσης. Στην περιοχή του δαπέδου ο ατέρμων κοχλίας συνδέεται με το θάλαμο εκσκαφής. (Σχήμα 3-5)



Σχήμα 3-5, Λειτουργία ατέρμονα κοχλίας, Πηγή : Herrecknecht

Για τη μεταφορά του υλικού εκσκαφής έχει εγκατασταθεί μία μεταφορική ταινία [3]. Το υλικό απορρίπτεται από τον κοχλιωτό μεταφορέα στην κεντρικά διατεταγμένη ταινία του μηχανήματος. Το υλικό εκσκαφής μεταφέρεται με την ταινία στο πίσω μέρος, όπου μέσω μίας εγκάρσιας ταινίας και στη συνέχεια με βαγονέτα συρμού μεταφέρεται προς τα έξω (Εικόνα 3-6).



Εικόνα 3–6, Σύστημα μεταφορικής ταινίας, Πηγή: Σ. Κουκουτάς

3.2.3.4. Εισπίεση ενέματος – Παρεμπόδιση καθιζήσεων

Προκειμένου να εμποδίζονται οι καθιζήσεις στην επιφάνεια, απαιτείται να πληρωθεί ο κοίλος χώρος που προκύπτει κατά τη λειτουργία της ασπίδας ο οποίος βρίσκεται μεταξύ του πετρώματος και του δακτυλίου προκατασκευασμένων στοιχείων επένδυσης. Για γρήγορη σταθεροποίηση του δακτυλίου προκατασκευασμένων στοιχείων εφαρμόζεται μία, λιθογόμωση δύο συστατικών.

Διάχυση μέσω της ουράς ασπίδας:

Το μίγμα κονιάς (συστατικό Α) και ο επιταχυντής (συστατικό Β) προωθούνται με ηλεκτρικά λειτουργούσες αντλίες μέσα στην ασπίδα. Με τους μετατροπείς συχνότητας ελέγχεται η ροή των αντλιών. Κάθε αγωγός είναι εξοπλισμένος με συστήματα ροής και μέτρησης πίεσης. Στο σημείο ενεμάτωσης στην ουρά της ασπίδας προστίθεται στο συστατικό Α ένας επιταχυντής (συστατικό Β). Ο επιταχυντής προωθείται μέσω ξεχωριστού αγωγού και ψεκάζεται μέσω ενός μπεκ μέσα στο υλικό πλήρωσης. Το απαιτούμενο υλικό πλήρωσης διαχέεται συγχρονισμένα με την προώθηση του μηχανήματος μέσα στο διάκενο δακτυλίου σε όλη την επιφάνεια.

3.2.4. Συσκευή καταγραφής δεδομένων

Είναι απαραίτητη η τοποθέτηση μιας συσκευής καταγραφής δεδομένων στο TBM, ώστε να παρακολουθεί, να καταγράφει και να ελέγχει τις παραμέτρους της εκσκαφής. Οι αισθητήρες που είναι αναγκαίοι για τους σχετικούς ελέγχους στο μηχάνημα EPB, είναι οι αισθητήρες πίεσης στον κενό χώρο του θαλάμου εκσκαφής της κοπτικής κεφαλής και στον ατέρμονα μεταφορικό κοχλία καθώς και οι αισθητήρες μέτρησης ποσότητας και όγκου αποκομιδής των υλικών εκσκαφής.

Εξίσου απαραίτητα είναι τα όργανα ελέγχου και μετρήσεων των μηχανικών παραμέτρων της λειτουργίας του TBM όπως:

- η ταχύτητα περιστροφής της κοπτικής κεφαλής,
- ο ρυθμός διείδυσης,
- η ταχύτητα περιστροφής του ατέρμονα μεταφορικού κοχλία,
- η ροπή της κοπτικής κεφαλής και
- η πίεση στα έμβολα ώθησης για την προχώρηση του TBM.

Ακολούθως είναι απαραίτητοι οι αισθητήρες εισπίεσης ενέματος και οι μετρητές ροής για την παρακολούθηση της διαδικασίας τοποθέτησης ενέματος πλήρωσης πίσω από τα προκατασκευασμένα στοιχεία της σήραγγας.

3.2.4.1. Αριθμός και θέση αισθητήρων πίεσης

Στα TBM με Αντιστάθμιση Εδαφικής Πίεσης, όπως περιγράφεται παραπάνω, εφαρμόζεται μηχανική πίεση στο έδαφος εκσκαφής προκειμένου να αντισταθμιστεί η εδαφική πίεση στο μέτωπο και να αποτραπεί η διόγκωση και η κατάπτωση. Το έδαφος εκσκαφής που βρίσκεται πίσω από την κοπτική κεφαλή στο θάλαμο εκσκαφής παρέχει στήριξη. Το διάφραγμα πιέζει το μίγμα του πολτού εδάφους και η πίεση του πολτού εδάφους στο θάλαμο εκσκαφής ελέγχεται από το ρυθμό απομάκρυνσης των προϊόντων εκσκαφής.

Η εδαφική πίεση στο εσωτερικό του θαλάμου εκσκαφής κατά τη διάρκεια της διάνοιξης της σήραγγας, παρακολουθείται από έξι αισθητήρες εδαφικής πίεσης, οι οποίοι βρίσκονται εγκατεστημένοι σε τρία διαφορετικά επίπεδα στο διάφραγμα, ένα μέτρο πίσω από το μέτωπο. Η εδαφική πίεση, η πίεση στήριξης και το φαινόμενο βάρος του εδάφους παρακολουθούνται από την καμπίνα ελέγχου.

Δύο ακόμα αισθητήρες εδαφικής πίεσης βρίσκονται εγκατεστημένοι στον μεταφορέα με ατέρμονα κοχλία, στην είσοδο και στην έξοδο, προκειμένου να παρακολουθείται η συνεκτικότητα των προϊόντων εκσκαφής που υποβάλλονται σε επεξεργασία με αφρό κατά τη διάρκεια της εξαγωγής τους από το θάλαμο εκσκαφής.

3.2.4.2. Αριθμός και θέσεις ακροφυσίων ψεκασμού πρόσμικτων ρύθμισης εδαφικού πολφού (conditioners)

Στο EPB TBM, ο ρόλος των ρυθμιστικών παραγόντων του εδάφους είναι να βελτιώνουν τις ιδιότητες του εδάφους τόσο αυξάνοντας τη συμπίεστικότητα όσο επίσης και μειώνοντας τη διατμητική αντοχή και τη διαπερατότητα. Στόχος είναι να γίνει το έδαφος περισσότερο πλαστικό με χαμηλή εσωτερική τριβή και χαμηλή διαπερατότητα. Η αποτυχία ικανοποίησης των παραπάνω κριτηρίων, οδηγεί σε εμπλοκή στην κοπτική κεφαλή, έμφραξη ή προβλήματα κατά τη μεταφορά.

Κατά κανόνα, τρεις είναι οι παράμετροι που εξετάζονται κατά τη ρύθμιση:

- Επιφανειοδραστική Συμπύκνωση
- FER – Λόγος Διόγκωσης Αφρού
- FIR – Λόγος Εισπίεσης Αφρού

Πραγματοποιούνται εργαστηριακές και επιτόπου δοκιμές προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η επιφανειοδραστική δόση και η διόγκωση. Παρόλα αυτά, αν δεν γίνει σωστή εισπίεση του ρυθμιστικού παράγοντα στο σημείο εκσκαφής του εδάφους, το υλικό δεν θα μετατρέπεται σε «εδαφικό πολφό» θέτοντας με αυτόν τον τρόπο σε κίνδυνο την εκσκαφή της σήραγγας.

Η θέση και ο αριθμός των ακροφυσίων εισπίεσης ρυθμιστικών παραγόντων/ νερού στην κοπτική κεφαλή και στο διάφραγμα εξετάζονται με μεγάλη προσοχή. Ο παράγοντας λίπανσης προστίθεται στο σημείο κοπής πριν ξεκινήσει η αναδιαμόρφωση του εδάφους που έχει κοπεί, προκειμένου να είναι αποτελεσματικός. Η έγκαιρη προσθήκη είναι απαραίτητη προκειμένου να εξασφαλίζεται επαρκής χρόνος ανάμειξης με το έδαφος, έστω και αν το όφελος που προκύπτει δεν είναι απαραίτητο παρά μόνο σε μεταγενέστερα στάδια της διαδικασίας διάνοιξης της σήραγγας. Η λίπανση στους κοπτήρες που βρίσκονται πλησιέστερα στην περιφέρεια της κοπτικής κεφαλής, όπου οι ταχύτητες του εδάφους/κοπτήρων είναι μεγαλύτερες, είναι ιδιαίτερα σημαντική. Σε συνεκτικά εδάφη, ο αφρός που εισάγεται ως έγχυση υψηλής πίεσης βοηθάει στην κοπή του εδάφους.

Η διανομή του αφρού λαμβάνει χώρα μέσω τεσσάρων ακροφυσίων εισπίεσης που τοποθετούνται στη κοπτική κεφαλή διαμέτρου 6,13 m, που βρίσκεται κατά μήκος σπείρας η οποία ξεκινάει από το κέντρο της ίδιας κοπτικής κεφαλής. Τα ακροφύσια τοποθετούνται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτουν πλήρως με αφρό το μπροστινό μέτωπο εκσκαφής. Με αυτόν τον τρόπο, ο αφρός μειώνει την τριβή μεταξύ των επιφανειών κοπής και των επιφανειών κοπής και των κοπτήρων και της κοπτικής κεφαλής, ενώ επιπρόσθετα μειώνει την απαιτούμενη ισχύ για κάθε συγκεκριμένο ρυθμό προώθησης και τη φθορά του μηχανήματος. Άλλο αποτέλεσμα της σωστής διανομής αφρού στο μπροστινό μέτωπο είναι η μείωση της συσσώρευσης θερμότητας, η οποία μπορεί να διαχέεται δύσκολα υπό ορισμένες εδαφικές συνθήκες και η χαμηλότερη ροπή στην κοπτική κεφαλή του μηχανήματος.

Προκειμένου να μειωθεί η τριβή, συνεπώς και η φθορά στην κεφαλή, και να προληφθεί η έμφραξη από την εκ νέου συμπίκνωση της πλαστικής αργίλου και την προσκόλλησή της στις επιφάνειες της κεφαλής, δύο ακόμα ακροφύσια τοποθετούνται στη μέση και στην κορυφή του διαφράγματος.

Αν το έδαφος στον θάλαμο εκσκαφής της κεφαλής δεν έχει φτάσει σε αρκετά χαμηλή τιμή διαπερατότητας, ο μεταφορέας με κοχλία προσφέρει μία περαιτέρω δυνατότητα για

την εισπίεση ρυθμιστικών παραγόντων μέσω δύο ακροφυσίων που βρίσκονται στην είσοδο και στο μέσο, έτσι ώστε να σχηματίζεται ένα «πώμα» από υλικό χαμηλής διαπερατότητας στον κοχλία το οποίο να εμποδίζει την υπερβολική ροή νερού.



Εικόνα 3–7, Ξετύπωμα μηχανήματος EPB σε σταθμό του Μετρό της Αθήνας, Πηγή: Σ. Κουκουτάς

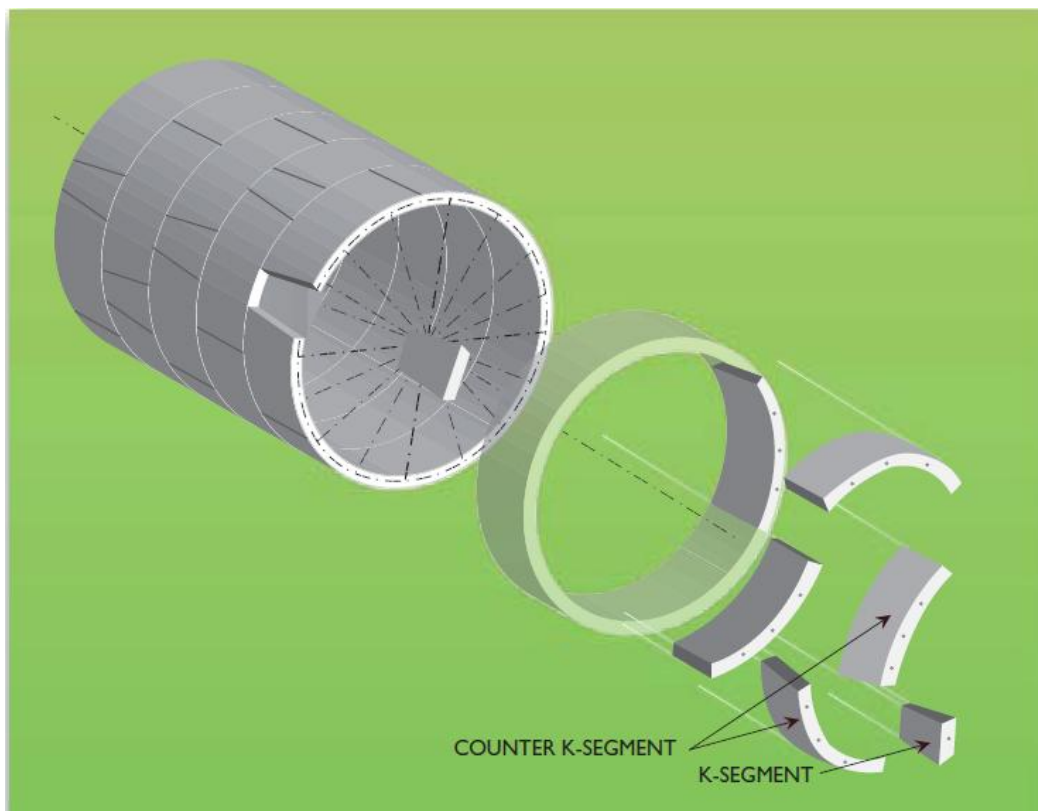
3.3. Τεχνικά στοιχεία των μηχανημάτων διάνοιξης στη Θεσσαλονίκη

Γενικά	Τύπος μηχανήματος	EPB με ασπίδα
	Συνολικό μήκος σήραγγας	2x 7.700 m
	Εγκατεστημένη απόδοση μηχανισμού κίνησης (κοπτική κεφαλή)	1.200 kW
	Μήκος μηχανής διάνοιξης σήραγγας + ρυμουλκομένων	περίπου 85 m
	Αριθμός των τμημάτων	5+1
	Μήκος των τμημάτων	1.500 mm
	Εξωτερική διάμετρος τμημάτων	5.900 mm
	Εσωτερική διάμετρος των τμημάτων	5.300 mm
Τροχός κοπής	Διάμετρος διάτρησης	6.190 mm
	Βάρος (με εργαλεία)	42,5 t
	Εργαλείο υπερκοπής	2 τεμάχια
Εμπρόσθια ασπίδα	Διάμετρος	6.170 mm
Μεσαία ασπίδα	Διάμετρος	6.170 mm
Ουρά ασπίδας	Διάμετρος	6.150 mm
Θάλαμος αποσυμπίεσης ατόμων	Άτομα	2x κύριοι θάλαμοι 1x προθάλαμος
	Όγκος	4.632 l (κύριος θάλαμος) 3.017 l (προθάλαμος)
	επιτρεπόμενη πίεση	4,0 bar (μέγ.)

Μηχανισμός κίνησης	Τύπος	υδραυλικός
	Αριθμός αντλιών	3 τεμάχια
	Ροπή στρέψης (βαθμίδα I)	5.460,6 kNm (210 bar)
	Ροπή στρέψης (βαθμίδα II)	3.713,2 kNm (210 bar)
	Στρεπτική ροπή θραύσης	7.280,8 kNm (280 bar)
	Αριθμός στροφών (μέγ.)	3,02 1/min
Πρώθηση	Αριθμός εμβόλων προώθησης	16 διπλά έμβολα
	Διαδρομή εμβόλων προώθησης	2.200 mm
	Δύναμη προώθησης (συνολικά) εμβόλων προώθησης	περίπου 42 575 kN (στα 350 bar)
Κοχλιωτός μεταφορέας	Συνολικό μήκος	14.149,5 mm
	Εγκατεστημένη ηλ. ισχύς	250 kW
	Αριθμός στροφών (μέγ.)	22,15 1/min
	Ροπή στρέψης (μέγ.)	202,6 kNm (280 bar)
	Στρεπτική ροπή θραύσης	224,3 kNm (310 bar)
Εφαρμοστής	Μηχανισμός κίνησης	υδραυλικός
	Φέρουσα ικανότητα	11.2 t
	Ταχύτητα περιστροφής (με / χωρίς προκατασκευασμένα στοιχεία επένδυσης)	περίπου 0 / 2.0 1/min
	Γωνία περιστροφής	+ / - 200°
	Βαθμός ελευθερίας	6 τεμάχια
	Διαδρομή μετακίνησης (στον διαμήκη άξονα)	2 400 mm
	Σύστημα στερέωσης	Πλάκα κενού
	Σύστημα ελέγχου	Ασύρματο χειριστήριο

Η επένδυση της σήραγγας TBM, αποτελείται από δακτυλίους προκατασκευασμένων ενισχυμένων στοιχείων μετόν πάχους 30 cm και συναρμολογείται απευθείας από το μηχάνημα μετά από την εκσκαφή, σε μικρή απόσταση από το μέτωπο της σήραγγας.

Χρησιμοποιήθηκε δακτύλιος που αποτελείται από έξι στοιχεία, συμπεριλαμβανομένης της σφήνας: τρία στο σχήμα ορθογωνίου και δύο, γειτονικά με τη σφήνα, συν την ίδια τη σφήνα σε σχήμα τραπεζοειδές (Εικόνα 3-8)



Εικόνα 3–8, Τοποθέτηση προκατασκευασμένων στοιχείων, Πηγή: Herrecknecht

3.3.1. Τηλεσκόπιο για μεταφορέα με ατέρμονο κοχλία

Κατά την κανονική λειτουργία το άκρο του κοχλία φτάνει έως το θάλαμο εκσκαφής. Ο μεταφορέας με ατέρμονα κοχλία μπορεί να απομακρυνθεί από το θάλαμο μέχρι μία επίπεδη πύλη να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το κλείσιμο του διαφράγματος. Υπάρχει δυνατότητα λειτουργίας του μεταφορέα με ατέρμονο κοχλία σε οποιαδήποτε θέση, ακόμα και κατά την απόσυρση/ επέκταση του κοχλία. Αυτό το χαρακτηριστικό επιτρέπει την απελευθέρωση του μεταφορέα με ατέρμονο κοχλία σε περίπτωση που είναι μπλοκαρισμένος από ξύλο ή ογκόλιθους. Κατά μήκος της σωλήνας του μεταφορέα με ατέρμονα κοχλία βρίσκονται τρία ανοίγματα για τη διευκόλυνση του ελέγχου και της συντήρησης.

Ο μεταφορέας με ατέρμονα κοχλία διαθέτει τα ακόλουθα ελάχιστα χαρακτηριστικά:

- εσωτερική διάμετρος 700 mm
- βήμα 560 mm
- ικανότητα εκφόρτωσης 250 m³/h
- μέγιστο κόρημα που μπορεί να εκφορτωθεί 450 * 200 * 200 mm

Ανασύροντας τον μεταφορέα με ατέρμονα κοχλία μπορεί να κλείσει η πόρτα ασφαλείας στο κάτω μέρος των διαφραγμάτων αφήνοντας το θάλαμο της κοπτικής κεφαλής εντελώς μονωμένο από το TBM.

3.3.2. Σύστημα Ενεργού Υποστήριξης Μετώπου (AFS)

Ένα πρόσθετο σύστημα υποστήριξης μετώπου υπό πίεση προστίθεται στο TBM σε περίπτωση μεταβαλλόμενων γεωλογικών συνθηκών όπως αυτές που αναμένεται ότι θα εμφανιστούν κατά μήκος της χάραξης του έργου και θα διατηρηθούν για όλη τη διαδρομή της σήραγγας. Το σύστημα αυτό αποτελείται από ένα σύστημα εισπίεσης πολφού μπεντονίτη που είναι αποθηκευμένος σε δεξαμενή χωρητικότητας 6 m³, στο θάλαμο λειτουργίας του EPB TBM.

Η πίεση διατηρείται και ελέγχεται από σύστημα συμπιεσμένου αέρα που δρα σε σειρά με τον πολφό με τη βοήθεια αντλίας διπλού εμβόλου, προωθητικής αντλίας 10m³/h στα 10 bar.

Υπό συγκεκριμένες συνθήκες, το συμπληρωματικό σύστημα υποστήριξης λειτουργεί ως εξής:

- Αν κατά τη διάρκεια της εκσκαφής, ο χειριστής του TBM εξάγει κατά λάθος περισσότερα προϊόντα εκσκαφής από τον θάλαμο υπό πίεση μέσω του μεταφορέα με ατέρμονα κοχλία, με αποτέλεσμα η πίεση υποστήριξης να μειωθεί στην τιμή συναγεμού, τότε η προωθητική αντλία διοχετεύει συγκεκριμένη ποσότητα πολφού μπεντονίτη υπό πίεση στο εσωτερικό του θαλάμου λειτουργίας, έως ότου να επιτευχθεί και πάλι τιμή πίεσης ίση με τη μέση πίεση υποστήριξης. Ταυτόχρονα, ο χειριστής του TBM συνεχίζει χωρίς να εξάγει περισσότερο προϊόν εκσκαφής από τον θάλαμο λειτουργίας, έως ότου να επιτευχθεί η σταθερή πίεση υποστήριξης.

- Κατά τη διάρκεια παρατεταμένων περιόδων συντήρησης του TBM ή απρόβλεπτης διακοπής εργασιών, τα προϊόντα εκσκαφής που έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία στο εσωτερικό του θαλάμου υπό πίεση μπορεί να καθιζήσουν και ο συνολικός όγκος τους να μειωθεί παράλληλα με την πίεση υποστήριξης. Μόλις η πίεση στο εσωτερικό του θαλάμου λειτουργίας που μετριέται από τους αισθητήρες που βρίσκονται στο διάφραγμα, φτάσει στην τιμή συναγερμού, κάτω από την οποία δεν παρέχεται πλέον εγγύηση για την υποστήριξη του μετώπου της σήραγγας, η προωθητική αντλία διοχετεύει επαρκή ποσότητα πολφού μπεντονίτη μέχρι να αποκατασταθεί η επιδιωκόμενη τιμή πίεσης. Η δράση της προωθητικής αντλίας συνεχίζεται κάθε φορά που η πίεση πέφτει κάτω από την κρίσιμη τιμή.

3.3.3. Εισπίεση υγρού υποστήριξης κενού καθοδήγησης (PSG)

Ειδικά στην περίπτωση συνεκτικών εδαφών, η φρέζα αντιγραφής προκαθορίζει την υπερεκσκαφή γύρω από το TBM, το καλούμενο κενό καθοδήγησης. Προκειμένου να αποτραπεί η παραμόρφωση του εδάφους, το κενό θα πρέπει να γεμίζει με προσωρινό ένεμα.

Στην ασπίδα του EPB κοντά στο διάφραγμα διατίθενται 7 ακροφύσια εξοπλισμένα με όργανα μέτρησης πίεσης, τα οποία χρησιμεύουν για την εισπίεση πολφού μπεντονίτη μεγάλου βάρους μέχρι να επιτευχθεί η προκαθορισμένη πίεση στο εσωτερικό του κενού. Η πίεση διατηρείται σταθερή με τη βοήθεια αυτόματου συστήματος: μόλις επιτευχθεί η επιδιωκόμενη πίεση στο εσωτερικό του κενού, η αντλία διπλού εμβόλου σταματάει αυτόματα και ξεκινάει και πάλι όταν η πίεση φτάσει στην «τιμή συναγερμού». Φυσικά, μέρος του πολφού μπεντονίτη που εισάγεται υπό πίεση στο κενό ρέει στο μπροστινό μέτωπο δημιουργώντας ένα μονολιθικό σύστημα, μπροστινό μέτωπο/κενό καθοδήγησης, το οποίο μειώνει δραστικά τις πιθανότητες εκδήλωσης καθιζήσεων και διαρροής νερού.

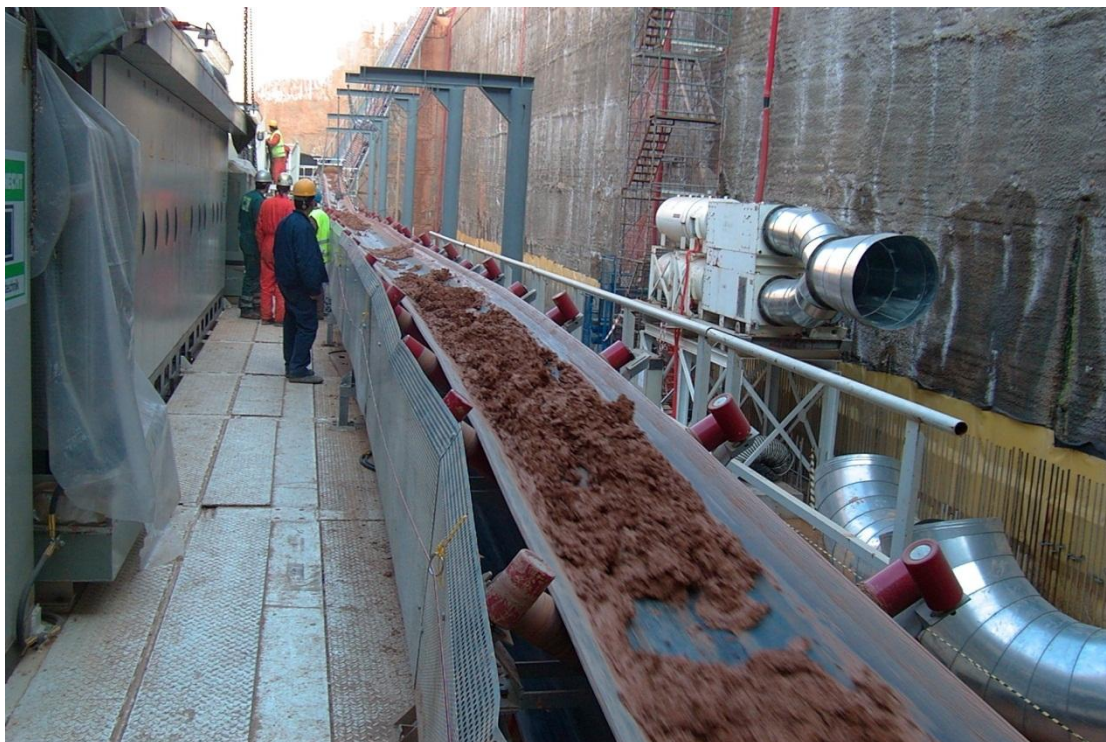
Η εισπίεση λαμβάνει χώρα όποτε χρειάζεται, ειδικά σε δυσμενείς γεωλογικές συνθήκες, κατά τη διάρκεια της καθημερινής συντήρησης, όταν η πίεση του εδάφους στο εσωτερικό του θαλάμου υπό πίεση πέφτει κάτω από την «τιμή συναγερμού» και όταν ο ρυθμός προώθησης είναι χαμηλός.

3.3.4. Διπλό ηλεκτρονικό σύστημα ζύγισης προϊόντων εκσκαφής με έλεγχο σε πραγματικό χρόνο από την οθόνη και αυτόματο σύστημα συναγερμού/ διακοπής λειτουργίας

Ο έλεγχος της ποσότητας υλικού που εξάγεται μέσω του μεταφορέα με ατέρμονα κοχλία από το θάλαμο της κοπτικής κεφαλής, αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές λειτουργίες που θα πρέπει να εκτελούνται συνεχώς κατά τη διάρκεια του κύκλου εκσκαφής. Στην πραγματικότητα, μέσω του ελέγχου της ποσότητας, είναι δυνατή η παρακολούθηση των ενδεχόμενων υπερεκσκαφών.

Προκειμένου να επιτευχθεί ο καλύτερος έλεγχος της παραπάνω παραμέτρου, έχει αναπτυχθεί ένα εξελιγμένο σύστημα, το οποίο αποτελείται από ένα διπλό σύστημα ζύγισης προϊόντων εκσκαφής, που σχετίζεται με το σύστημα παρακολούθησης του TBM για τη λήψη δεδομένων στην οθόνη του χειριστή του TBM σε πραγματικό χρόνο και τη λειτουργία ενός αυτόματου συστήματος συναγερμού/ διακοπής λειτουργίας.

Στο μεταφορέα με ιμάντα που βρίσκεται ακριβώς μετά από τη θύρα εκφόρτωσης του μεταφορέα με ατέρμονα κοχλία υπάρχουν 2 αυτόματα μηχανήματα ζύγισης. Τα δύο μηχανήματα ζύγισης μετράνε την ποσότητα του υλικού που εξάγεται από το μεταφορέα με ατέρμονα κοχλία (τιμή εκφρασμένη σε τόνους) κάθε 5 δευτερόλεπτα. Μέσω μίας PLC, όλες οι τιμές αποθηκεύονται και διαμοιράζονται σε πραγματικό χρόνο ενώ υπολογίζονται και τα συγκεντρωτικά βάρη των προϊόντων εκσκαφής για κάθε διαδρομή προώθησης και για το σύνολο του μήκους εκσκαφής. Το συγκεντρωτικό βάρος για κάθε διαδρομή προώθησης συγκρίνεται κατά διαστήματα με τη θεωρητική τιμή που υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τη διαδρομή προώθησης με την επιτόπου πυκνότητα του υλικού. Όπως φαίνεται στην ακόλουθη παράγραφο που σχετίζεται με το σύστημα παρακολούθησης του TBM, το εγκατεστημένο λογισμικό παράγει ένα γράφημα με το βάρος που έχει καταγραφεί στα δύο μηχανήματα ζύγισης και το βάρος που έχει υπολογιστεί θεωρητικά.



Εικόνα 3–9, Προϊόντα εκσκαφής τα οποία εξέρχονται μέσω της μεταφορικής ταινίας, Πηγή: Σ. Κουκουτάς

3.3.5. Ρυθμός εκσκαφής

Η μέγιστη ταχύτητα προώθησης του Ε.Ρ.Β. ανταποκρίνεται στην εκσκαφή ενός βήματος 1,5 μ. μήκους, όσο και το μήκος των δακτυλίων των προκατασκευασμένων στοιχείων της επένδυσης:

- Ανοιχτή λειτουργία: 25 λεπτά (6 cm/min)
- Κλειστή λειτουργία: 30 λεπτά (5 cm/min)
- Τροφοδοσία επένδυσης της σήραγγας και τοποθέτηση

Ο χρόνος «χτισίματος» ενός δακτυλίου της επένδυσης καθορίζεται, ως η περίοδος από την ανέλκυση του πρώτου στοιχείου από τον βραχίονα μέχρι να αφήσει τη σφήνα και να τοποθετηθούν τα καρφιά. Ο χρόνος αυτός είναι περίπου 30 λεπτά.

3.4. Προετοιμασία Λειτουργίας Μηχανήματος EPB

3.4.1. Εκκίνηση, έλξη και διείδυση TBM

Η κατασκευή των σιράγγων, σύμφωνα με το έργο, εκτελείται σε δύο στάδια:

Πρώτο Στάδιο: Από τη διασταύρωση του Νέου Σιδηροδρομικού Σταθμού – Φρεάτιο Εκκίνησης στη Τροχιά 1 Χ.Θ.0+187 έως τη διασταύρωση Σιντριβάνι στη Τροχιά 1 Χ.Θ.2+898

Δεύτερο Στάδιο: Από τη διασταύρωση Σιντριβάνι στη Τροχιά 1 Χ.Θ. 3+000 έως τη διασταύρωση Νέα Ελβετία – Τερματικό Φρεάτιο στη Τροχιά 1 Χ.Θ. 7+887.

3.4.2. Εκκίνηση TBM

Το Φρεάτιο Εκκίνησης του TBM βρίσκεται στην ανατολική πλευρά της Διασταύρωσης του Νέου Σιδηροδρομικού Σταθμού. Η εκσκαφή του φρεατίου γίνεται ανάμεσα στα τοιχώματα διαφράγματος από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Κατά μήκος των αρχικών 12m της σήραγγας, διατίθεται στερεοποιημένο πώμα από έδαφος βελτιωμένο με τσιμεντενέσεις, για την πρόληψη της εισροής νερού κατά τη διάρκεια των εργασιών διείδυσης και την εξασφάλιση της ασφαλούς προετοιμασίας προώθησης του TBM χωρίς ασπίδα έως ότου η ασπίδα να εγκαταλείψει πλήρως το φρεάτιο. Η έγχυση γίνεται από το εσωτερικό του φρεατίου, στο επίπεδο της σήραγγας. Το σχέδιο διάτρησης καθορίζεται έτσι ώστε να αποφεύγεται η πρόκληση φθορών στους διαφραγματικούς τοίχους στο εξωτερικό περίγραμμα της σήραγγας.

Επίσης, χρησιμοποιούνται ενισχυτικές ράβδοι από ίνες γυαλιού στην περιοχή του τμήματος κοπής των διαφραγματικών τοίχων και στη γύρω περιοχή, ώστε να εξασφαλιστεί η ασφαλής διέλευση TBM ταυτόχρονα με τη βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη ευστάθεια της κατασκευής του φρεατίου. Επιπλέον, γίνεται χρήση ενός στηρίγματος καθέλκυσης στην κάτω πλάκα του φρεατίου, με δύο τροχιές για την κίνηση της ασπίδας.

Ως εναλλακτική λύση της ενίσχυσης του εδάφους κατασκευάζεται μια προσωρινή σήραγγα γύρω από το TBM σύμφωνα με την ακόλουθη διαδικασία:

Μετά τη συναρμολόγηση του TBM δημιουργείται μια κατασκευή γύρω από την ασπίδα με εγκάρσια ενίσχυση και ράβδους.

Μια προσωρινή σήραγγα κατασκευάζεται γύρω από την ασπίδα, σφραγίζοντάς την από όλες τις πλευρές,

Μόλις το TBM καλύπτεται από την προσωρινή αυτή σήραγγα η λειτουργία ξεκινά αμέσως υπό πίεση, εφόσον η μετωπική πίεση σφραγίσθηκε από την ίδια την κατασκευή από σκυρόδεμα (ψεύτικη σήραγγα).

Παρά το γεγονός ότι επικρατεί απουσία άνεσης, διότι ο χώρος μέσα στο φρέαρ είναι περιορισμένος και υπάρχει λίγος χώρος για την κατασκευή της «ψεύτικης» σήραγγα, η λύση αυτή προτιμάται αφού προσφέρει αυξημένη ασφάλεια. Επομένως, η εκκίνηση του TBM γίνεται υπό πίεση και επιτρέπει την έναρξη σε κλειστή λειτουργία αντί της ανοιχτής λειτουργίας η οποία βασίζεται μόνο στην ενίσχυση του εδάφους.

Η εκκίνηση του TBM πραγματοποιείται με τη βοήθεια χαλύβδινου πλαισίου το οποίο τοποθετείται πίσω από την ασπίδα και στερεώνεται στην κάτω πλάκα σκυροδέματος του φρεατίου εκκίνησης, έτσι ώστε το TBM να μπορεί να στηρίζει τα έμβολα προώθησής του στο χαλύβδινο πλαίσιο.

Η διαδικασία εκκίνησης του TBM αρχίζει με τη συναρμολόγηση του TBM και του Συστήματος Υποστήριξης στη βάση του Φρεατίου Εκκίνησης. Η κοπτική κεφαλή τοποθετείται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο διαφραγματικό τοίχο για διείσδυση.

Ο πρώτος χαλύβδινος δακτύλιος που συναρμολογείται στην οπίσθια ασπίδα, έχει σχεδιαστεί ώστε να υποδεχτεί το χαλύβδινο πλαίσιο εκκίνησης και έχει τις ίδιες διαστάσεις και γεωμετρία με την προκατασκευασμένη τμηματική επένδυση που έχει σχεδιαστεί για το έργο. Τα πέλματα των κυλίνδρων προώθησης εκτείνονται μέχρι το χαλύβδινο δακτύλιο, ενώ το σύστημα στεγανοποίησης του οπίσθιου περιβλήματος (συρμάτινες βούρτσες και πλάκες) γεμίζει με γράσο.

Η προώθηση του TBM γίνεται σύμφωνα με τις ακόλουθες φάσεις:

- Κατά τη διάρκεια της αρχικής δραστηριότητας διάτρησης, είναι σημαντικό να διατηρείται ο έλεγχος όχι μόνο των παραμέτρων εκσκαφής (πίεση υποστήριξης μετώπου, πυκνότητα υλικού στο θάλαμο εκσκαφής, ποσότητα εκσκαμμένου υλικού), αλλά επίσης και της πίεσης που ασκείται στην προ-εγκατεστημένη χαλύβδινη κατασκευή και της περιστροφής της ασπίδας, αν υπάρχει.

- Ο έλεγχος των πιέσεων που εφαρμόζονται γίνεται μέσω της PLC του TBM, προκειμένου να εξασφαλίζεται η αυτόματη διακοπή των εργασιών προώθησης μόλις επιτευχθεί η προκαθορισμένη πίεση.
- Η περιστροφή των ασπίδων ελέγχεται με τη βοήθεια διακόπτη κλίσης ο οποίος έχει ρυθμιστεί ώστε να διακόπτει την ώθηση μόλις η περιστροφή φτάσει στις προκαθορισμένες μοίρες περιστροφής.

Η διαδικασία εκκίνησης επαναλαμβάνεται μετά τη μεταφορά του εργοταξίου στη διασταύρωση Σιντριβάνι. (Πηγή : Αττικό Μετρό)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – Kronos - Σύστημα πληροφοριών σηράγγων

4. Kronos - Σύστημα πληροφοριών σηράγγων

4.1. Γενικά

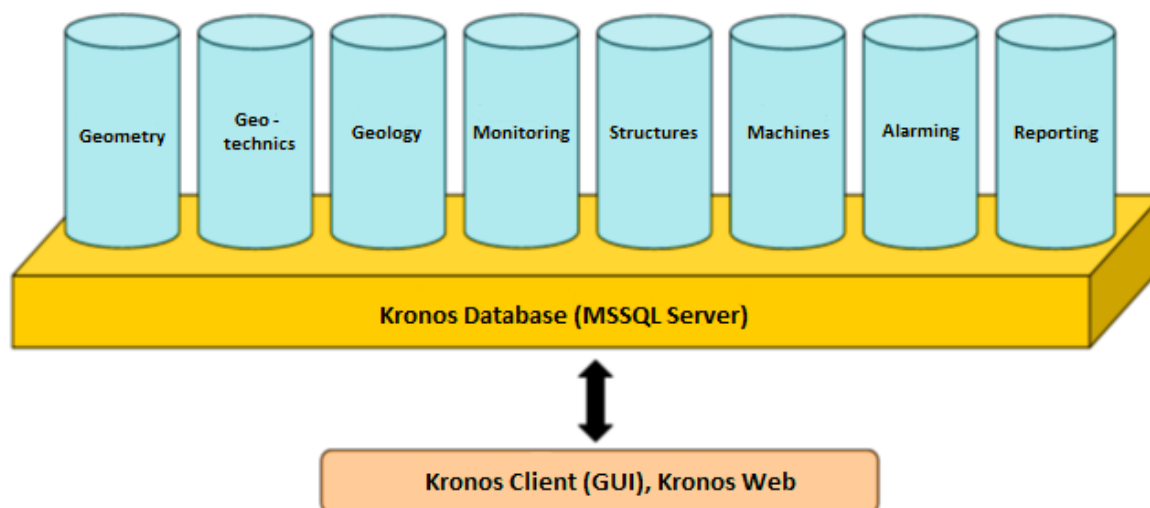
Στη διάνοιξη σηράγγων σήμερα βρισκόμαστε αντιμέτωποι με ταχέως αναπτυσσόμενα και συνεχώς αυξανόμενα πολυάριθμα είδη δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά παράγονται με διαφορετικούς τρόπους, σε πολλές μορφές, σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και τόπους, από διαφορετικά μέρη και πηγές. Η κατάσταση αυτή είναι περίπλοκη και συχνά οδηγεί σε ένα χάος δεδομένων το οποίο δημιουργεί σοβαρά προβλήματα τα οποία προκαλούνται από την απώλεια δεδομένων, την ασυνέπεια, την απόλυση προσωπικού και την λανθασμένη καταγραφή δεδομένων. Για την καταπολέμηση αυτών των προβλημάτων, το σύστημα πληροφοριών Kronos επιτρέπει τη διαχείριση του συνόλου των δεδομένων, την ανάλυση και την οπτικοποίηση τους. Στόχος του είναι να καταστήσει ασφαλέστερη την κατασκευή έργων και να οδηγήσει σε μία καλύτερη διαχείριση των δεδομένων.

Τα βασικά τμήματα του συστήματος Kronos αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια δύο ερευνητικών έργων, του TUNCONSTRUCT το οποίο χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή του 6ου προγράμματος πλαισίου, 2005–2009 και του VSOE (Vienna Spots of Excellence, το οποίο χρηματοδοτήθηκε από το Κέντρο καινοτομίας και Τεχνολογίας της Αυστρίας, 2008-2010). Εδώ και μερικά χρόνια το σύστημα μεταφέρθηκε στην αγορά, όπου πλέον έχει γίνει ευρέως γνωστό.

Το πρόγραμμα Kronos έχει σχεδιαστεί για να ενσωματώνει, να διαχειρίζεται και να επεξεργάζεται τα δεδομένα από την κατασκευή ενός υπόγειου έργου. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα έχει χρησιμοποιηθεί σε μεγάλα Ευρωπαϊκά έργα Μετρό, όπως για παράδειγμα στην κατασκευή του Μετρό της Βουδαπέστης και της Αθήνας. Είναι σημαντικό να τονισθεί ότι με τη χρήση του προγράμματος προκύπτουν οφέλη όπως η ενοποίηση των αυτόματων υπηρεσιών οι οποίες υποστηρίζουν τις διαδικασίες του ελέγχου, των καταστάσεων συναγερμού και της αναφοράς των εργασιών στο ίδιο το έργο. Γενικά, το συγκεκριμένο πρόγραμμα θεωρείται ένα αποδοτικό και χρήσιμο εργαλείο το οποίο συνεισφέρει σε μία οικονομική και ασφαλή υπόγεια κατασκευή.

Πρόκειται για ένα σύστημα πληροφόρησης το οποίο χρησιμοποιεί την πιο πρόσφατη τεχνολογία βάσεων δεδομένων (MS SQL Server). Έχει σχεδιαστεί και αναπτυχθεί ειδικά για υπόγειες κατασκευές, για τη διαχείριση κάθε είδους ψηφιακών δεδομένων που παράγονται κατά τη διάρκεια ενός έργου διάνοιξης. Για να επιτευχθεί αυτό, το σύστημα

Κronos μπορεί να διαχειριστεί όλες τις κατηγορίες σχετικών δεδομένων οι οποίες χρησιμοποιούνται στη διάνοιξη σήραγγων. Οι εξουσιοδοτημένοι χρήστες του προγράμματος μπορούν να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα αυτά μέσω δύο άκρων, μιας εφαρμογή τοπικού υπολογιστή-πελάτη (Kronos Client) ή/και μιας τοποθεσία στο διαδύκτιο (Kronos Web) (Σχήμα 4–1). Με αυτή τη μέθοδο, όλη η απαιτούμενη διαχείριση δεδομένων και λειτουργιών, όπως για παράδειγμα τα δεδομένα εισόδου και εξόδου, εισαγωγής και εξαγωγής, κλπ μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε αλληλεπιδραστικά είτε κάνοντας χρήση των δεδομένων αυτόματης αποστολής και λήψης υπηρεσιών. Επιπλέον, το σύστημα αυτό μπορεί να υποστηρίζει μια ποικιλία μορφών ανταλλαγής δεδομένων.



Σχήμα 4–1, Κατηγορίες δεδομένων και στοιχείων του συστήματος Kronos, διασυνδέση χρήστη και βάσης δεδομένων, Πηγή: K. Chmelina et al, 2009

Από τεχνικής άποψης το σύστημα έχει βασιστεί στην τελευταία τεχνολογία βάσης δεδομένων (MSSQL Server) επιτρέποντας κάθε είδους διαχείριση ψηφιακών δεδομένων τα οποία παράγονται κατά την κατασκευή μίας σήραγγας. Τα δεδομένα στο σύστημα μπορούν να αποθηκευτούν είτε σε πίνακες ή σχέσεις που δημιουργεί η ίδια η βάση δεδομένων είτε σε μορφή εγγράφων. Τα αρχεία αποθήκευσης που υποστηρίζει το σύστημα παρουσιάζονται στο Σχήμα 4–1 (Γεωμετρία, Γεωτεχνικά, Γεωλογία, Παρακολούθηση, Κατασκευές, Μηχανήματα, Καταστάσεις Συναγερμού, Τεχνικές Εκθέσεις). Οι χρήστες μπορούν να εισέλθουν στη βάση δεδομένων μέσω δύο εισόδων είτε μέσω της εγκατεστημένης εφαρμογής που βρίσκεται στον υπολογιστή τους (Βάση Δεδομένων

Kronos) είτε μέσω του διαδικτύου (ιστοσελίδα Kronos). Όλα τα δεδομένα μπορούν εύκολα να αναζητηθούν, να βρεθούν και να συλλεχθούν με τη βοήθεια ενός προγράμματος όπως είναι το GIS. Η εισαγωγή και εξαγωγή δεδομένων μπορεί να πραγματοποιηθεί εύκολα από τον χρήστη μέσω ειδικού μενού του συστήματος και παραθύρων διαλόγου ή αυτόματα μέσω ειδικών υπηρεσιών.

Επίσης, έχουν σχεδιασθεί εφαρμογές και υπηρεσίες οι οποίες υποστηρίζουν ανάγκες του έργου, όπως η συνεχής παρακολούθηση, οι καταστάσεις συναγερμού, οι υποβολές εκθέσεων ή η ανάλυση και οπτικοποίηση δεδομένων. Όλα τα παραπάνω σχεδιάζονται και προσαρμόζονται πάντα στο εκάστοτε έργο το οποίο εξυπηρετούν.

4.2. Εφαρμογή του συστήματος Kronos για το Μετρό Θεσσαλονίκης



Εικόνα 4–1, Χάρτης του Μετρό Θεσσαλονίκης, Πηγή: Αττικό Μετρό

Η εταιρία Geodata είναι υπεύθυνη για την εγκατάσταση του συστήματος Kronos το οποίο λειτουργεί ως η βάση δεδομένων Γεωμηχανικής και Δομητικής Παρακολούθησης του έργου. Σε σύγκριση με τη Βουδαπέστη, το σύστημα της Θεσσαλονίκης έχει επιπλέον τη δυνατότητα να ελέγχει διάφορους αισθητήρες παρακολούθησης μέσω διαδικτύου, να διαχειρίζεται τα δεδομένα των επιφανειακών κατασκευών (π.χ. κτίρια), των γεωτρήσεων, των TBM, κ.λπ., και να λειτουργεί ως ένα σύστημα διαχείρισης εγγράφων. Επιπρόσθετα,

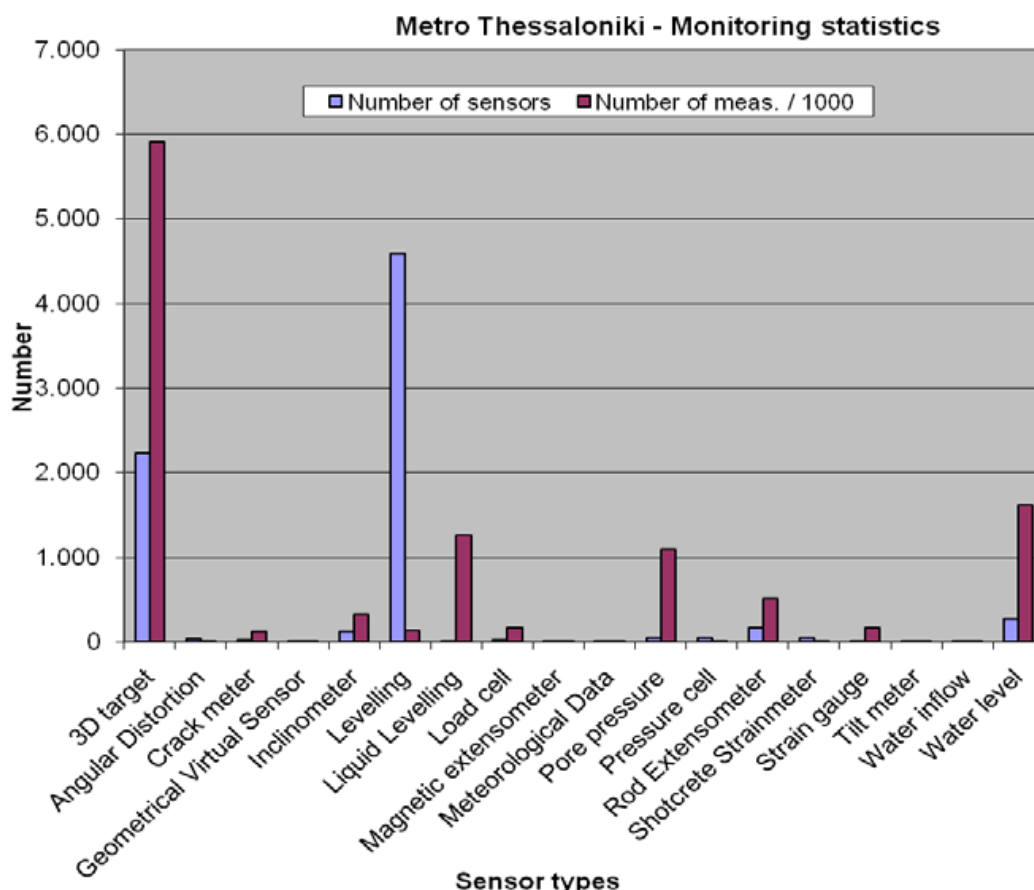
εκτός από την υπηρεσία σήμανσης σε καταστάσεις συναγερμού, το συγκεκριμένο σύστημα μπορεί να εξάγει αυτόματα εκθέσεις αναφοράς και να τις παρέχει στους αρμόδιους φορείς. Αυτή η υπηρεσία έχει στόχο να μην είναι πλέον αναγκαία καθημερινή αναζήτηση στοιχείων και η χειρωνακτική συλλογή των απαιτούμενων δεδομένων δεδομένου ότι όλα παρέχονται αυτόματα από το σύστημα. Στην θέση του έργου συνδέονται στο σύστημα και επωφελούνται από αυτό περισσότεροι από 30 χρήστες (ειδικοί από την Αττικό Μετρό και τον εκάστοτε Ανάδοχο).

Επίσης, εκτελείται ένα μεγάλο γεωτεχνικό πρόγραμμα παρακολούθησης του έργου ώστε να εξασφαλισθεί η ασφάλεια των υπερκείμενων κατασκευών και των κτιρίων για τα οποία έγινε μελέτη πριν την έναρξη του έργου. Το σύστημα Kronos λειτουργεί μέσω πολυάριθμων αισθητήρων παρακολούθησης, όπως γεωδαιτικοί σταθμοί (Εικόνα 4–2) που μετρούν σε τακτά χρονικά διαστήματα εκατοντάδες 3d στόχους οι οποίοι έχουν εγκατασταθεί σε προσόψεις κτιρίων, τοίχους σιράγγων, επί του εδάφους κλπ.



Εικόνα 4–2, Μετρητές παραμορφώσεων σε μέσα στη σήραγγα (αριστερά) και στην επιφάνεια(δεξιά), Πηγή: : K. Chmelina et al, 2009

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι στατιστικές μετρήσεις του Έργου (Σχήμα 4–2). Μέσα σε δύο χρόνια το σύστημα πληροφοριών Kronos έχει καταγράψει 11.360.000 μετρήσεις από 7.600 αισθητήρες παρακολούθησης, ενώ συγχρόνως έχουν καταγραφεί σε αυτό δεδομένα 350 γεωτρήσεων και 500 κτιρίων. Επιπλέον, κάθε ένα από τα δύο μηχανήματα EPB στέλνει μέσω διαδικτύου στη βάση δεδομένων τις τιμές 319 παραμέτρων κάθε 10 δευτερόλεπτα. Μεσα στο σύστημα βρίσκονται αποθηκευμένα παραπάνω από 300.000 αρχεία (φωτογραφίες, πρωτόκολλα, εκθέσεις).



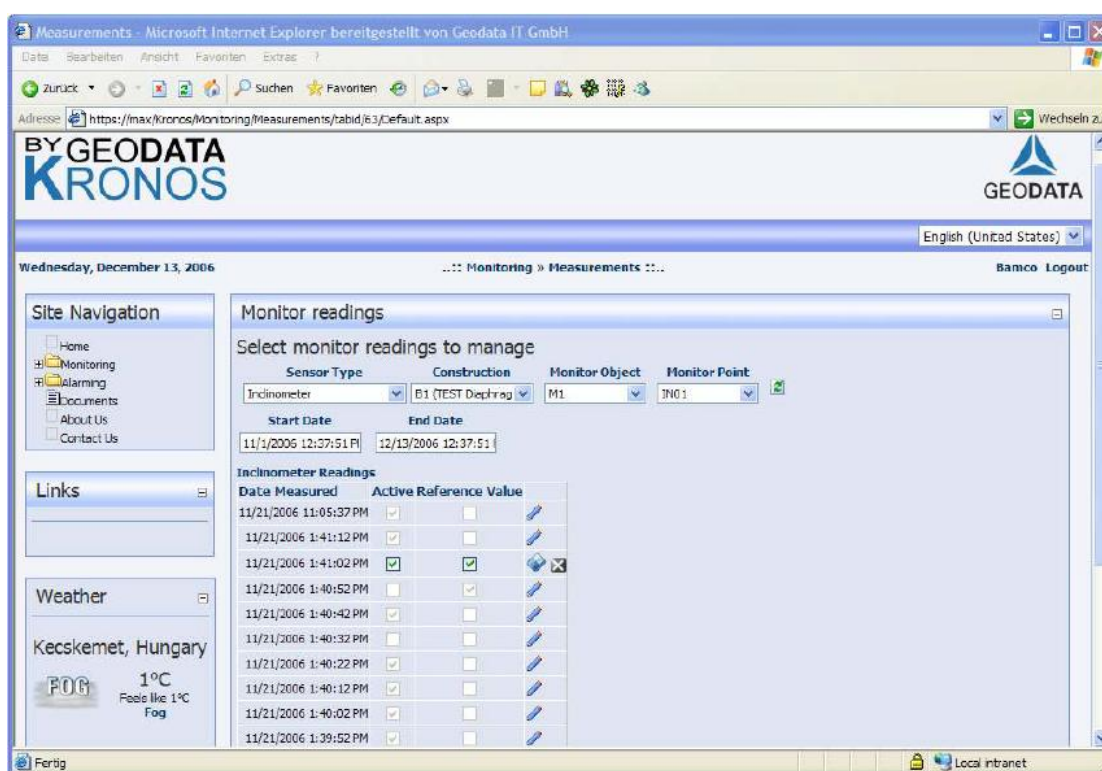
Σχήμα 4–2, Στατιστικά μετρήσεων από το Βασικό Έργο, Πηγή: K. Chmelina et al, 2009,

4.3. Βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας του συστήματος Kronos

Τα κύρια χαρακτηριστικά του συστήματος είναι:

- Ενιαία διαδικασία για συστηματική αποθήκευση των δεδομένων που προκύπτουν από τις διάφορες πηγές μετρήσεων
- οπτικοποίηση των μετρήσεων σε μορφή πινάκων και διαγραμμάτων

- γραφικές απεικονίσεις των μετρήσεων οι οποίες μεταβάλλονται με κάθε αλλαγή των μετρήσεων, καταγραφή και υποβολή αναλυτικών εκθέσεων καθώς και άμεση διαθεσιμότητα των εκθέσεων μέσω διαδικτύου (Εικόνα 4–3)
- διαχείριση των εικόνων, των σχεδίων, των πλάνων, των αρχείων καταγραφής των γεωτρήσεων, των δεδομένων των μετρήσεων κ.α.
- λειτουργία μέσω διαδικτύου και δυνατότητα σύνδεσης πολλαπλών χρηστών
- ρύθμιση αυτόματων ειδοποιήσεων όταν οι συνθήκες το επιβάλλουν, δηλαδή όταν προκύψει κάποια αυθαίρετη μέτρηση ή όταν οι μετρήσεις ξεπερνούν τα επιτρεπτά όρια.



Εικόνα 4–3, Σύνδεση στο σύστημα Kronos μέσω διαδικτύου

4.3.1. Περιγραφή εφαρμογών

Αποθήκευση δεδομένων

- σύγχρονη και αποτελεσματική βάση δεδομένων (διακομιστής Microsoft SQL)
- συνδυασμός δεδομένων που προέρχονται από διάφορες πηγές σε μία σταθερή βάση δεδομένων

- αποθήκευση εικόνων, σχεδίων, γραφικών παραστάσεων, στοιχεία γεωτρήσεων κ.τ.λ. σε σύστημα ιεράρχισης των δεδομένων
- εύκολη εύρεση οποιονδήποτε αλλαγών στα δεδομένα εξαιτίας ενός ειδικά διαμορφωμένου συστήματος καταγραφής όλης της ιστορίας του έργου
- απαίτηση ειδικής χορήγησης άδειας πρόσβασης στους χρήστες

Συλλογή δεδομένων

Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μόνος του:

- τα δεδομένα που θέλει να εξάγει
- η γεωμετρία που επιθυμεί (π.χ. άξονες, προφίλ, κ.λπ.)
- τα όργανα από τα οποία θέλει μετρήσεις
- τη χρονική περίοδο των μετρήσεων
- έγγραφα τα οποία επιθυμεί
- να κατασκευάσει διαγράμματα παρουσίασης των μετρήσεων

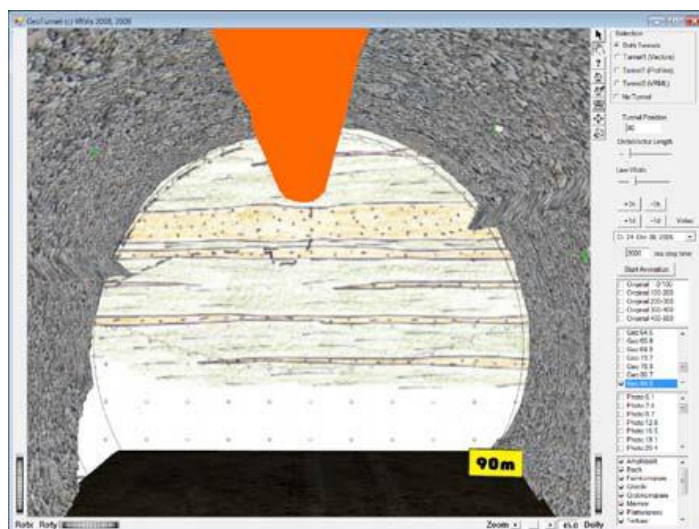
4.3.2. Εικονική πραγματικότητα - οπτικοποίηση

Προκειμένου να ενισχυθούν οι δυνατότητες παρουσίασης και απεικόνισης των δεδομένων του συστήματος Kronos γίνονται δοκιμές ώστε να μπορεί να λειτουργήσει και σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας. Αυτή η νέα τεχνική θα επιτρέπει στο σύστημα να παράγει τρισδιάστατα μοντέλα απεικόνισης της σήραγγας μέσω του συνδυασμού διάφορων πηγών δεδομένων. Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της εφαρμογής είναι ότι θα υπάρχει η δυνατότητα της καλύτερης κατανόησης των συνθηκών που επικρατούν μέσα στη σήραγγα.

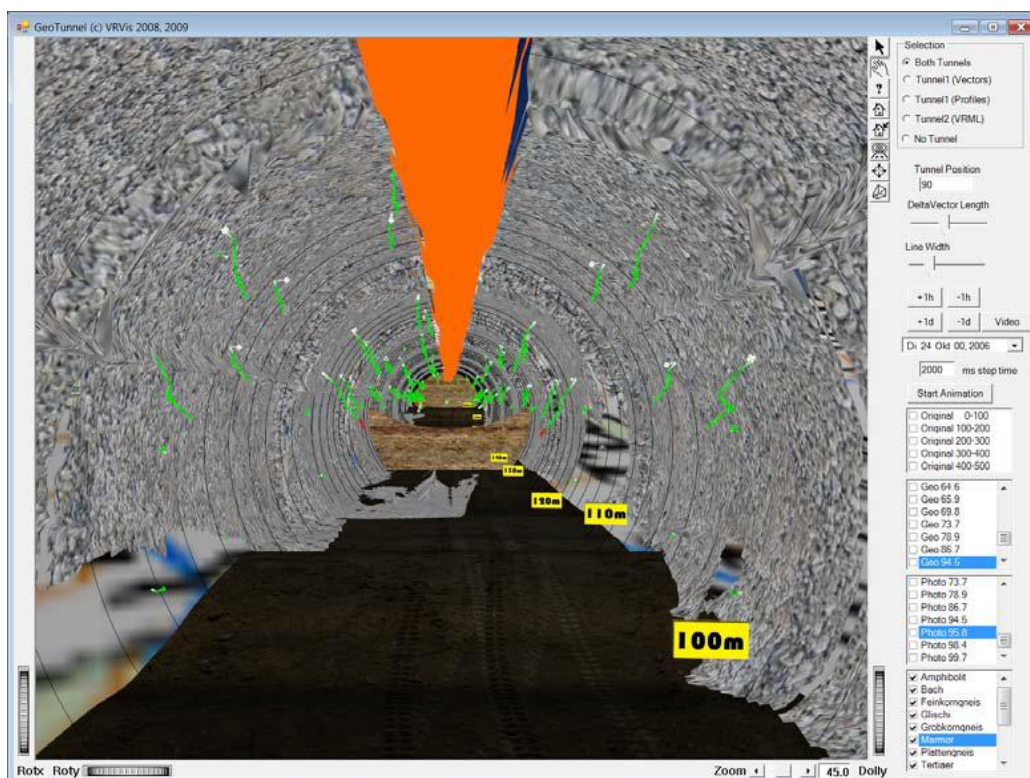
Οι βασικές πηγές δεδομένων που μελλοντικά μπορούν να οδηγήσουν στην οπτικοποίηση των μετρήσεων είναι:

- τριδιάστατα μοντέλα σήραγγων (π.χ. αυτόματη επεξεργασία από τους άξονες της σήραγγας),
- τριδιάστατα μοντέλα των γεωλογικών συνθηκών (π.χ. ένα αρχείο από το AutoCAD το οποίο θα προέρχεται από ειδικούς γεωλόγους), (Εικόνα 4-4)

- διανύσματα μετατόπισης (από υπάρχουσες ή προβλεφθείσες μετρήσεις)
- πραγματικές εικόνες ή χειρόγραφα σχέδια (π.χ. της όψης της σήραγγας),
- αρχεία τα οποία καταγράφουν την πρόοδο της κατασκευής της σήραγγας.



Εικόνα 4–4, Απεικόνιση της γεωλογίας του μετώπου της σήραγγας με γεωλογικό σκίτσο, Πηγή: K. Chmelina et al., 2009



Εικόνα 4–5, Τριδιάστατη απεικόνιση των συνθηκών που επικρατούν μέσα σε σήραγγα κατά την εκσκαφή της σε δύο φάσεις, Πηγή: K. Chmelina et al, 2009,

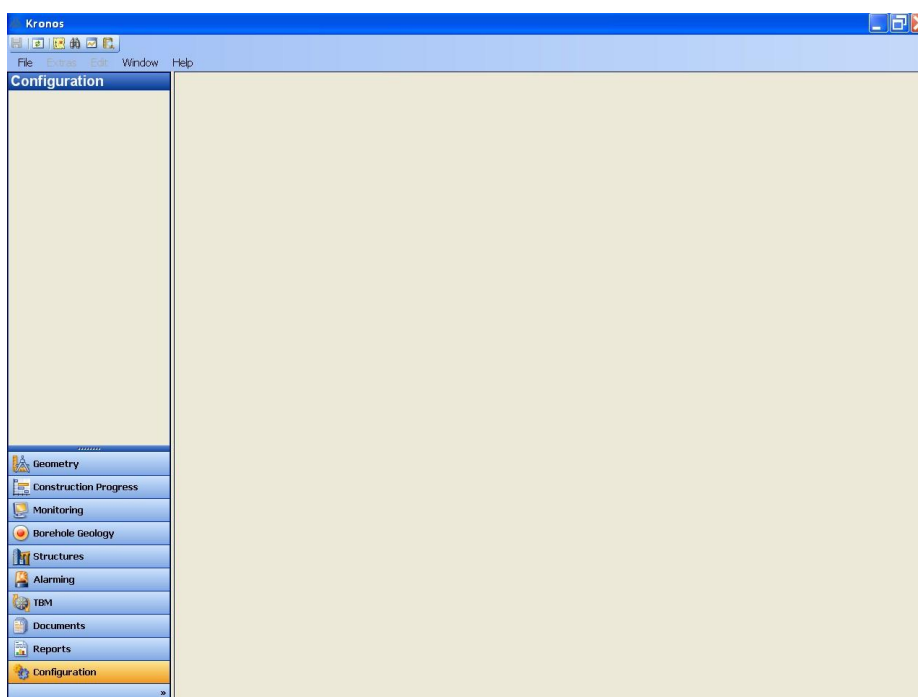
Κατά τη διάρκεια της κατασκευής μιας σήραγγας θα μετρώνται τα τρισδιάστατα διανύσματα μετατόπισης και θα πρέπει να συγκρίνονται συνεχώς με τα αντίστοιχα προβλεπόμενα από τη μελέτη διανύσματα ώστε να διασφαλίζονται οι υποθέσεις της σχεδίασης αλλά και η ασφάλεια του έργου. Επίσης, θα μπορούν να παρουσιάζονται στα τρισδιάστατα σχέδια και οι δύο άξονες συναρτήσεως του χρόνου ώστε να είναι πιο εύκολος ο έλεγχος του από τον χρήστη. Τα σκίτσα αυτά θα μπορούν να οδηγήσουν σε επίλυση προβλημάτων των οποίων η λύση είναι δύσκολη χωρίς οπτικοποίηση των συνθηκών.

Η αύξηση της τιμής μετατόπισης των διανυσμάτων, και ειδικά της ταχύτητας τους, εξαρτάται άμεσα από τη θέση των οργάνων και την προχώρηση του μετώπου. Αυτή η εξάρτηση μπορεί να παρακολουθείται μέσω της παρουσίας της υπό κατασκευήν σήραγγας με τριδιάστατη απεικόνιση (Εικόνα 4–5), έτσι μπορεί να παρουσιασθεί μία θεωρητική προσέγγιση των συνθηκών που θα επικρατήσουν στο επόμενο βήμα προχώρησης. Αυτό βέβαια μπορεί να πραγματοποιηθεί στην περίπτωση που η πρόοδος της σήραγγας πραγματοποιείται σύμφωνα με τις αναμενόμενες συνθήκες. (Πηγή: K. Chmelina et al. 2009)

4.4. Λειτουργίες του πληροφοριακού συστήματος Kronos

4.4.1. Αρχική οθόνη

Το σύστημα Kronos εγκαθίσταται σε έναν υπολογιστή, όπως μία οποιαδήποτε εφαρμογή αρκεί να υπάρχει η ειδική άδεια χρήσης που απαιτείται. Με την επιλογή της έναρξης του προγράμματος ανοίγει στην οθόνη του υπολογιστή το αρχικό παράθυρο (Εικόνα 4–6).



Εικόνα 4–6, Παράθυρο έναρξης

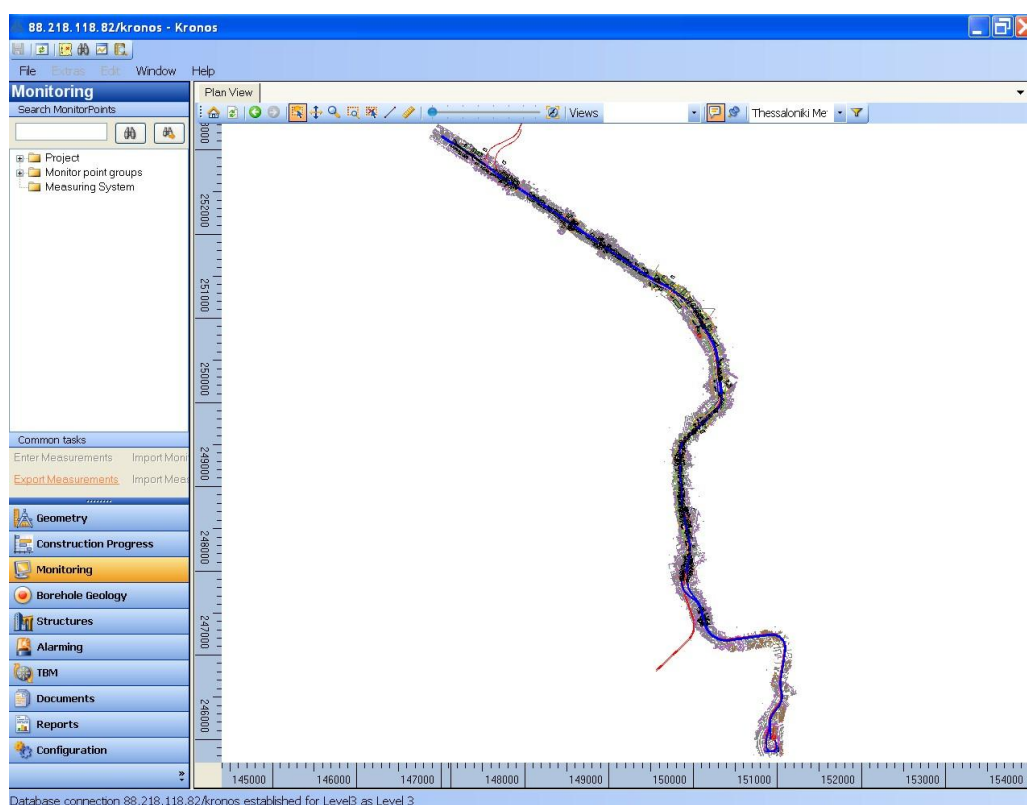
Το παράθυρο αυτό εμφανίζει τις βασικές λειτουργίες του συστήματος καθώς και το βασικό μενού λειτουργίας (Εικόνα 4–7)



Εικόνα 4–7, Βασικές επιλογές λειτουργίας(αριστερά), Αρχικό Μενού λειτουργίας (δεξιά)

Το αρχικό μενού (Εικόνα 4–7) στο βασικό παράθυρο έναρξης διαθέτει τις εξής λειτουργίες:

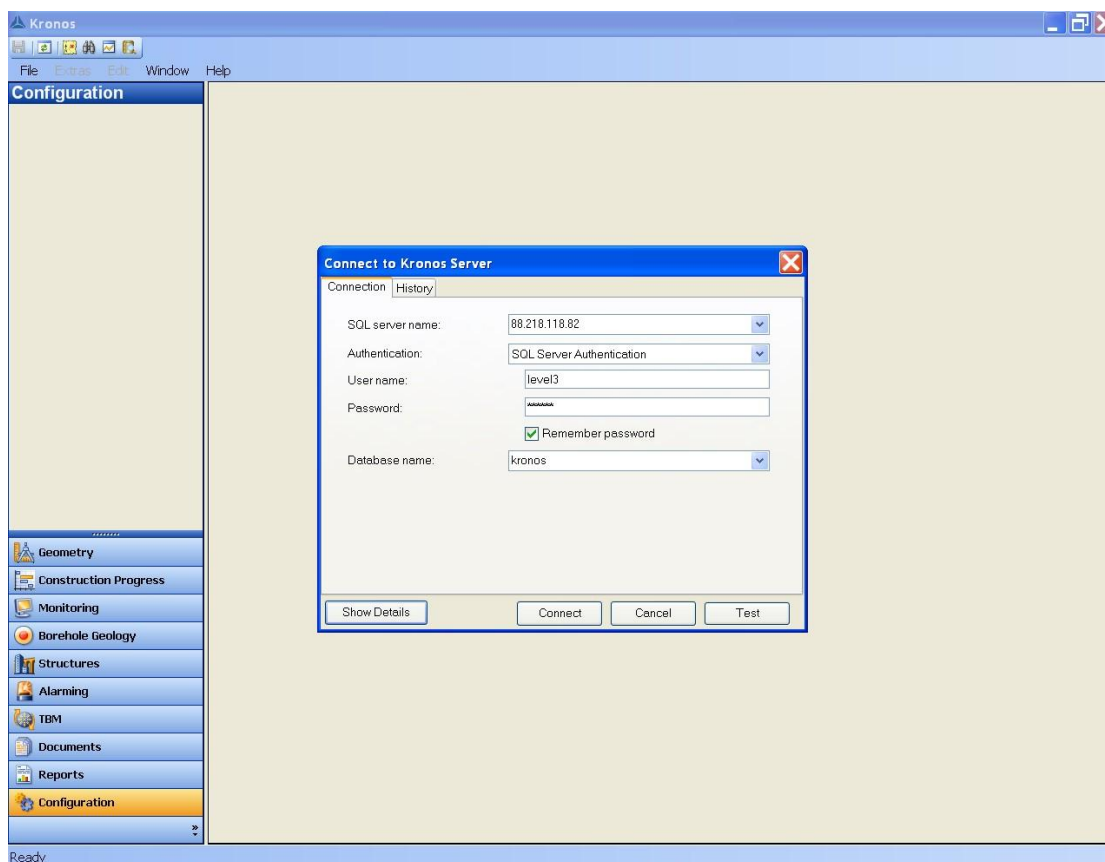
- Κουμπί “Αποθήκευσης” (Save)
- Κουμπί “Ανανέωση” (Refresh): Μερικές φορές οι προεπιλεγθείσες εντολές δεν εμφανίζονται άμεσα ύστερα από κάποια αποθήκευση, για αυτόν το λόγο απαιτείται η χρήση της συγκεκριμένης εντολής.
- Με την επιλογή αυτού του κουμπιού ανοίγει η “Συνολική Κάτοψη του Έργου” (Plan View). (Εικόνα 4–8).
- Κουμπί “Εξειδικευμένη Αναζήτηση” (Advanced Search)
- Κουμπί “Ανάγνωση Δεδομένων” (Reading View): με την επιλογή αυτού του κουμπιού εμφανίζονται οι μετρήσεις των σημείων που έχουν επιλεγθεί.
- Με την επιλογή του κουμπιού “Αποθηκευμένες αναζητήσεις” (Stored Query) ανοίγει ένα παράθυρο στο οποίο είναι καταγεγραμμένες χρήσιμες αναζητήσεις διαφόρων χρηστών του προγράμματος.



Εικόνα 4–8, Συνολική κάτοψη του Βασικού Έργου

Όταν επιλεγθεί μία από τις παραπάνω λειτουργίες στο πρόγραμμα, τότε ανοίγει ένα παράθυρο διαλόγου το οποίο ζητά από τον χρήστη την εισαγωγή του κωδικού πρόσβασης.

Εφόσον ο κωδικός είναι σωστός τότε πραγματοποιείται σύνδεση με το διακομιστή (Εικόνα 4–9).



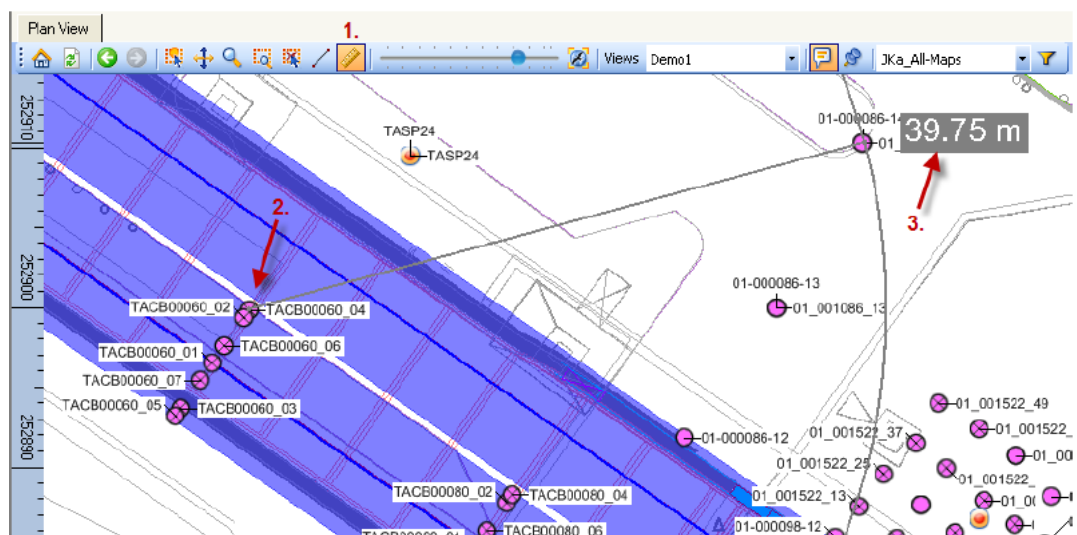
Εικόνα 4–9, Σύνδεση με το διακομιστή

4.4.2. Μενού λειτουργίας



1. Επιστροφή στην αρχική οθόνη (Reset view)
2. Ανανέωση (Redraw)
3. Προηγούμενο (Backward): παρουσιάζει την προηγούμενη οθόνη
4. Επόμενο (Forward): παρουσιάζει την επόμενη οθόνη
5. Κουμπί επιλογής (Select mode): επιλέγει όλα τα επιθυμητά όργανα είτε επιλέγοντας το καθένα ξεχωριστά είτε επιλέγοντας όλη την επιθυμητή περιοχή

6. Πανοραμική λειτουργία (Pan mode): επιτρέπει την κίνηση και την περιφορά πάνω στο σύνολο της κάτοψης χωρίς να επιλέγονται όργανα μέτρησης
7. Ζουμ (Zoom mode)
8. Ζουμ σε επιλεγμένο παράθυρο (Zoom Window mode): γίνεται μεγέθυνση μόνο στο παράθυρο που έχει επιλεχθεί
9. Αναίρεση επιλογής (De-select mode): μπορούν να αναιρεθούν τα όργανα μέτρησης που έχουν επιλεχθεί είτε ένα ένα είτε επιλέγοντας μία συγκεκριμένη περιοχή
10. Εργαλείο κοπής (Cutting tool): σχεδιάζει μία εγκάρσια τομή στο σημείο που θα επιλεχθεί
11. Χάρακας (Measuring Tool): μετρά αποστάσεις πάνω στον χάρτη (Εικόνα 4–10)
12. Δυναμικό Ζουμ (Dynamic zoom): επιτρέπει την χρήση του κέρσορα του ποντικιού ώστε να γίνεται γρήγορα μεγέθυνση και σμίκρυνση
13. Επισκόπηση με κίνηση (Animated Overview): με την επιλογή αυτού του κουμπιού γίνεται αυτόματα μία σμίκρυνση ώστε να φανεί η γύρω περιοχή και ύστερα ξαναγυρνά στην αρχική οθόνη
14. Αποθηκευμένες όψεις (Stored Views): μπορεί να επιλεχθεί μέσα από τη λίστα κάποια ήδη υπάρχουσα όψη (π.χ. που να δείχνει μόνο τη θέση των γεωτρήσεων)
15. Εμφάνιση ετικετών (Show labels): εμφάνιση ή διαγραφή της ονομασίας των οργάνων
16. Ρύθμιση μεγέθους ετικέτας (Set label scale)
17. Αποθηκευμένα φόντα (Saved filters): επιλογή μέσα από μία λίστα αποθηκευμένων φόντων, τα οποία είναι κατασκευασμένα από προηγούμενους χρήστες
18. Αλλαγή των ιδιοτήτων του φόντου (Edit filter settings): επιλέγει ο ίδιος ο χρήστης ποιά στοιχεία θέλει να εμφανίζονται.

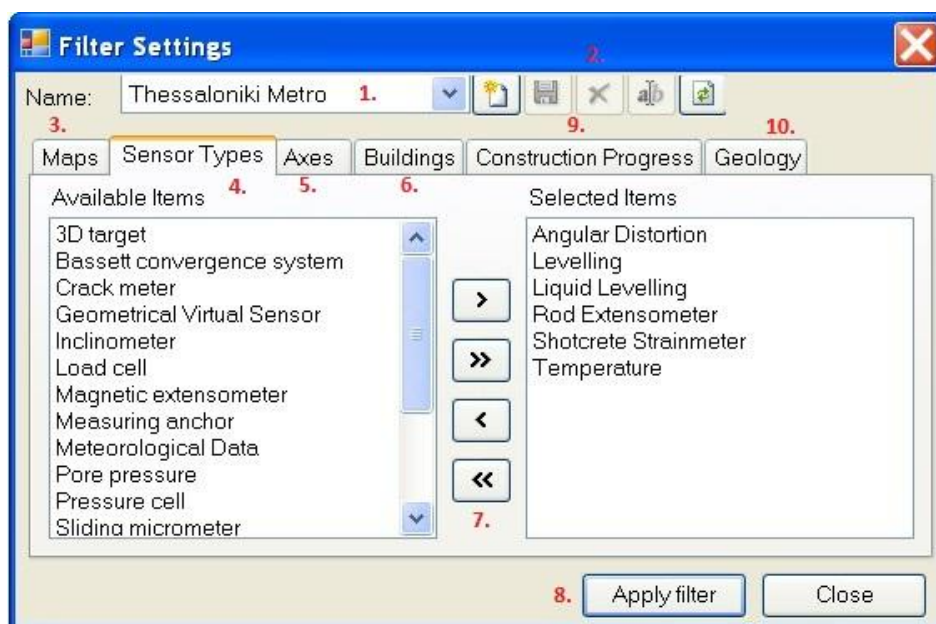


Εικόνα 4–10, Μέτρηση απόστασης σε μέτρα με τη βοήθεια του χάρτη

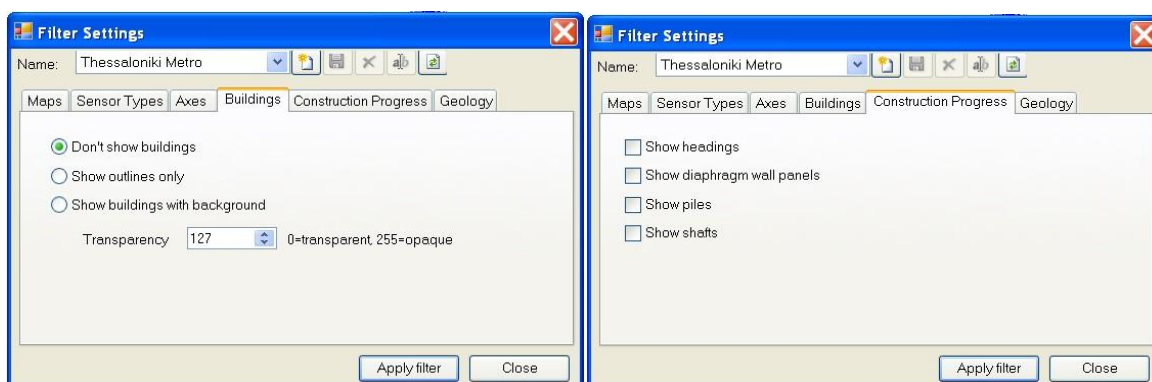
4.4.3. Επιλογή Περιβάλλοντος Εργασίας

Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τις ιδιότητες του φόντου που θα χρησιμοποιήσει. Το περιεχόμενο από το οποίο μπορεί να επιλέξει ο χρήστης είναι: σχέδια, όργανα μέτρησης, άξονες, κτίρια, πρόοδος κατασκευής και γεωλογία. Μέσα από το αρχικό μενού παρέχεται η δυνατότητα επιλογής ενός φόντου σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά που απαιτούνται κάθε φορά. Η λειτουργία αυτή είναι παρόμοια με τη χρήση των στρωμάτων (layers) στο AutoCAD, για παράδειγμα τα σχέδια ή τα όργανα μέτρησης που θα επιλεγθούν αρχικά μπορούν κάποια από αυτά στη συνέχεια να απενεργοποιηθούν.

Για τη δημιουργία ενός φόντου εργασίας, μπορεί να επιλεγθεί είτε ένα ήδη αποθηκευμένο φόντο [1] είτε να δημιουργήσει ο χρήστης ένα δικό του με τα κουμπιά επιλογών [2]. Όλα τα διαθέσιμα σχέδια εμφανίζονται στο πεδίο "Maps" [3], όλα τα όργανα μέτρησης στο πεδίο "Sensor Types" [4] και οι διαθέσιμοι άξονες στο πεδίο "Axes" [5]. Ο χρήστης επιλέγει ποιά από αυτά επιθυμεί και τα μετακινεί με τα ενδιάμεσα κουμπιά [7]. Επίσης, με την επιλογή των πεδίων "Buildings" [6], "Construction Progress" [9] και "Geology" ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την εμφάνιση ή μη στοιχείων που αφορούν τις υπερκείμενες κατασκευές, την πρόοδο των έργων και τη γεωλογία (Εικόνα 4–12). Η εφαρμογή των επιλογών γίνεται με την εντολή του κουμπιού [8], εφαρμογή φόντου "Apply filter" (Εικόνα 4–11).



Εικόνα 4–11, Παράθυρο επιλογών φόντου

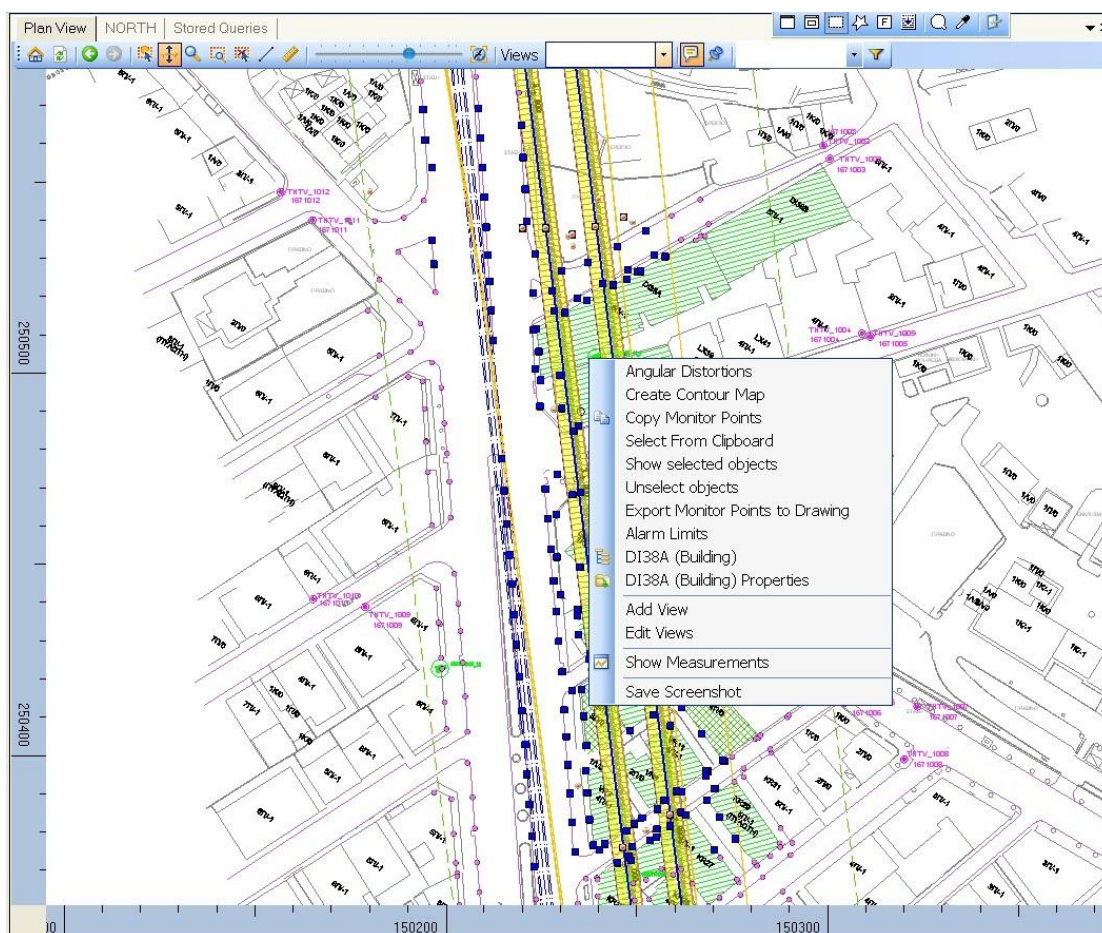


Εικόνα 4–12, Παρουσίαση επιλογών των πεδίων που αφορούν τα κτίρια (αριστερά) και την πρόοδο της κατασκευής (δεξιά)

4.4.4. Παρουσίαση μετρήσεων

Η εμφάνιση των επιθυμητών μετρήσεων μπορεί να γίνει είτε μέσω της επιλογής “Monitoring” από τις βασικές λειτουργίες (Εικόνα 4–7) είτε μέσω των οργάνων που έχουν επιλεγεί από τη γραφική απεικόνιση του σχεδίου.

Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τα σημεία που επιθυμεί από τον χάρτη της γραφικής απεικόνισης και ύστερα με δεξί κλικ να επιλέξει την εντολή της εμφάνισης των μετρήσεων “Show Measurements” (Εικόνα 4–13). Επιπρόσθετα, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την εμφάνιση των μετρήσεων ενός μόνο στοιχείου. Αυτό μπορεί να γίνει αν επιλέξει μόνο το συγκεκριμένο στοιχείο και μετά ακολουθήσει την ίδια διαδικασία.

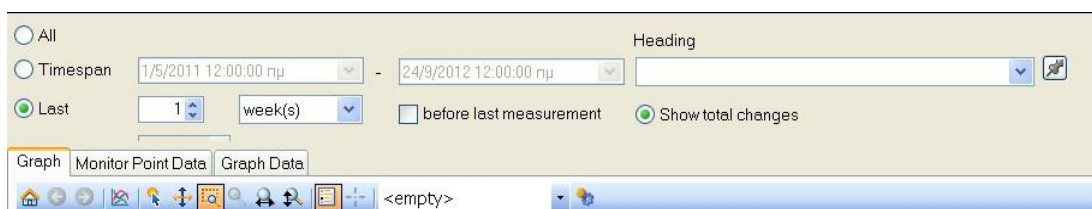


Εικόνα 4–13, Επιλογή συγκεκριμένων οργάνων μέτρησης για την εμφάνιση των μετρήσεων τους

Στη συνέχεια ο χρήστης του συστήματος έχει τη δυνατότητα να επιλέξει το χρονικό διάστημα των μετρήσεων που θέλει να εμφανιστούν.

Για παράδειγμα μπορεί να επιλέξει να εμφανιστούν:

- όλες οι μετρήσεις από την αρχή του έργου
- οι μετρήσεις ανάμεσα σε κάποιες ημερομηνίες που θα επιλέξει ο ίδιος
- οι μετρήσεις κάποιου τελευταίου χρονικού διαστήματος (π.χ. εβδομάδα, μήνας)
- οι τελευταίες μετρήσεις (επιλογή συγκεκριμένου αριθμού μετρήσεων) (Εικόνα 4–14)



Εικόνα 4–14, Πεδίο επιλογής του χρονικού διαστήματος των μετρήσεων

Στη συνέχεια με την επιλογή του πεδίου “Graph Data”, εμφανίζονται όλες οι μετρήσεις που έχουν ζητηθεί (Εικόνα 4–15). Επίσης, αν ο χρήστης το επιθυμεί υπάρχει η δυνατότητα το σύστημα να κατασκευάσει διαγράμματα για τις τιμές των επιλεγμένων οργάνων.

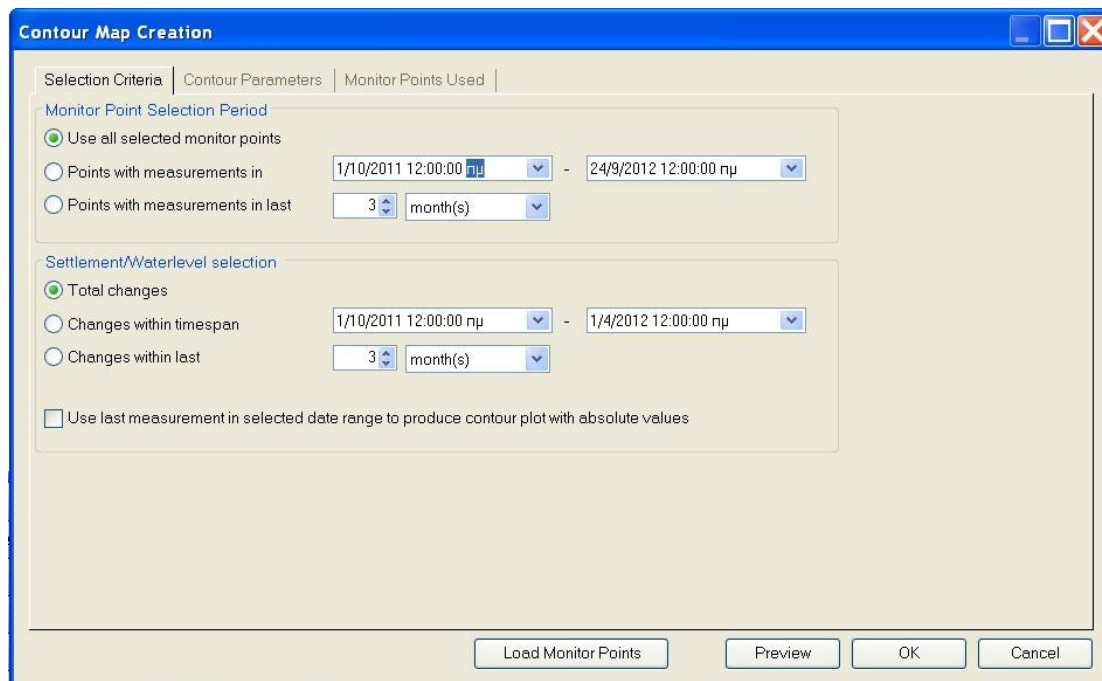
Name	Date	Value
TBSS0561 14 Vertical Displacement	2/4/2008 09:36:00	0,00000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	10/4/2008 13:30:00	-0,07000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	15/4/2008 09:05:00	0,29000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	17/4/2008 11:05:00	0,21000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	22/4/2008 09:05:00	0,20000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	24/4/2008 09:05:00	0,07000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	9/5/2008 13:05:00	0,23000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	16/5/2008 14:00:00	-0,01000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	21/5/2008 11:30:00	-0,22000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	4/6/2008 12:05:00	0,14000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	12/6/2008 11:05:00	-0,21000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	19/6/2008 11:05:00	-0,82000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	24/6/2008 11:05:00	0,26000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	1/7/2008 12:05:00	-0,22000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	10/7/2008 09:05:00	-0,30000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	1/8/2008 10:05:00	-0,12000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	18/8/2008 09:05:00	-0,10000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	9/9/2008 15:15:00	0,13000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	11/9/2008 14:00:00	-0,24000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	16/9/2008 12:05:00	0,01000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	18/9/2008 14:30:00	-0,16000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	22/9/2008 11:05:00	0,17000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	29/9/2008 13:05:00	0,07000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	2/10/2008 13:05:00	-0,03000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	7/10/2008 12:05:00	-0,07000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	13/10/2008 11:05:00	-0,09000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	17/10/2008 10:05:00	-0,04000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	22/10/2008 09:05:00	-0,04000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	29/10/2008 12:05:00	-0,28000
TBSS0561 14 Vertical Displacement	3/11/2008 13:05:00	-0,18000

Εικόνα 4–15, Εμφάνιση των μετρήσεων των επιλεγμένων οργάνων

4.4.5. Δημιουργία σχεδίου με ισοϋψείς καμπύλες

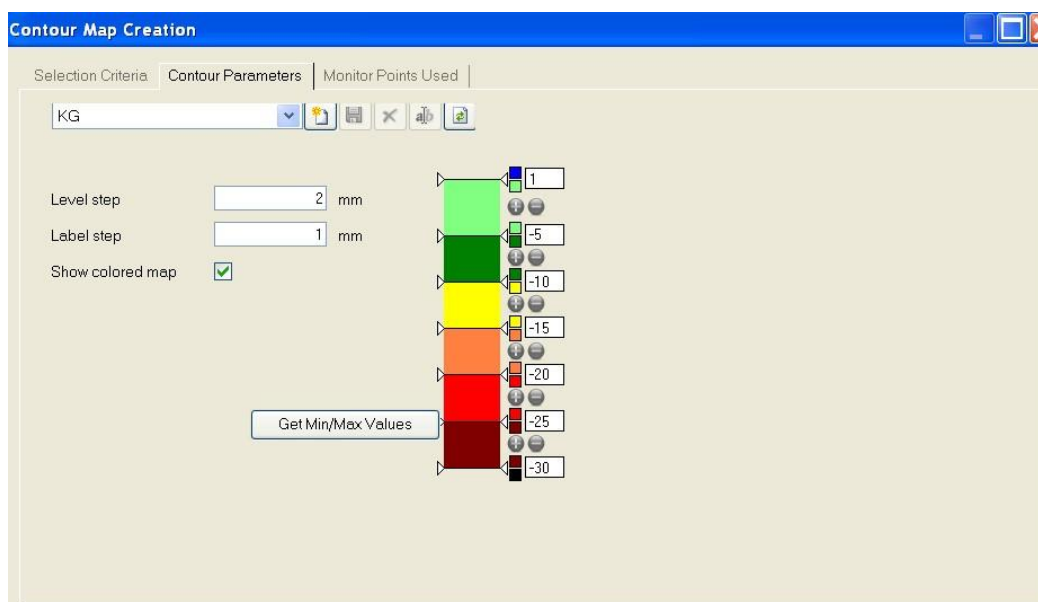
Αν ο χρήστης επιθυμεί την οπτικοποίηση μίας περιοχής που έχει υποστεί μετακινήσεις ή την εμφάνιση της στάθμης του υδροφόρου ή την εμφάνιση των τιμών των μετρητών της πίεσης των πόρων, τότε η συγκεκριμένη λειτουργία αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο.

Αρχικά επιλέγεται μία περιοχή και στη συνέχεια με δεξί κλικ επιλέγεται η εντολή "Create Contour Map" (Εικόνα 4-13). Στη συνέχεια ανοίγει ένα παράθυρο διαλόγου το οποίο επιτρέπει τη δημιουργία, την αποθήκευση, την φόρτωση και την αλλαγή των παραμέτρων για τη δημιουργία του σχεδίου (Εικόνα 4-16).



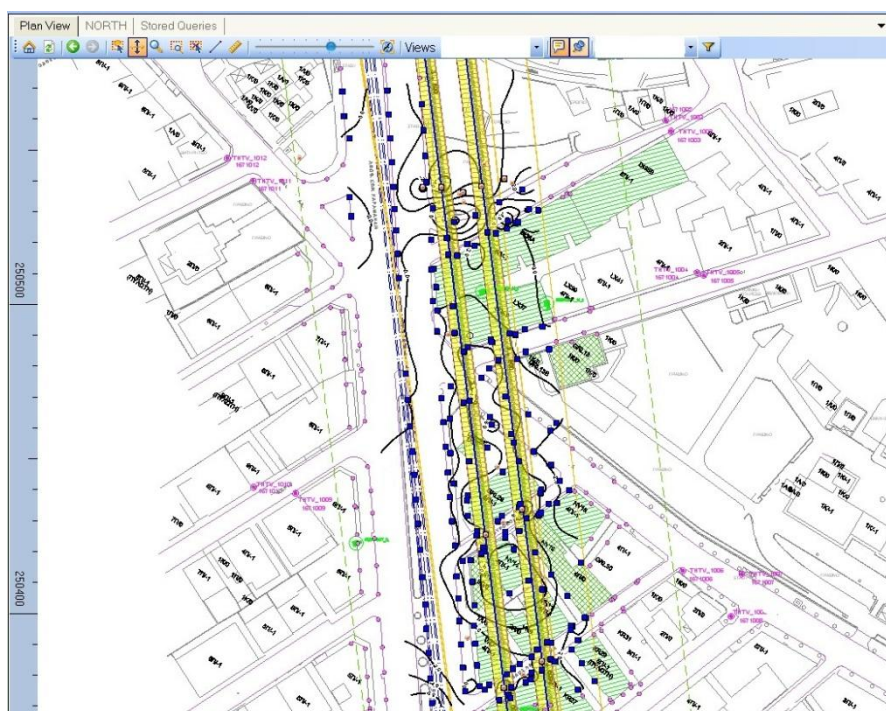
Εικόνα 4-16, Επιλογή οργάνων μέτρησης που θα χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία του σχεδίου

Στη συνέχεια, με την επιλογή του πεδίου "Contour Parameters", μπορεί να καθοριστεί η απόσταση μεταξύ δύο ισοϋψών καμπυλών αλλά η απόσταση μεταξύ δύο καμπυλών που θα καταγράφουν την τιμή τους (Εικόνα 4-17). Επιπρόσθετα, μπορεί να γίνει επιλογή ώστε να εμφανίζεται και η χρωματική απεικόνιση των μετρήσεων. Το χρώματα που θα εμφανίζονται μπορεί να τα επιλέξει ο χρήστης του προγράμματος (Εικόνα 4-17).

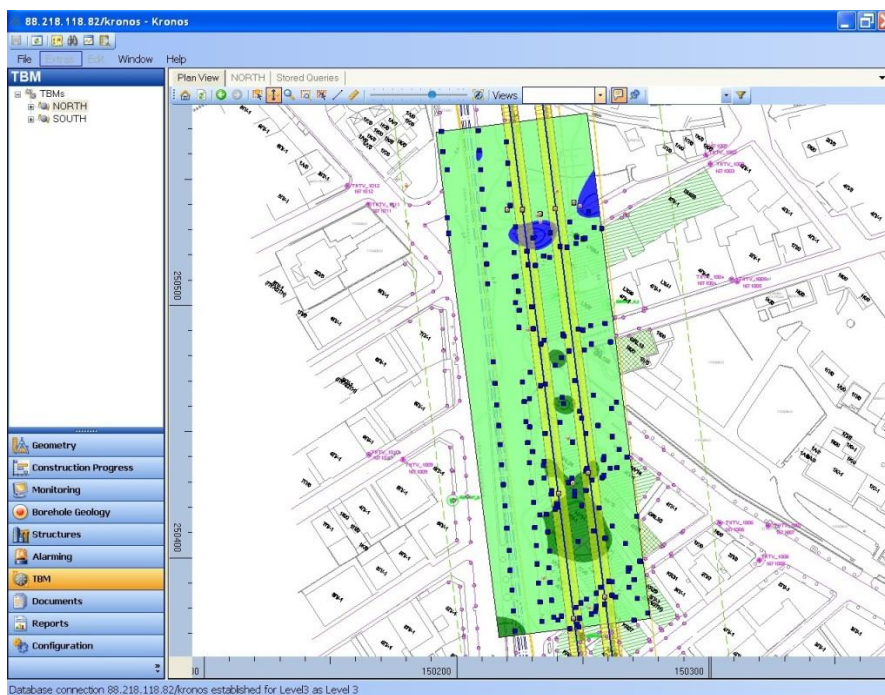


Εικόνα 4–17, Επιλογές για τη σχεδίαση του χάρτη

Ύστερα από την επεξεργασία των δεδομένων και την επιλογή των επιθυμητών παραμέτρων εμφανίζονται οι γραφικές απεικονίσεις που έχει επιλέξει ο χρήστης. Η γραφική απεικόνιση των καθιζήσεων μπορεί να γίνει είτε με την εμφάνιση των ισοψών καμπυλών (Εικόνα 4–18), είτε με την εμφάνιση των μετακινήσεων μέσω της αλλαγής των χρωμάτων (Εικόνα 4–19).



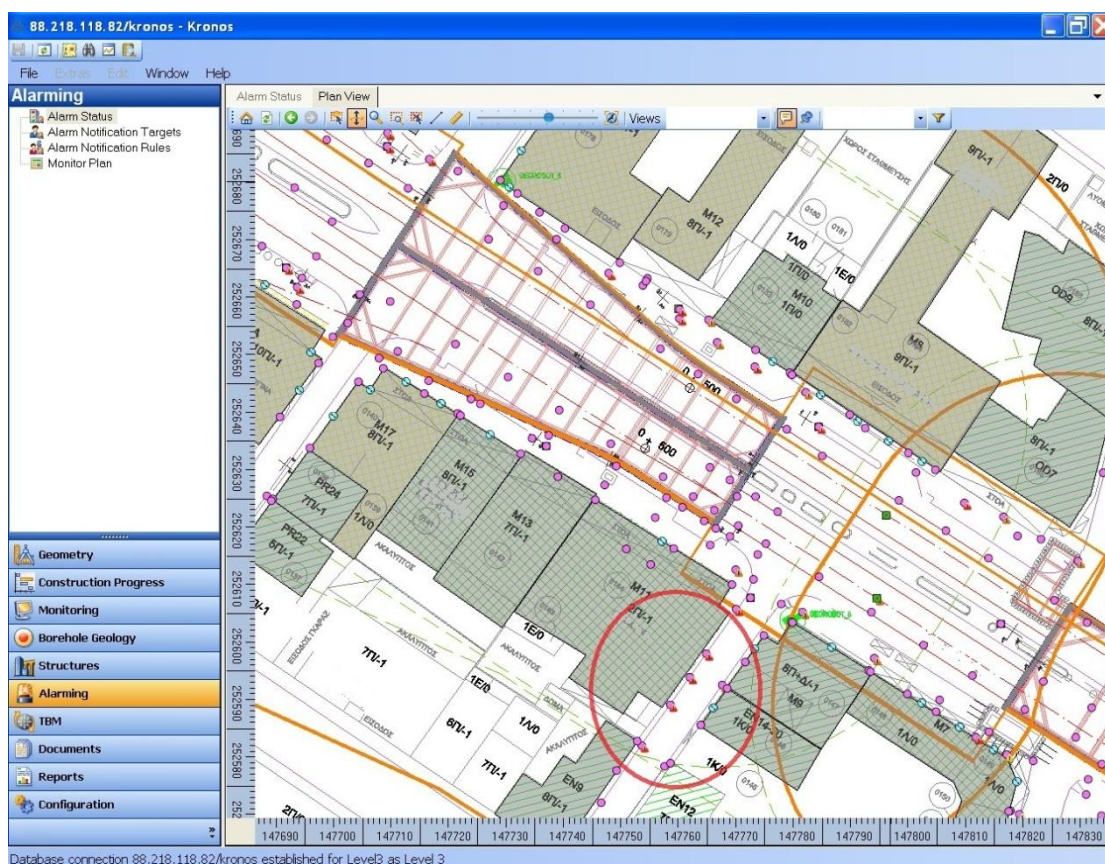
Εικόνα 4–18, Παρουσίαση γραφικής απεικόνισης καθιζήσεων με χρήση ισοψών καμπυλών



Εικόνα 4–19, Γραφική απεικόνιση καθιζήσεων με χρήση χρωματικών εναλλαγών

4.4.6 Κατάσταση συναγερμού

Το σύστημα ενημέρωσης σε καταστάσεις συναγερμού επιτρέπει τον καθορισμό συγκεκριμένων κρίσιμων τιμών ανά ομάδες οργάνων μετρήσεις. Με αυτό τον τρόπο καθορίζονται διαφορετικά όρια συναγερμού για κάθε ομάδα οργάνων μέτρησης και όταν ξεπεραστεί κάποια από τις επιτρεπόμενες τιμές τότε αποστέλεται ειδικό μήνυμα ενημέρωσης στους υπευθύνους. Επομένως, όταν κάποιο όργανο βρίσκεται σε κατάσταση κινδύνου τότε σύμφωνα με το σύστημα Kronos λέμε ότι βρίσκεται σε κατάσταση “alarm” ή “alert”, αυτές οι δύο σημάσεις αντιμετωπίζονται ως έκτακτες περιπτώσεις. Στην κάτοψη του σχεδίου οι μετρητές οι οποίοι βρίσκονται σε κατάσταση συναγερμού φέρουν και ανάλογη σήμανση (Εικόνα 4–20). Επιπλέον, για να υπάρχει κατηγοριοποίηση του κινδύνου έχουν καθοριστεί στάδια διαφορετικής βαρύτητας, δηλαδή υπάρχει το στάδιο προειδοποίησης “Warning”, το στάδιο επιφυλακής “Standby” και η κατάσταση συναγερμού “Alert”, όπως προαναφέρθηκε.



Εικόνα 4–20, Εμφάνιση οργάνων μέτρησης τα οποία βρίσκονται σε κατάσταση συναγερμού (εντός του κόκκινου κύκλου)

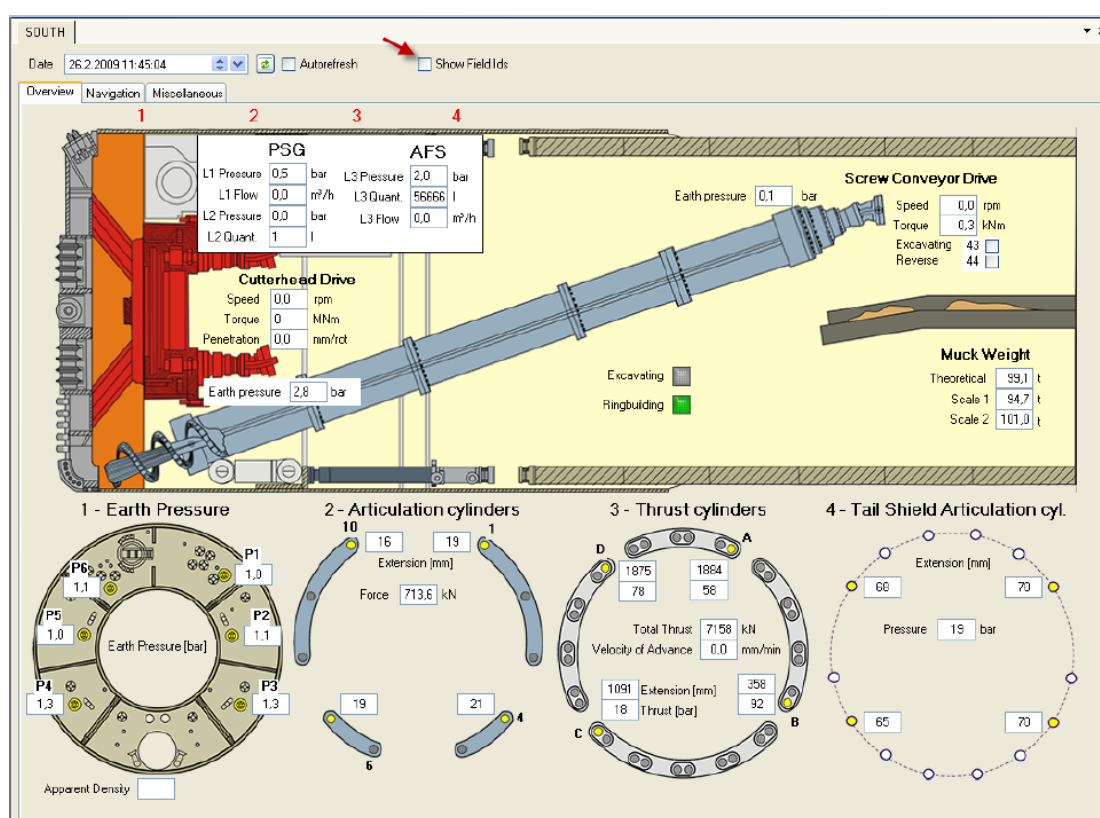
Ο έλεγχος των τιμών για κάθε ομάδα οργάνων μέτρησης πραγματοποιείται επαναληπτικά με συχνότητα λίγων δευτερολέπτων. Επιπλέον, κατά τον έλεγχο των τιμών των μετρήσεων πραγματοποιείται και έλεγχος της συχνότητας με την οποία παρουσιάζονται οι νέες μετρήσεις. Αν παρατηρηθεί κάποια μέτρηση η οποία βρίσκεται εντός των ορίων συναγερμού τότε η μέτρηση αυτή καταχωρείται σε ειδικό αρχείο καταγραφής των τιμών συναγερμού. Επομένως, αν εντοπιστεί κάποια τιμή η οποία υπερβαίνει τα φυσιολογικά όρια τότε ειδοποιούνται άμεσα μέσω του συστήματος οι υπεύθυνοι φορείς.

4.5. Κατάσταση λειτουργίας

Το σύστημα Kronos διαθέτει μία επιπλέον εφαρμογή στην οποία παρουσιάζονται όλες οι παράμετροι του μηχανήματος κατά την περίοδο λειτουργίας του. Επομένως, δίνεται η δυνατότητα σε όλους τους εξουσιοδοτημένους χρήστες του συστήματος να

παρακολουθήσουν σε πραγματικό χρόνο οποιαδήποτε στιγμή επιθυμούν την κατάσταση λειτουργίας του μηχανήματος.

Αρχικά, στη βασική οθόνη απεικονίζεται μία τομή του μηχανήματος πάνω στην οποία καταγράφονται όλες οι κρίσιμες τιμές λειτουργίας του μηχανήματος (Εικόνα 4-21). Με αυτήν την αναπαράσταση ο χρήστης μπορεί εύκολα να παρακολουθήσει και να ελέγξει τις παραμέτρους του μηχανήματος. Το σύστημα δίνει πληροφορίες για την κατάσταση λειτουργίας του μηχανήματος, δηλαδή αν εκσκάπτει ή αν τοποθετεί δακτυλίους. Επιπλέον, στο πεδίο αυτό δίνονται πληροφορίες για όλες τις παραμέτρους της κοπτικής κεφαλής, της μεταφορικής ταινίας και της πίεσης του μετώπου (Εικόνα 4-21).



Εικόνα 4-21, Παρουσίαση τιμών των βασικών παραμέτρων του μηχανήματος EPB

Στη συνέχεια, αν ο χρήστης επιλέξει το πεδίο "Navigation" παρουσιάζονται όλες οι τιμές που αφορούν την πορεία του μηχανήματος, δηλαδή παρέχονται στοιχεία για τη χιλιομετρική θέση στην οποία βρίσκεται, για το δακτυλίδι που έχει τοποθετηθεί στη συγκεκριμένη θέση και για τις συντεταγμένες του (Εικόνα 4-22).

Plan View NORTH

Overview
Navigation
Miscellaneous

Navigation Data

Ring Advance

Chainage m

Chainage Front Ring m

Roll mm/m

Pitch mm/m

Tendencies

Head hor. mm/m

Head vert. mm/m

Front hor. mm/m

Front vert. mm/m

Global Coordinates

Easting Head <input type="text"/> m	Easting Front <input type="text"/> m	Easting Back <input type="text"/> m
Northing Head <input type="text"/> m	Northing Front <input type="text"/> m	Northing Back <input type="text"/> m
Elevation Head <input type="text"/> m	Elevation Front <input type="text"/> m	Elevation Back <input type="text"/> m

Deviation Head - Back

[mm]

Horizontal Deviation Head mm

Vertical Deviation Head mm

Horizontal Deviation Front mm

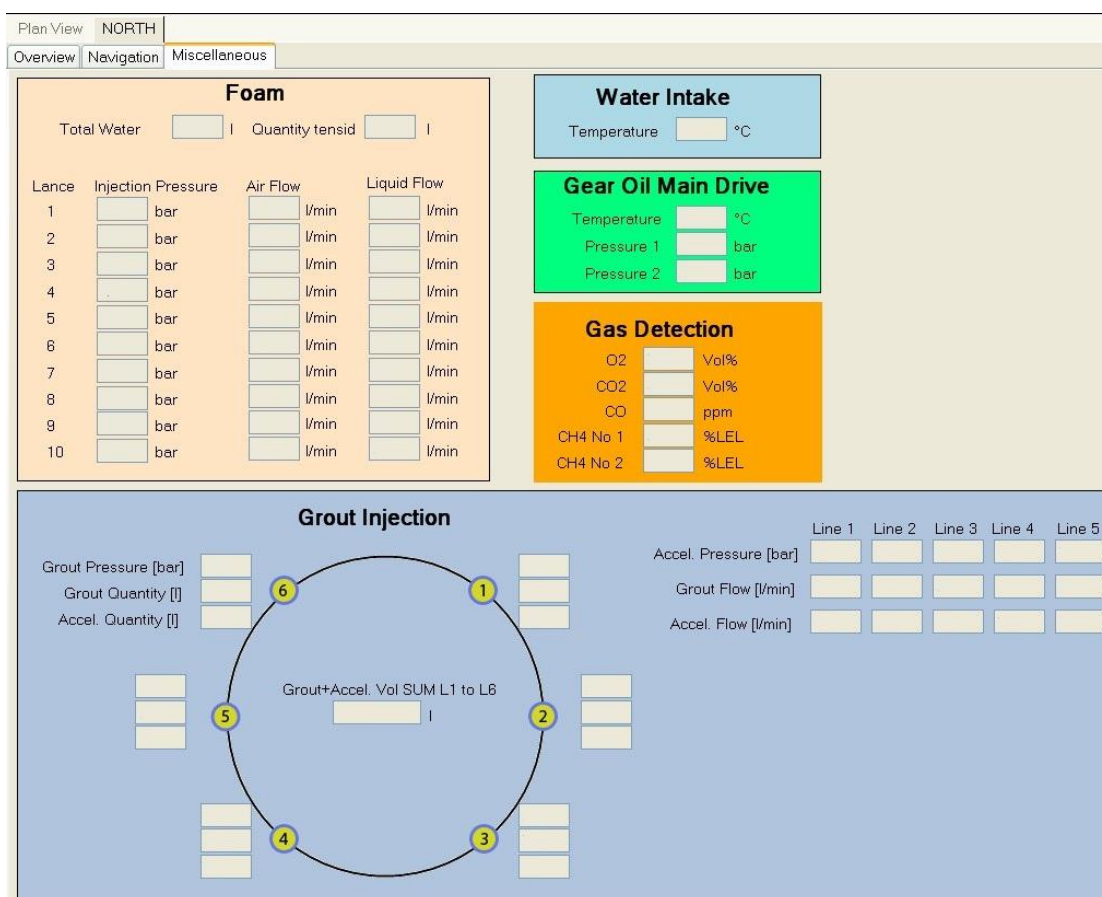
Vertical Deviation Front mm

Horizontal Deviation Back mm

Vertical Deviation Back mm

Εικόνα 4–22, Παρουσίαση των παραμέτρων που αφορούν τη θέση του μηχανήματος

Τέλος, στο πεδίο “Miscellaneous” παρουσιάζονται οι τιμές για όλες τις υπόλοιπες παραμέτρους του μηχανήματος. Στο συγκεκριμένο πεδίο παρουσιάζονται οι τιμές που αφορούν τον αφρό, την εισπίεση ενέματος, την παρουσία αερίων, τους μηχανισμούς των γранаζιών και τη θερμοκρασία του εισερχόμενου νερού (Εικόνα 4–23).



Εικόνα 4-23, Παρουσίαση λοιπών παραμέτρων του μηχανήματος

4.6. Άλλες χρήσιμες εφαρμογές του πληροφοριακού συστήματος Kronos

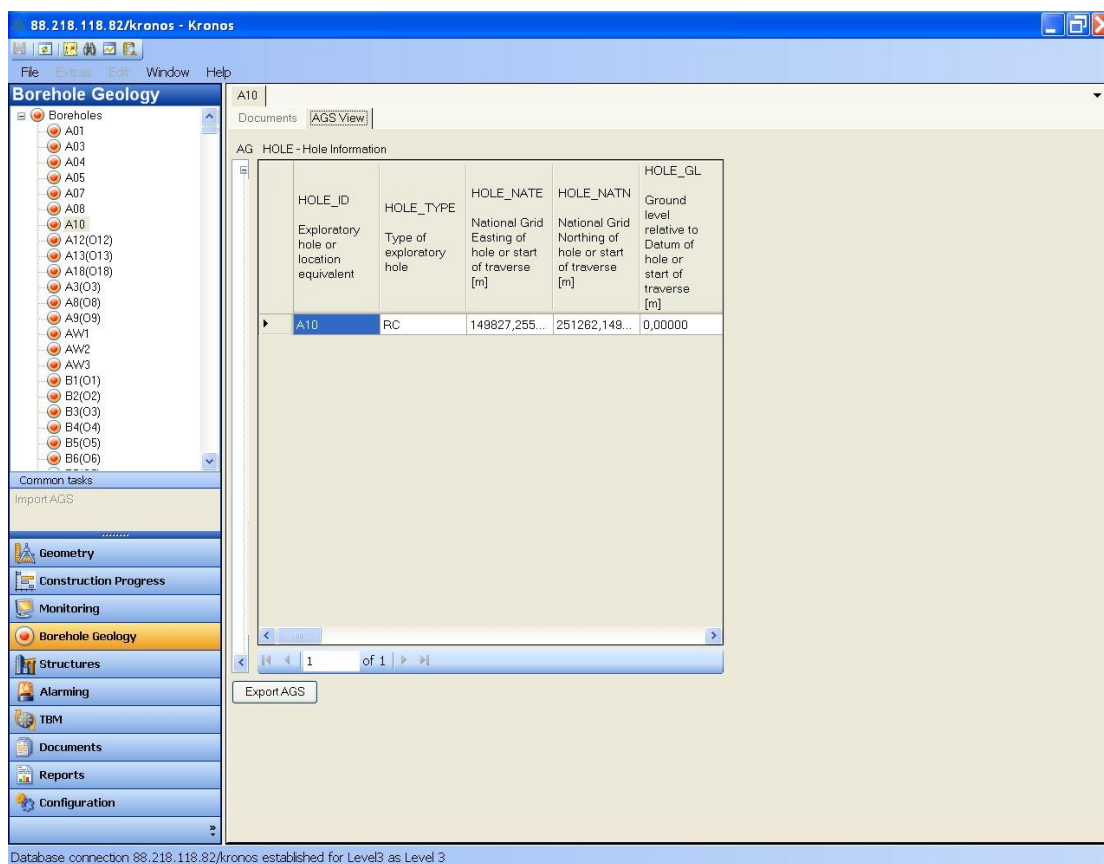
Αποθήκευση αρχείων

Το σύστημα παρέχει τη δυνατότητα της συλλογής όλων των εγγράφων που αφορούν το έργο σε μία βάση δεδομένων. Επομένως, όλοι οι ενδιαφερόμενοι και εξουσιοδοτημένοι φορείς μπορούν είτε να αναρτήσουν κάποιο σχετικό έγγραφο με το έργο στη βάση δεδομένων είτε να αναζητήσουν κάποιο έγγραφο, για παράδειγμα μία τεχνική έκθεση για ένα συγκεκριμένο τμήμα.

Στοιχεία γεωτρήσεων

Επίσης, μέσα στη βάση δεδομένων καταγράφονται όλες οι γεωτρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στα πλαίσια του έργου (Εικόνα 4-24). Για κάθε γεώτρηση παρέχονται

όλες οι μετρήσεις που τη συνοδεύουν, καθώς και η φωτογραφία από τη δειγματοληψία με το χαρακτηρισμό των υλικών.



Εικόνα 4–24, Παρουσίαση των τεχνικών χαρακτηριστικών μίας γεώτρησης

Κατασκευαστικά στοιχεία των υπερκείμενων κτιρίων

Κατά τη μελέτη του έργου συλλέγονται όλα τα στοιχεία που αφορούν τις υπερκείμενες των σηράγγων κατασκευές. Στη συνέχεια αυτά τα στοιχεία καταγράφονται στη βάση δεδομένων του έργου. Με αυτόν τον τρόπο οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να ενημερωθούν για την κατάσταση οποιουδήποτε καταγεγραμμένου κτιρίου επιθυμούν, είτε εισάγοντας τον κωδικό του κτιρίου είτε την ακριβή διεύθυνση του. Στην καρτέλα των κτιρίων παρουσιάζονται τα κατασκευαστικά τους χαρακτηριστικά, το έτος κατασκευής τους, η χρήση τους και μία φωτογραφία τους (Εικόνα 4–25).

A10 | ALC AL43

Name: AL43 Axis: RIGHT-Track_V2 Chainage from: m to: m

Main | Additional Data

Address and Contact

Address 1: Address 2: District: Thessaloniki

Contact Person: Tel. 1: Email: Tel. 2:

Geometry

	Min		Max		
Length	12,000	m	13,000	m	Basements count: 1
Width	12,000	m	13,000	m	Floors above ground floor: 3
Height	11,000	m	12,000	m	Foundation depth: 3,000 m
					Foundation type: Footings
					Elevation (Absolute entrance height): m

Characterization

Architectural Value: NO Type Of Use: Apartments Structure Type: Reinforced Concrete Assessment Level:

Design and Construction

Design Period: Seismic Technology: 1959 - 1984 Construction 1: 1972 Characterization 1978 Earthquake: GREEN Construction 2: Renovation: Load: kN/m²

Εικόνα 4–25, Στοιχεία υπερκείμενου κτιρίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - Επιφανειακές καθιζήσεις & επεξεργασία τους σύμφωνα με εμπειρικές μεθόδους

5. Επιφανειακές καθιζήσεις & επεξεργασία τους σύμφωνα με εμπειρικές μεθόδους

5.1. Εμπειρικός υπολογισμός καθιζήσεων εγκάρσια του άξονα της σήραγγας

Η εκτίμηση του μεγέθους της υποχώρησης της επιφάνειας του εδάφους αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της κατασκευής υπογείων έργων σε αστικές περιοχές λόγω των πιθανών βλαβών στις υπερκείμενες κατασκευές και στα δίκτυα κοινής ωφέλειας.

Οι υποχωρήσεις της επιφάνειας του εδάφους λόγω της κατασκευής υπογείων εκσκαφών εξαρτώνται από:

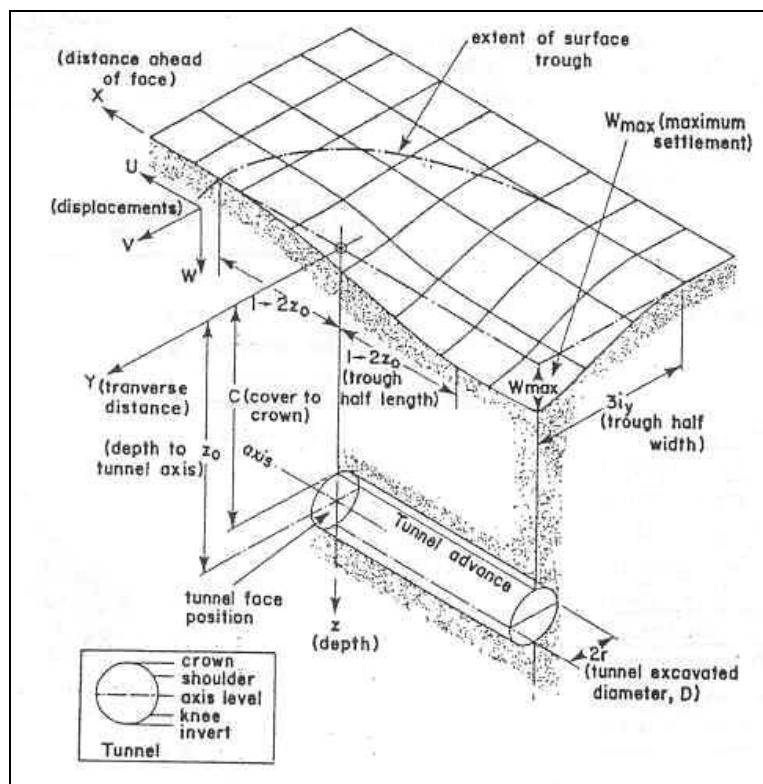
- Το είδος και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του εδάφους
- Το βάθος του υπογείου έργου από την επιφάνεια του εδάφους
- Το μέγεθος της εκσκαφής
- Τον τρόπο εκσκαφής, δηλαδή τον αριθμό και τις διαστάσεις των φάσεων εκσκαφής, π.χ. τη χρήση TBM ή NATM
- Το είδος, την πυκνότητα και τον τρόπο εφαρμογής των μέτρων άμεσης υποστήριξης (π.χ. την απόσταση κατασκευής της άμεσης υποστήριξης από το μέτωπο εκσκαφής)
- Τον τρόπο υποστήριξης του μετώπου εκσκαφής
- Τη λήψη άλλων μέτρων βελτίωσης του εδάφους, όπως την κατασκευή πιλοτικής σήραγγας, τσιμεντενέσεων κλπ.

Από τους ανωτέρω παράγοντες, οι πρώτοι τρεις μπορούν να αναλυθούν ποσοτικά μέσω εμπειρικών ή ημι-αναλυτικών σχέσεων. Οι υπόλοιποι τέσσερις παράγοντες εξαρτώνται από τη συγκεκριμένη περίπτωση κατασκευής και συνεπώς δεν μπορούν να εκτιμηθούν εκ των προτέρων. Με τη λήψη κατάλληλων μέτρων βελτίωσης του εδάφους και την εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων κατασκευής είναι δυνατόν οι υποχωρήσεις της επιφάνειας του εδάφους να περιορισθούν σημαντικά, ακόμη και σε πρακτικώς μηδενικές τιμές.

Επομένως, η χρήση του μηχανήματος EPB, κρίνεται αναγκαία για την πλειονότητα των αστικών σηράγγων, δεδομένου ότι εξασφαλίζει άμεση υποστήριξη του μετώπου. (Μ. Καββαδάς, 2005)

Οι Peck(1969) και Schmidt (1969) έχουν συνοψίσει τους μηχανισμούς εκείνους που κατά τη διάρκεια των εργασιών διάνοιξης μίας σήραγγας δημιουργούν απώλεια εδαφικού όγκου (ground loss ή volume loss) και συνεπώς σχετίζονται άμεσα με την εμφάνιση καθιζήσεων στην επιφάνεια του εδάφους. Τα αίτια εκδήλωσης των απωλειών του εδαφικού όγκου κατά τη διάρκεια διάνοιξης ενός υπόγειου ανοίγματος συνοψίζονται ως ακολούθως:

- Παραμορφώσεις του εδαφικού υλικού στην περιοχή του μετώπου της σήραγγας. Αυτές οι παραμορφώσεις εξαρτώνται από την αντοχή της περιβάλλουσας εδαφικής μάζας, τόσο κατά τη διάρκεια της φάσης αυτοϋποστήριξης της, όσο και κατά τη διάρκεια των εργασιών τοποθέτησης των μέτρων άμεσης υποστήριξης.
- Ακτινικές μετατοπίσεις οι οποίες αναπτύσσονται κατά τη διάνοιξη της σήραγγας με μηχανήματα ολομέτωπης εκσκαφής, λόγω της υπερεκσκαφής που δημιουργείται μεταξύ του κελύφους του μηχανήματος και του περιβάλλοντος γεωυλικού.
- Μετατοπίσεις οι οποίες σχετίζονται με τις εργασίες πλήρωσης του κενού χώρου μεταξύ των μέτρων υποστήριξης του υπόγειου ανοίγματος και του περιβάλλοντος γεωυλικού.
- Μετατοπίσεις οι οποίες οφείλονται σε αστοχίες του εδάφους, όπως είναι οι πιθανές καταπτώσεις στην περιοχή του μετώπου της σήραγγας εξαιτίας ανεπάρκειας των μέτρων σταθεροποίησης του ή απρόβλεπτης αλλαγής των επιτόπου γεωλογικών/γεωτεχνικών συνθηκών. (Α.Αναγνωστόπουλος και Η.Μιχάλης, 2004)



Σχήμα 5-1, Τριδιάστατη όψη της καμπύλης καθιζήσεων εξαιτίας διάνοιξης σήραγγας, Πηγή: Attewel et al., 1986

5.1.1. Καμπύλη καθιζήσεων Gauss

Η κατανομή της υποχώρησης (s) της επιφάνειας του εδάφους κατά τη διατομή της σήραγγας, δηλαδή κάθετα στον άξονα της σήραγγας, μπορεί να περιγραφεί μέσω μιας καμπύλης τύπου Gauss (settlement trough) (Σχήμα 5-2):

$$s = s_{max} \exp\left(-\frac{x^2}{2i^2}\right) \text{ (O'Reilly, 1981)}$$

όπου:

s : η καθίζηση στην επιφάνεια του εδάφους

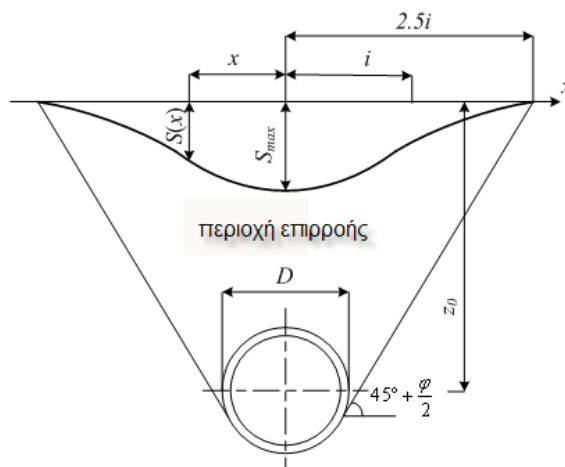
x : η οριζόντια απόσταση από τον άξονα της σήραγγας

s_{max} : η μέγιστη καθίζηση στην επιφάνεια του εδάφους η οποία προκύπτει για τη θέση

$$x = 0$$

i : η τυπική απόκλιση της καμπύλης των καθιζήσεων. Η τιμή της παραμέτρου i καθορίζει την καμπύλη των καθιζήσεων και αντιστοιχεί στη θέση του σημείου καμπής (σημείο με τη

μέγιστη κλίση $\left(\frac{d^2 s}{dy} = 0\right)$). Στις πρακτικές εφαρμογές το εύρος της καμπύλης των επιφανειακών καθιζήσεων λαμβάνεται ίσο με $2,5i$.



Σχήμα 5-2, Διάγραμμα κατανομής βυθίσεων ελεύθερης επιφάνειας εξαιτίας διάνοιξης κυκλικής σήραγγας διαμέτρου D σε βάθος z_0 .

Η απώλεια εδαφικού όγκου (ground loss) ανά μονάδα μήκους σήραγγας V_s στην επιφάνεια του εδάφους, δηλαδή ο όγκος ο οποίος περικλείεται από την καμπύλη των επιφανειακών καθιζήσεων, υπολογίζεται ως εξής:

$$V_s = \int_{-\infty}^{+\infty} s dx = \sqrt{2\pi} \cdot i \cdot s_{max} \approx 2,5 \cdot i \cdot s_{max}$$

Με βάση την παραδοχή ύπαρξης συνθηκών ισόογκης παραμόρφωσης της εδαφοβραχομάζας εντός της οποίας γίνονται οι εργασίες διάνοιξης μίας σήραγγας, προκύπτει ότι ο όγκος των εδαφικών καθιζήσεων ανά μονάδα μήκους της σήραγγας V_s (στην επιφάνεια) ισούται με την απόλυτη τιμή του όγκου του γεωυλικού, ο οποίος περικλείεται μεταξύ της τελικής θέσης (μετά την παραμόρφωση) και της αρχικής θέσης (πριν την παραμόρφωση) των τοιχωμάτων αυτής της σήραγγας. (Α.Αναγνωστόπουλος και Η.Μιχάλης, 2004)

Το μέγεθος "σχετική απώλεια εδαφικού όγκου" (relative ground loss):

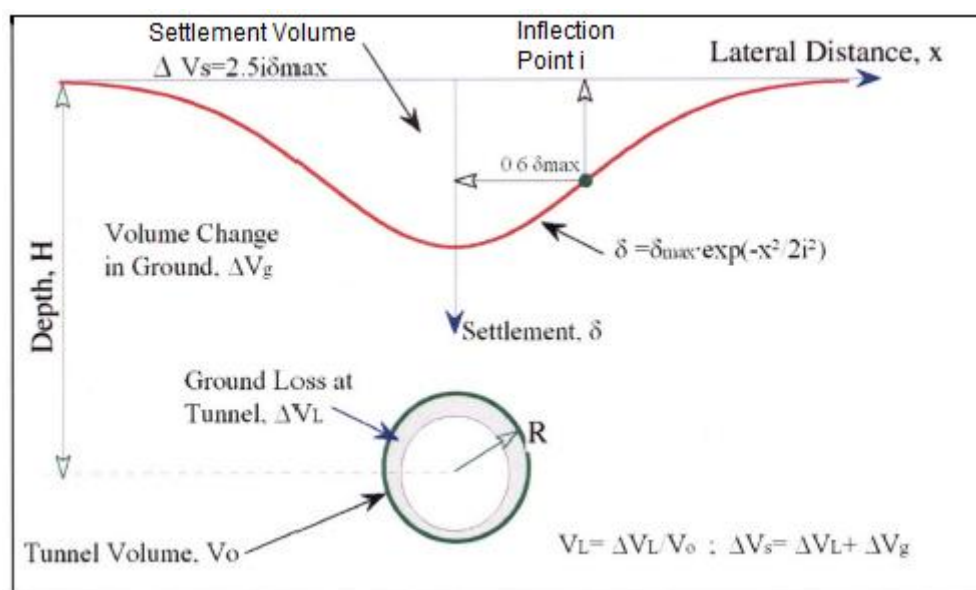
$$V_l = \frac{V_s}{V} (\%)$$

Εκφράζει την προαναφερθείσα απώλεια εδαφικού όγκου V_s , ως ποσοστό του ιδεατού εμβαδού της εκσκαφθείσης διατομής της σήραγγας, $V = \frac{\pi}{4} d_t^2$ (m³/m).

Η γωνία επιρροής β της σήραγγας δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

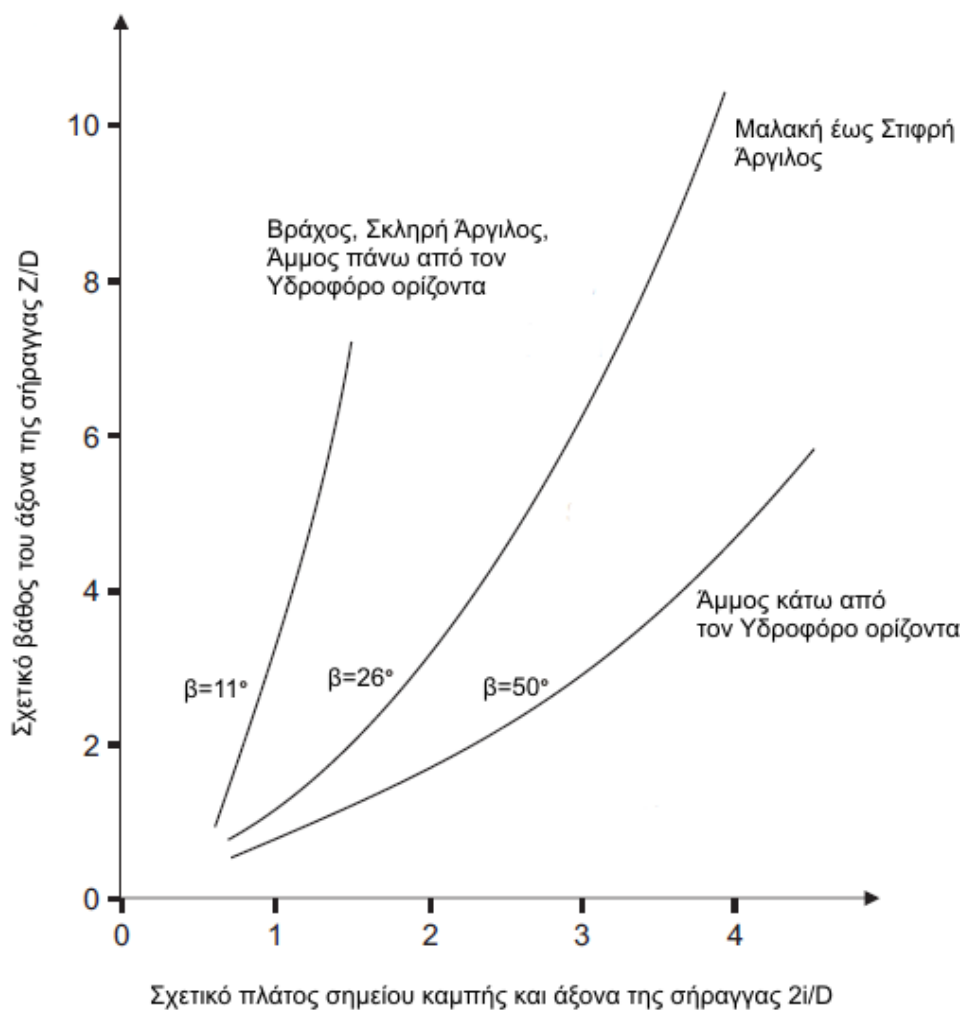
$$\tan \beta = \frac{2,5i - R}{z_0}$$

όπου z_0 : είναι το βάθος της εκσκαφής από το μέσον της σήραγγας (m),
 R : η ακτίνα της κυκλικής εκσκαφής (m)



Σχήμα 5-3, Απώλεια όγκου στη σήραγγα

Ο καθορισμός του εύρους της καμπύλης επιφανειακών καθιζήσεων μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια του Σχήματος 5-4, στο οποίο συνοψίζεται ο μεγάλος αριθμός επιτόπου μετρήσεων από διαφορετικές περιπτώσεις κατασκευής σήραγγων σε ποικιλία εδαφικών συνθηκών. Ειδικότερα, αναφέρεται ότι ο Peck (1969) συνέδεσε την εκτίμηση του i της καμπύλης των καθιζήσεων με τον τύπο του εδάφους.



Σχήμα 5–4, Συσχέτιση του πλάτους της καμπύλης καθιζήσεων με το βάθος της σήραγγας για διαφορετικούς τύπους εδαφών, Πηγή: Peck, 1969

Όπου:

z : το βάθος των υπερκειμένων της σήραγγας

D : είναι η διάμετρος της σήραγγας (R είναι η ακτίνα της σήραγγας)

i : η οριζόντια απόσταση του σημείου καμπής της καμπύλης του Σχήματος 5-2 από τον άξονα της σήραγγας.

Επομένως, συμπεραίνεται ότι ο κύριος παράγοντας που καθορίζει το εύρος της καμπύλης των επιφανειακών καθιζήσεων, λόγω υπόγειων εκσκαφών, είναι το βάθος του άξονα της σήραγγας H ανεξαρτήτως του τύπου του εδάφους.

Από μετρήσεις καθιζήσεων, κατά τη διάνοιξη σήραγγων, σε ποικιλία εδαφικών συνθηκών έχει βρεθεί ότι η τιμή της τυπικής απόκλισης i είναι, κατά προσέγγιση, γραμμική συνάρτηση του βάθους διανοίξεως της σήραγγας H (δηλαδή βάθος του άξονα της σήραγγας) ανεξάρτητα από τον τρόπο κατασκευής της και τη διάμετρο της D . Έτσι έχει γίνει αποδεκτό για το σχεδιασμό, η εκτίμηση της i να πραγματοποιείται από τη γραμμική σχέση:

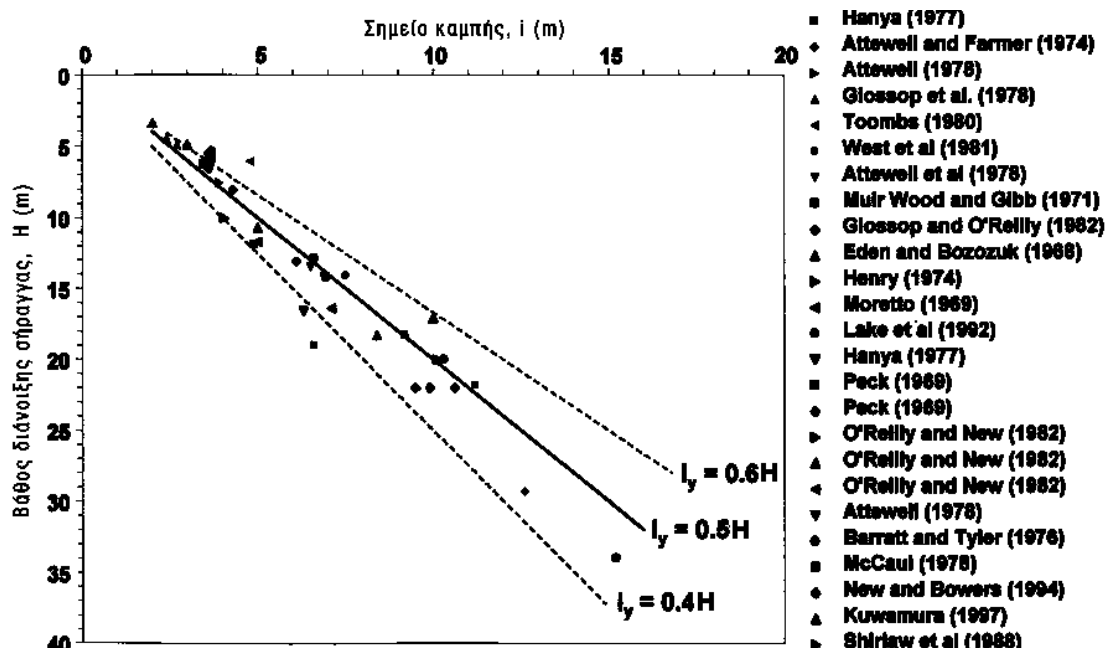
$$i = kH \text{ (O'Reilly \& New, 1982)}$$

Όπου k : είναι παράμετρος που εκφράζει το πλάτος της καμπύλης καθιζήσεων, εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους και τις γεωτεχνικές συνθήκες.

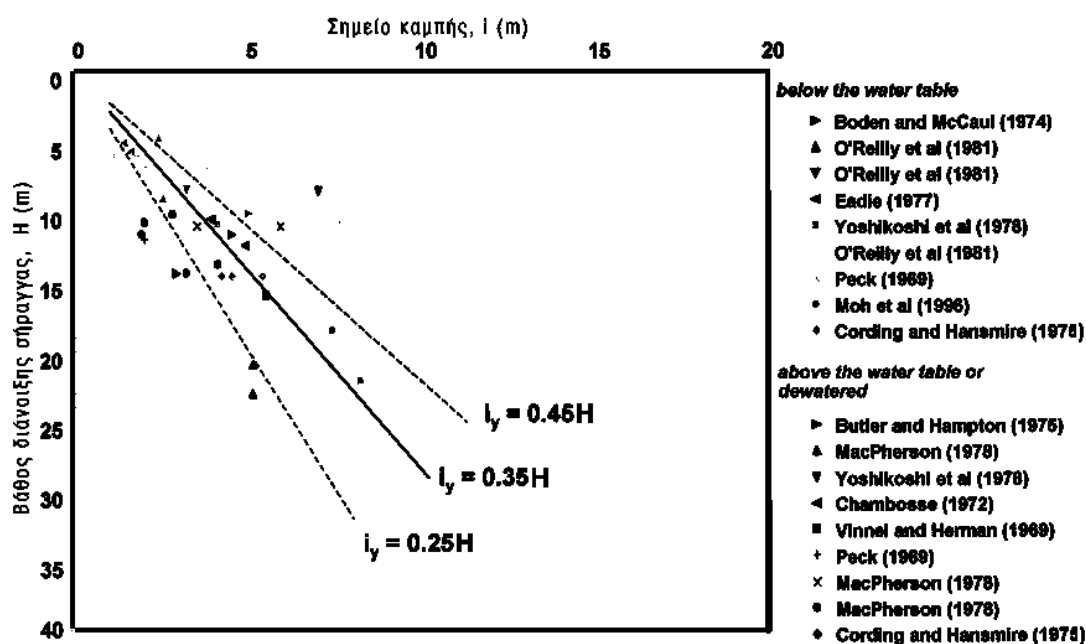
Οι Mair and Taylor (1997) συνιστούν για πρακτικές εφαρμογές σχεδιασμού τις παρακάτω τιμές της παραμέτρου k : α) $k=0,50$ στην περίπτωση συνεκτικών και $k=0,35$ στην περίπτωση μη συνεκτικών εδαφών, ενώ ο Burland et al. (2002) προτείνει $k=0,20-0,30$ για αμμογάλια και $k=0,40-0,50$ ή $k=0,70$ για στιφρές ή μαλακές (ιλυώδεις) αργίλους.

k	O'Reilly & New	Mair and Taylor	Burland et al.
	1982	1997	2002
Άργιλος	0,5	0,5	
Μαλακή Άργιλος			0,7
Στιφρή Άργιλος			0,4-0,5
Άμμος ή Χάλικες	0,25	0,35	0,2-0,3

Πίνακας 5-1, Τιμές του γεωλογικού συντελεστή k



Σχήμα 5-5, Εκτίμηση του i συναρτήσει του βάθους διάνοιξης της σήραγγας σε αργιλικά εδάφη. (Mair and Taylor, 1997)



Σχήμα 5-6, Εκτίμηση του i συναρτήσει του βάθους διάνοιξης της σήραγγας σε κοκκώδη εδάφη (άμμοι και χάλικες). (Mair and Taylor, 1997)

5.1.2. Ανάλυση καθιζήσεων σε δίδυμες σήραγγες

Η κατασκευή δίδυμων σηράγγων για τα σιδηροδρομικά έργα αποτελεί πλέον κοινή απαίτηση. Έχει παρατηρηθεί ότι οι επιφανειακές καθιζήσεις που οφείλονται στη διάνοιξη

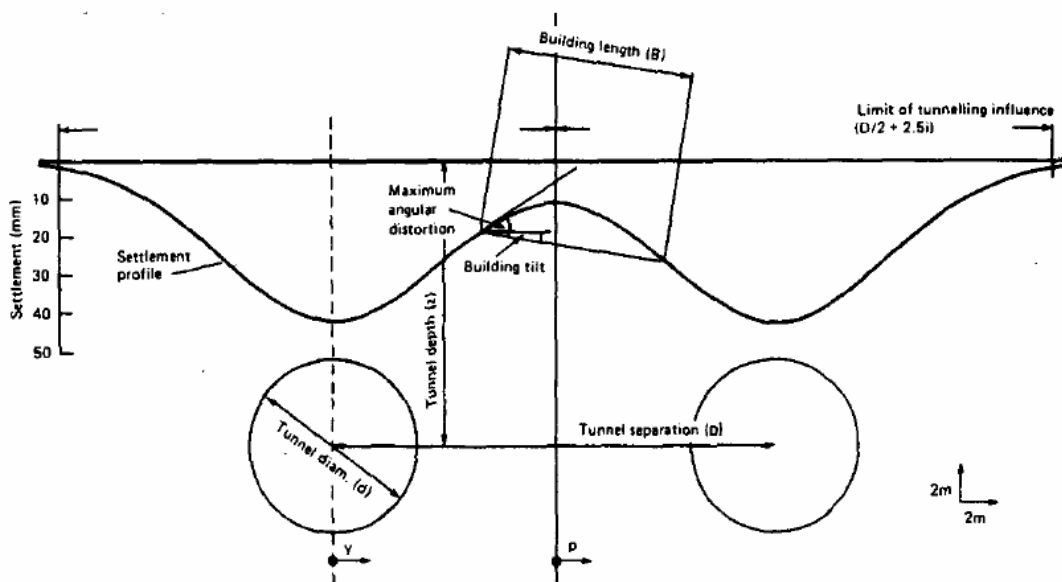
δίδυμων σηράγγων δε δίνουν πάντα ένα συγκεκριμένο τύπο καθίζησης. Το είδος της καθίζησης ποικίλλει ανάλογα με τη μέθοδο διάνοιξης, τη γεωλογία της περιοχής που εκσκάπτεται, τη θέση του μηχανήματος που προπορεύεται και πολλούς άλλους παράγοντες.

Σε μία μονή σήραγγα η καθίζηση που παρουσιάζεται στην επιφάνεια είναι συμμετρική ενώ αντίθετα στη διάνοιξη δίδυμων σηράγγων, συνήθως η καθίζηση δεν είναι συμμετρική ως προς τον ένα άξονα, άλλα κλίνει προς τον άξονα της μίας ή της άλλης σήραγγας, ανάλογα με το ποια από της δύο έχει προκαλέσει τη μεγαλύτερη καθίζηση.

Η διαμόρφωση της καθίζησης απο το συνδυασμένο αποτέλεσμα που δίνει η διάνοιξη των δίδυμων σηράγγων δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

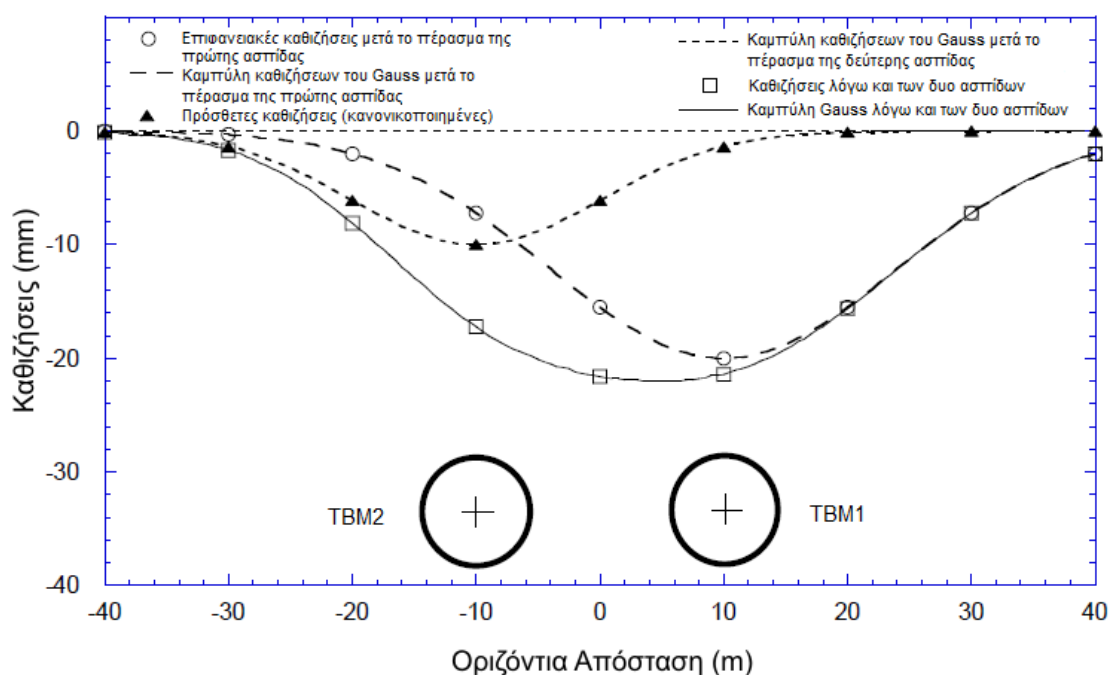
$$S_{(y,z)} = \frac{V_s}{i\sqrt{2\pi}} \cdot \left[\exp\left(-\frac{y^2}{2i^2}\right) + \exp\left[-\frac{(y-D)^2}{2i^2}\right] \right] \quad (m) \quad (\text{New and O'Reilly, 1991})$$

Η παραπάνω μέθοδος προσθέτει τις δύο ξεχωριστές καμπύλες τύπου Gauss που προκύπτουν από τις δύο σήραγγες και εξάγει το συνδυασμένο αποτέλεσμα τους. Επομένως, προκύπτει τελικά μία συνολική καμπύλη που προέρχεται από τις καθιζήσεις που έδωσαν και οι δύο σήραγγες.



Σχήμα 5-7, Επιφανειακές καθιζήσεις για δίδυμες σήραγγες, Πηγή: New and O'Reilly, 1991

Σύμφωνα με την εμπειρία που έχει αποκτηθεί από τη διάνοιξη σηράγγων Μετρό, έχει προκύψει ότι η καμπύλη επιφανειακής καθίζησης που προκύπτει είναι συνήθως ασύμμετρη. Η απώλεια όγκου εδάφους που οφείλεται στη διάνοιξη της δεύτερης σήραγγας μπορεί να είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη της απώλειας που προέκυψε από τη διάνοιξη της πρώτης σήραγγας, επομένως ανάλογα κρίνεται και η σήραγγα που οδήγησε στη μεγαλύτερη καθίζηση του εδάφους. Στην πράξη είναι γνωστή η καμπύλη καθίζησης που προκύπτει από την διάνοιξη του προπορευόμενου μηχανήματος. Επίσης, είναι δυνατόν να υπολογισθεί και η καμπύλη που προκύπτει συνολικά από τη διάνοιξη των δύο σηράγγων. Η διαφορά των δύο παραπάνω προκύπτουσων καμπύλων δίνει την καμπύλη που προκλήθηκε από τη διάνοιξη της δεύτερης σήραγγας. Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα οι καμπύλες που προκύπτουν έχουν τη μέγιστη τιμή τους στον άξονα κάθε σήραγγας (Σχήμα 5-8).



Σχήμα 5–8, Επιφανειακές καθιζήσεις τύπου Gauss που προκύπτουν από τη διάνοιξη των δίδυμων σηράγγων, Πηγή: Π.Ρίζος, 2010

5.1.3. Περιγραφή κατασκευής καμπύλων καθιζήσεων προκαλούμενων από τη διάνοιξη δίδυμων σηράγγων

Οι επιφανειακές καθιζήσεις δεν εξελίσσονται μόνο κατά μήκος της σήραγγας καθώς πραγματοποιείται η προχώρηση αλλά εμφανίζονται και εγκάρσια στη χάραξη προκαλώντας μία καμπύλη επιφανειακής καθίζησης τύπου Gauss. Οι εγκάρσιες καθιζήσεις πάνω από το επίπεδο της σήραγγας μετρώνται μέσω χωροσταθμικών ακίδων, δηλαδή τοπογραφικών οργάνων μέτρησης, τα οποία τοποθετούνται σε συγκεκριμένες θέσεις πάνω από το επίπεδο της σήραγγας, όπως αναλύθηκε παραπάνω. Η ανάλυση της μορφής της κάθετης στη σήραγγα καμπύλης καθίζησης Gauss έχει στόχο να προσδιορίσει τις επιφανειακές καθιζήσεις οι οποίες έχουν προκληθεί από τη διάνοιξη των σηράγγων με TBM. Η ανάλυση των καμπύλων γίνεται με τη βοήθεια των μετρήσεων που έχουν προκύψει από τους χωροσταθμικούς μετρητές, ενώ συγχρόνως λαμβάνονται υπόψη και οι ισοβαθείς καμπύλες που προκύπτουν από τις μετρήσεις τους.

Αρχικά, για την κατασκευή της καμπύλης καθιζήσεων Gauss σε κάποιο σημείο ενδιαφέροντος χαράσσεται μία τομή κάθετα στον κεντρικό άξονα των σηράγγων, η οποία ενώνει όλους τους χωροσταθμικούς μετρητές που βρίσκονται στη συγκεκριμένη χιλιομετρική θέση. Με αυτόν τον τρόπο, από τις μετρήσεις των μετρητών κατασκευάζονται οι καμπύλες καθιζήσεων που προκύπτουν. Για κάθε τομή μετρούνται οι αποστάσεις των χωροσταθμικών από τον άξονα και για κάθε χωροσταθμικό καταγράφεται η μετακίνηση που έχει υποστεί αρχικά πριν τη διέλευση των TBM, στη συνέχεια κατά τη διέλευση του TBM1 και τελικά κατά τη διέλευση του TBM2. Με αυτόν τον τρόπο καταγράφεται η μετακίνηση τη στιγμή μηδέν, πριν τη διέλευση των μηχανημάτων, η μετακίνηση που έδωσε το κάθε ένα μηχάνημα ξεχωριστά και η συνολική (τελική) καθίζηση.

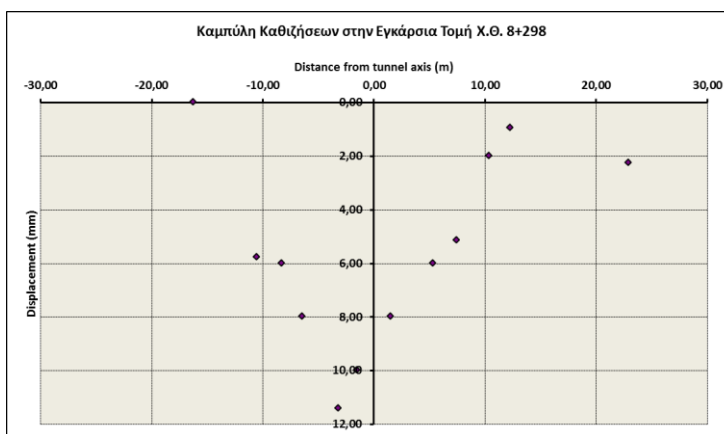
Η καμπύλη καθιζήσεων Gauss δίνεται από την κατασκευή του διαγράμματος XY στο πρόγραμμα Excel. Για την κατασκευή του διαγράμματος δίνονται στον άξονα X οι τιμές των μετακινήσεων και στον άξονα Y οι θέσεις των χωροσταθμικών μετρητών. Για την καλύτερη και πιο ομαλή παρουσίαση των αποτελεσμάτων λαμβάνονται υπόψη και κάποιες από τις τιμές των ισοβαθών καμπύλων που έχουν προκύψει από τις μετρήσεις των χωροσταθμικών. Επομένως, προκύπτουν τρεις καμπύλες. Η πρώτη καμπύλη δίνει την καθίζηση που προέκυψε κατά τη διάνοιξη του πρώτου μηχανήματος (TBM1), η δεύτερη

την καμπύλη από τη διάνοιξη του δεύτερου μηχανήματος και η τρίτη τη συνολική καθίζηση από τη λειτουργία και των δύο μηχανημάτων.

Βήμα 1^ο

Το πρώτο βήμα της ανάλυσης παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές καθιζήσεων δεξιά και αριστερά από τον άξονα αναφοράς (και τις αντίστοιχες αποστάσεις τις μετρούμενης καθίζησης (χωροσταθμικών ή ισοβαθών καμπύλων) από τον άξονα (Πίνακας 5-2)

	X	S
	(m)	(mm)
Left	-16,27	0,00
	-10,57	-5,77
	-8,30	-6,00
	-6,48	-8,00
	-3,20	-11,42
Center	-1,51	-10,00
	1,50	-8,00
Right	5,30	-6,00
	7,45	-5,15
	10,37	-2,00
	12,27	-0,95
	22,90	2,26



Πίνακας 5–2, Τιμές καθιζήσεων σε συγκεκριμένες αποστάσεις από κεντρικό άξονα των σηράγγων για την τομή 8+298.

Όπου:

X: οι αποστάσεις από τον κεντρικό άξονα αναφοράς

S: οι τιμές των καθιζήσεων ανάλογα με την απόσταση από τον άξονα

Βήμα 2^ο

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί ο καθορισμός του σημείου καμπής (i) και της μέγιστης καθίζησης (S_{max}), πρέπει να υπολογισθεί η καθίζηση από τον τύπο:

$$S = S_{max} \cdot e^{\left(-\frac{y^2}{2i^2}\right)} \quad (m)$$

Όπου y: η απόσταση ενός συγκεκριμένου σημείου από τον άξονα

Στην παραπάνω σχέση υπάρχουν δύο γνωστοί και δύο άγνωστοι συντελεστές.

$$\ln(S) = \ln(S_{max}) - \frac{1}{2i^2} \cdot y^2$$

Επομένως, καταλήγουμε στην ακόλουθη σχέση:

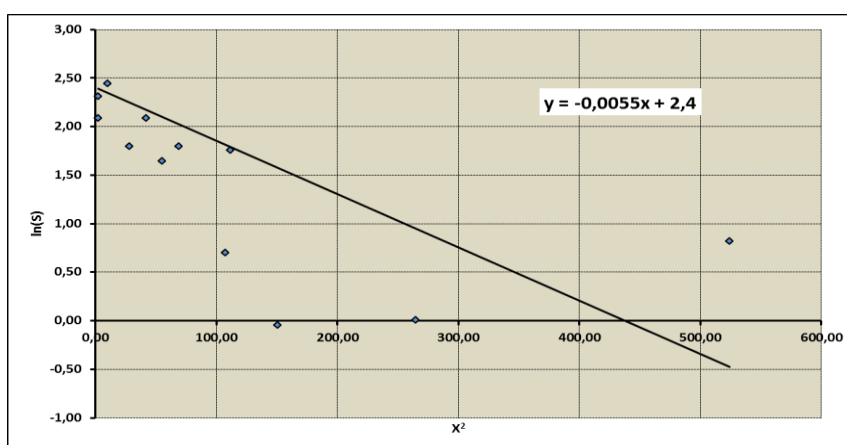
$$\ln(S) - \ln(S_{max}) = -\frac{1}{2i^2} \cdot y^2$$

Στη θέση του $\ln(S)$ εισάγονται οι μετρηθείσες τιμές των καθιζήσεων σε mm και στη θέση του (y^2) η αντίστοιχη απόσταση του σημείου από τον άξονα σε m.

Οι γνωστές παράμετροι είναι το $\ln(S_{max})$ και το $\frac{1}{2i^2}$.

Με τη χρήση των τιμών του επόμενου πίνακα σχεδιάζεται το παρακάτω διάγραμμα. Στον πίνακα αυτό οι τιμές του προηγούμενου πίνακα έχουν μεταβληθεί ώστε να προκύψει το διάγραμμα που παρουσιάζεται. Η εξίσωση της ευθείας που προκύπτει ταυτίζεται με την παραπάνω σχέση. Η κατακόρυφη στήλη του γραφήματος αναφέρεται στις τιμές $\ln(S)$ και ο οριζόντιος άξονας χ στις τιμές του τετραγώνου της απόστασης από τον κεντρικό άξονα.

X^2 (m^2)	$\ln(S)$
264,71	0,00
111,72	1,75
68,89	1,79
41,99	2,08
10,24	2,44
2,28	2,30
2,25	2,08
28,09	1,79
55,50	1,64
107,54	0,69
150,55	-0,05
524,41	0,82



Πίνακας 5-3, Διάγραμμα συσχέτισης των τιμών $\ln(S)$ και x^2

Σε όλα τα διαγράμματα που σχεδιάζονται είναι απαραίτητο να εισαχθεί από τον πίνακα στην εξίσωση της καμπύλης η μέγιστη τιμή του $\ln(S_{max})$, προκειμένου να προσαρμοστεί όσο το δυνατόν ακριβέστερα η τιμή S_{max} . Η γραμμική σχέση μεταξύ των τιμών $\ln(S)$ και των αντίστοιχων τιμών των αποστάσεων από τον άξονα καθορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$y = -\frac{1}{2i^2} \cdot x + \ln(S_{max})$$

Από την παραπάνω σχέση $y = -0,0055x + 2,4$ προκύπτουν τελικά οι άγνωστες τιμές, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$-0,0055 = -\frac{1}{2i^2} \rightarrow \text{Σημείο καμπής: } i=9,5\text{m}$$

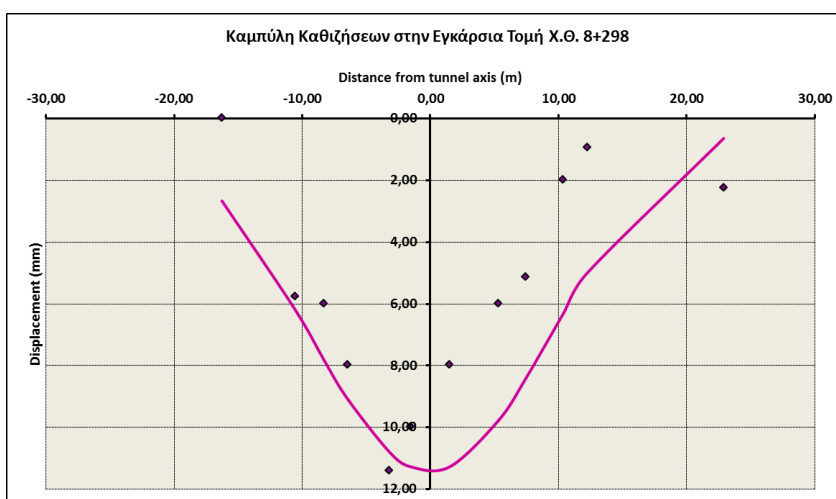
$$\ln(S_{max}) = 2,4 \rightarrow \text{Μέγιστη Καθίζηση: } S_{max} = -11,42\text{mm}$$

Επομένως, πλέον είναι γνωστά όλα οι συντελεστές της βασικής εξίσωσης:

$$S = S_{max} \cdot e^{\left(-\frac{y^2}{2i^2}\right)} \quad (\text{m})$$

Έτσι, μπορεί τελικά να σχεδιασθεί η καμπύλη καθίζησης Gauss, βάσει των τιμών που έχουν μετρηθεί ώστε να καθοριστεί η μέγιστη καθίζηση της συγκεκριμένης χιλιομετρικής θέσης.

X (m)	S (mm)
-16,27	2,66
-10,57	6,18
-8,30	7,82
-6,48	9,06
-3,20	10,79
-1,51	11,28
1,50	11,28
5,30	9,79
7,45	8,42
10,37	6,32
12,27	4,99
22,90	0,64

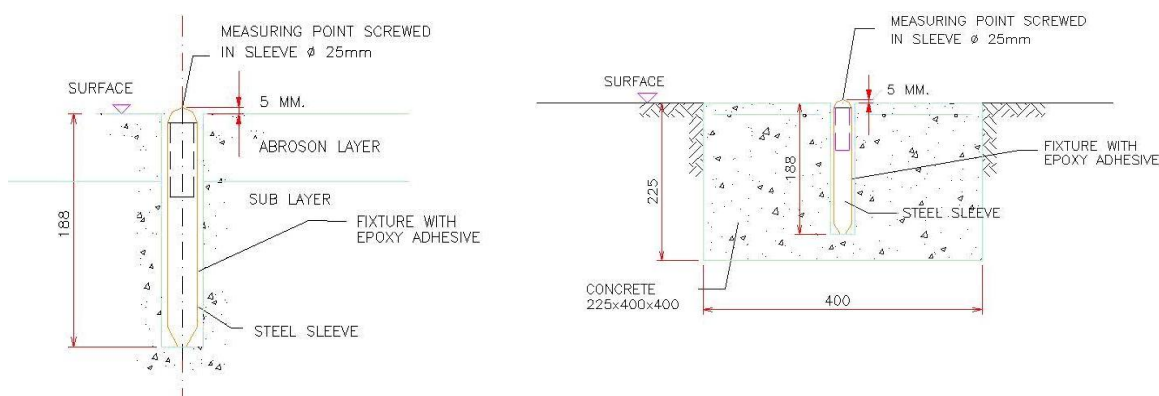


Πίνακας 5-4, Καμπύλη καθίζησης Gauss στη χιλιομετρική θέση 8+298

5.2. Τοπογραφικοί μετρητές καθιζήσεων

5.2.1. Σύστημα χωροσταθμικών μετρήσεων

Οι χωροσταθμικές μετρήσεις λαμβάνονται επί των χωροσταθμικών ακίδων και επί ράβδων βαθιάς πάκτωσης οι οποίες τοποθετούνται εντός του εδάφους (π.χ. οδόστρωμα, πεζοδρόμια κλπ) και επί χωροσταθμικών ακίδων επί των κτιρίων (π.χ. σε κατακόρυφα στοιχεία, υποστυλώματα και τοίχους).



Σχήμα 5–9, Εγκατάσταση χωροσταθμικού μετρητή στο πεζοδρόμιο (αριστερά) και σε δρόμο (δεξιά)

Οι χωροσταθμικές ακίδες είναι της μορφής βίδας πάκτωσης από γαλβανισμένο χάλυβα της οποίας το στέλεχος είναι μήκους 10cm και διαμέτρου 1cm, η κεφαλή είναι τμήμα σφαίρας με διάμετρο 3cm. Το τμήμα του στελέχους που πακτώνεται είναι με σπείρωμα, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή συνάφεια πάκτωσης. Η πάκτωση γίνεται με εποξική κόλλα (ρητίνη και σκληρυντής) ή ειδική κόλλα.

Η τοποθέτηση των ακίδων γίνεται όσο απαιτείται βαθιά έτσι ώστε να μη προκαλεί τραυματισμούς σε διερχόμενους και γενικότερα να μη μπορεί να καμφθεί ή να καταστραφεί εύκολα. Γενικά, οι ακίδες που εγκαθίστανται στην επιφάνεια του εδάφους δεν πρέπει να προεξέχουν πέρα της κεφαλής τους.

Εναλλακτικά, όπου δεν είναι δυνατή η διάτρηση και πάκτωση των ανωτέρω ακίδων, τοποθετούνται χωροσταθμικές ακίδες επαφής με αλουμινένια πλάκα ή γωνία στην οποία υπάρχει χαλύβδινη σφαίρα κατάλληλα επικολλημένη σε ημισφαιρική οπή ίδιας διαμέτρου.

Το μέγεθος της πλάκας είναι τουλάχιστον 2cm επί 2cm και το οριζόντιο στέλεχος της γωνία 5cm επί 2cm. Το πάχος της πλάκας αλουμινίου είναι τουλάχιστον 8mm.

Οι χωροσταθμικές ράβδοι βαθιάς πάκτωσης εγκαθίστανται σε οπές διαμέτρου περίπου 10cm και βάθους περίπου 100cm. Αποτελούνται από ράβδο ολόσωμου σπειρώματος διαμέτρου 25mm, η οποία στο άνω άκρο της είναι επιπεδωμένη εγκάρσια στον άξονα της. Η ράβδος πακτώνεται στα κατώτερα 15cm, ενώ το άνω τμήμα της είναι ελεύθερο και προστατεύεται από σωλήνα, ο οποίος είναι επίσης πακτωμένος και φέρει προστατευτικό, ανθεκτικό κάλυμμα που δεν προεξέχει από την επιφάνεια του εδάφους και το οποίο αφαιρείται για τη μέτρηση και επανατοποθετείται.

Κάθε φορά που ιδρύονται νέες χωροσταθμικές ακίδες λαμβάνονται μηδενικές μετρήσεις αυτών. Οι χωροσταθμικές αφετηρίες των δικτύων αναφοράς των χωροσταθμικών μετρήσεων της Γεωμηχανικής και Δομητικής Παρακολούθησης Έργων εγκαθίστανται με μόνιμη σήμανση σε περιοχές εκτός ζώνης επιρροής των έργων.

Τα δίκτυα αναφοράς, τα οποία χρησιμοποιούνται για τις χωροσταθμικές μετρήσεις της Γεωμηχανικής και Δομητικής Παρακολούθησης Έργων, ιδρύονται ανεξάρτητα από τις ανάγκες της. Τα δίκτυα συνδέονται με σημεία του βασικού υψομετρικού δικτύου και αποτελούνται από ικανό αριθμό βρόγχων, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή ακρίβεια κατά την επίλυση του δικτύου. Όλοι οι υπολογισμοί των υψομέτρων γίνονται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

Οι μετρήσεις των χωροσταθμικών μετρήσεων για τις κατακόρυφες μετακινήσεις εκτελούνται με ελάχιστη ακρίβεια $\pm 1\text{mm}$ ανά χιλιόμετρο και γίνονται πάντα με ανοικτές χωροσταθμικές οδεύσεις πλήρως εξαρτημένες από τα δύο άκρα από χωροσταθμικές αφετηρίες των δικτύων αναφοράς χωροσταθμικών μετρήσεων.

Κατά την διάρκεια των μετρήσεων ο επικεφαλής κάθε τοπογραφικού συνεργείου πρέπει να είναι εφοδιασμένος με αποσπάσματα των τοπογραφικών διαγραμμάτων, ανάλογα με την περιοχή που εκτελούνται οι μετρήσεις. Σε αυτά αναγράφονται και οι κωδικοί των σημείων που μετρούνται ώστε να αποφεύγονται τα λάθη αναγνώρισης τους.

Ο έλεγχος του υψομετρικού δικτύου αναφοράς που ιδρύεται για τις ανάγκες της Γεωμηχανικής και Δομητικής Παρακολούθησης Έργων γίνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα (τριών εβδομάδων τουλάχιστον).

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιούνται ψηφιακοί χωροβάτες ακριβείας $\pm 0,3\text{mm}$ ανά χιλιόμετρο. Τα στοιχεία των μετρήσεων καταγράφονται ηλεκτρονικά και μεταφέρονται αυτόματα σε προγράμματα καταχώρησης της Γεωμηχανικής και Δομητικής Παρακολούθησης Έργων.

5.2.2. Χωροσταθμικές ακίδες

5.2.2.1. Γενικά

Το δίκτυο των χωροσταθμικών σημείων (ακίδες και ράβδοι) πρέπει να αναπτυχθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτει πλήρως την παρακολούθηση των κατακόρυφων μετακινήσεων στην επιφάνεια και στο σύνολο των κτιρίων της ζώνης επιρροής όλου του έργου. Οι μετρήσεις των κατακόρυφων μετρήσεων γίνονται με χωροσταθμικούς χωροβάτες.

Ο κάρναβος των χωροσταθμικών σημείων αποτελείται από:

- Χωροσταθμικές ακίδες επί της επιφάνειας (οδόστρωμα, πεζοδρόμια, επιχώματα του έργου, κλπ).
- Χωροσταθμικές ράβδους βαθιάς πάκτωσης (οδόστρωμα, πεζοδρόμια, επιχώματα του έργου, κλπ).
- Χωροσταθμικές ακίδες επί των κτιρίων και κατασκευών (πάκτωσης ή κατά περίπτωση επαφής).

Οι χωροσταθμικές ακίδες βαθιάς πάκτωσης για μετρήσεις της καθίζησης της υπόβασης του οδοστρώματος ή των πεζοδρομίων κλπ, τοποθετούνται όπου είναι εφικτό δίπλα σε χωροσταθμικές ακίδες επιφάνειας ή κτιρίων για να ελέγχεται ο πιθανός σχηματισμός κενού σε μία περιοχή καθίζησης. Επίσης, θα τοποθετούνται επί της τελικής στρώσης όλων των επιχωμάτων του έργου.

Οι χωροσταθμικές ακίδες επί των κτιρίων και των κατασκευών τοποθετούνται σε στοιχεία του φέροντος οργανισμού τους, π.χ. υποστυλώματα ή τοιχώματα, θεμέλια, φέρουσες τοιχοποιίες κλπ. Για κάθε κτίριο και κατασκευή ο αριθμός ακίδων θα είναι τέτοιος ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός της γωνιακής παραμόρφωσης και της διαφορικής καθίζησης σε δύο διευθύνσεις, παράλληλα και εγκάρσια στον άξονα των έργων για κάθε τμήμα του κτιρίου ή της κατασκευής που δύναται να παραμορφωθεί. Η εγκατάσταση των ακίδων και

των λοιπών οργάνων επί των κτιρίων και κατασκευή τυγχάνει πάντα έγκρισης των ιδιοκτητών και των χρηστών τους.

Η ανάπτυξη του δικτύου των χωροσταθμικών ακίδων επί των κτιρίων και κατασκευών στη ζώνη επιρροής των έργων, η ίδρυση των δικτύων αναφοράς καθώς και ο μηδενικές μετρήσεις αναφοράς προηγούνται χρονικά και χωρικά της εξέλιξης της κατασκευής και η παρακολούθηση αρχίζει πριν την έναρξη οποιασδήποτε κατασκευαστικής δραστηριότητας, συμπεριλαμβανομένης και όποιας άλλης δραστηριότητας θα μπορούσε να επηρεάσει τις μετρήσεις.

5.2.2.2. Ποσότητες και θέσεις οργάνων

- Κτίρια – κατασκευές της ζώνης επιρροής

Χωροσταθμικές ακίδες τοποθετούνται σε κάθε ελεύθερη όψη κτιρίου της ζώνης επιρροής ως εξής: για τις όψεις μήκους έως 10m τοποθετούνται δύο χωροσταθμικές ακίδες, ενώ για τις όψεις μεγαλύτερου μήκους οι χωροσταθμικές ακίδες προσαυξάνονται ανάλογα με το μήκος της όψης, την ύπαρξη αρμών κλπ.

- Επιφάνεια εδάφους πάνω από τη σήραγγα

Διατομές πέντε ακίδων ανά 10m, τοποθετημένες εγκάρσια στον άξονα της σήραγγας. Οι αποστάσεις μεταξύ των ακίδων κάθε διατομής είναι 5m. Εκτός της ζώνης αυτής πλάτους 20m που διαμορφώνεται αναπτύσσεται κάρναβος. Η κατανομή των πέντε ακίδων σε σχέση με την κάτοψη της σήραγγας είναι η εξής: μία ακίδα περί τον άξονα της σήραγγας, δύο ακίδες σε απόσταση 5m από τον άξονα (τοποθετημένες εκατέρωθεν του άξονα) και δύο ακίδες σε απόσταση 10m από τον άξονα (επίσης τοποθετημένες εκατέρωθεν του άξονα). Σε οδοστρώματα ή διάταξη θα διαφοροποιείται αναλόγως των πραγματικών συνθηκών. Οι διατομές των χωροσταθμικών ακίδων τοποθετούνται εναλλάξ και σε απόσταση 5m από τις διατομές των πρισμάτων.

Στα πρώτα 20m και ανά 200m κατά μήκος των σιράγγων, οι διατομές που τοποθετούνται αποτελούνται από επτά ακίδες. Η διάταξη των διατομών αυτών, όσον αφορά τις πέντε εσωτερικές ακίδες τους, ταυτίζεται με την παραπάνω περιγραφή. Οι εξώτερες ακίδες των διατομών αυτών τοποθετούνται τοποθετούνται

εκτός της ζώνης επιρροής, προ επιβεβαίωση των ορίων της. Μία τέτοια διατομή τοποθετείται τουλάχιστον στα πρώτα 20m κάθε τμήματος σήραγγας.

- Επιφάνεια εδάφους πάνω από σήραγγες υπόγειας εκσκαφής με συμβατικά μηχανικά μέσα όλων των διατομών και χρήσεων (π.χ. σήραγγες μονής τροχιάς, διπλής τροχιάς, τριπλής τροχιάς, συνδετήριες, πρόσβασης, τμήματα υπόγειας εκσκαφής σταθμού).

Διατομές πέντε ακίδων ανά 5m, τοποθετημένες εγκάρσια στον άξονα της σήραγγας. Οι αποστάσεις μεταξύ των ακίδων σε σχέση με το περιτύπωμα της σήραγγας είναι οι εξής: μία ακίδα περί τον άξονα της σήραγγας, δύο ακίδες σε απόσταση 5m από τον άξονα (τοποθετημένες εκατέρωθεν του άξονα) και δύο ακίδες σε απόσταση 10m από τον άξονα (επίσης τοποθετημένες εκατέρωθεν του άξονα). Σε οδοστρώματα η διάταξη θα διαφοροποιείται αναλόγως των πραγματικών συνθηκών.

- Ελεύθερο πεδίο ζώνης επιρροής (σε όλες τις άλλες περιπτώσεις εκτός των ανωτέρω)

Ακίδες των διατομών που αναφέρονται και δεν μπορούν να τοποθετηθούν (π.χ. σε οδούς μεγάλης κυκλοφορίας οχημάτων κλπ) μπορούν να τοποθετηθούν και να μετρώνται σε οποιοδήποτε άλλο σημείο, ύστερα από απόφαση της Αττικό Μετρό.

5.2.2.3. Έναρξη και συχνότητες λήψης μετρήσεων

Οι ελάχιστες απαιτήσεις έναρξης και συχνότητας λήψης των μετρήσεων είναι οι εξής:

1. Ζώνη επιρροής σήραγγων

Απαιτείται εγκατάσταση δικτύου και λήψη μετρήσεων αναφοράς όλων των ακίδων της ζώνης επιρροής του κάθε τμήματος σήραγγας τουλάχιστον 30 ημέρες πριν την έναρξη των εκσκαφών του αντίστοιχου τμήματος σήραγγας. Οι ημερήσιες μετρήσεις ξεκινούν 7 ημέρες πριν την έναρξη εκσκαφής της σήραγγας και πραγματοποιούνται στο τμήμα της ζώνης επιρροής που εκτείνεται κατά μήκος του άξονα από 50m πίσω έως 30m μπροστά από το μέτωπο εκσκαφής. Τα ανωτέρω ισχύουν για κάθε φάση εκσκαφής (στην περίπτωση εκσκαφής με μηχανικά μέσα). Πίσω από τα 50m από το μέτωπο εκσκαφής, συνεχίζονται οι ημερήσιες μετρήσεις μέχρι η συνολική διαφορά των μετρήσεων να είναι μικρότερη από 2mm για 10 συνεχόμενες ημερήσιες μετρήσεις. Από το χρονικό σημείο αυτό και μετά οι

μετρήσεις πραγματοποιούνται κάθε 3 ημέρες μέχρι η συνολική διαφορά των μετρήσεων να γίνει μικρότερη του 1mm για 10 συνεχόμενες μετρήσεις. Ακολούθως οι μετρήσεις συνεχίζονται με συχνότητα μία φορά την εβδομάδα για 3 επιπλέον μήνες. Στη συνέχεια λαμβάνονται μετρήσεις μία φορά το μήνα μέχρι την ολοκλήρωση της σιδηροδρομικής επιδομής.

2. Ζώνη επιρροής επιφανειακών εκσκαφών (σταθμοί, φρέατα αερισμού, φρέατα κλιμάκων κλπ για όλες τις μεθοδολογίες κατασκευής)

Απαιτείται εγκατάσταση δικτύου και λήψη μετρήσεων αναφοράς τουλάχιστον τουλάχιστον 30 ημέρες πριν την έναρξη της εκσκαφής ή των αρχαιολογικών εκσκαφών ή της διάτρησης πασσάλων ή της κατασκευής διαφραγματικών τοίχων (ανάλογα με το ποια προηγείται). Οι ημερήσιες μετρήσεις ξεκινούν 7 ημέρες πριν την έναρξη των εκσκαφών του ορύγματος ή των εκσκαφών των διαφραγματικών τοίχων και διαρκούν καθ'όλη τη διάρκεια των εκσκαφών της κατασκευής της προσωρινής αντιστήριξης. Από το χρονικό σημείο αυτό και μετά οι μετρήσεις πραγματοποιούνται κάθε 3 ημέρες μέχρι η συνολική διαφορά των μετρήσεων να γίνει μικρότερη από 2mm για 10 συνεχόμενες ημερήσιες μετρήσεις. Ακολούθως οι μετρήσεις συνεχίζονται με συχνότητα μία φορά την εβδομάδα για 3 επιπλέον μήνες. Στη συνέχεια λαμβάνονται μετρήσεις μία φορά το μήνα μέχρι την ολοκλήρωση των αρχιτεκτονικών τελειωμάτων και της σιδηροδρομικής επιδομής (όποια κάθε φορά ακολουθεί). Επιπρόσθετα, για την περίπτωση των επιφανειακών εκσκαφών με πασσάλους, λαμβάνεται μία μέτρηση κάθε τρεις ημέρες καθ'όλη τη διάρκεια κατασκευής των πασσάλων.

3. Προκαταρτικές εργασίες

Πριν την έναρξη οποιασδήποτε εκσκαφής που μπορεί να έχει επιπτώσεις από κτίρια – κατασκευές της ζώνης επιρροής π.χ. παράκαμψη δικτύων ΟΚΩ, δοκιμαστική τομή, βαθιά αρχαιολογική εκσκαφή κλπ, απαιτείται εγκατάσταση δικτύου και λήψη μετρήσεων αναφοράς τουλάχιστον 10 ημέρες πριν την έναρξη της εκάστοτε εκσκαφής, στη ζώνη και στα κτίρια – κατασκευές που γειτνιάζουν με τις σχετικές εργασίες. Καθημερινές μετρήσεις ξεκινούν να λαμβάνονται τουλάχιστον 5 ημέρες πριν την έναρξη των εργασιών και διαρκούν καθ'όλη τη διάρκεια των εργασιών αυτών.

Στην περιοχή που έγινε η ανάλυση έχουν τοποθετηθεί συνολικά 5530 χωροσταθμικές ακίδες. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι ποσότητες των χωροσταθμικών ακίδων

σε απόσταση μέχρι 30m από τους άξονες ανά μεσοδιάστημα μεταξύ των σταθμών (Πίνακας 5–5).

	Μεσοδιάστημα	Αριθμός χωροσταθμικών ακίδων
1	Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός - Σταθμός Δημοκρατίας	540
2	Σταθμός Δημοκρατίας- Σταθμός Βενιζέλου	749
3	Σταθμός Βενιζέλου- Σταθμός Αγία Σοφία	519
4	Σταθμός Αγία Σοφία- Σταθμός Συντριβάνι	718
5	Σταθμός Συντριβάνι- Σταθμός Πανεπιστήμιο	442
6	Σταθμός Πανεπιστήμιο- Σταθμός Παπάφη	633
7	Σταθμός Παπάφη- Σταθμός Ευκλείδη	540
8	Σταθμός Ευκλείδη- Σταθμός Φλέμινγκ	660
9	Σταθμός Φλέμινγκ- Σταθμός Αναλήψεως	729
	Συνολικά	5530

Πίνακας 5–5, Αριθμοί χωροσταθμικών ακίδων ανά μεσοδιάστημα

5.3. Επεξεργασία καθιζήσεων με εμπειρικές μεθόδους

Σε αυτήν τη διπλωματική εργασία μελετήθηκε το τμήμα του Βασικού Έργου από το Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό έως τον Σταθμό Αναλήψεως (Σχήμα 5-10). Σε αυτό το τμήμα έγινε έλεγχος των μετακινήσεων που παρουσίαζαν οι χωροσταθμικοί μετρητές. Στα σημεία με τις πιο έντονες μετακινήσεις χαράχθηκαν τομές. Επιλέχθηκαν περιοχές όπου οι έντονες μετακινήσεις τους στην επιφάνεια του εδάφους βρίσκονταν πάνω από την περιοχή των δύο σηράγγων.



Σχήμα 5–10, Παρουσίαση σταθμών ανάλυσης

5.3.1. Παρουσίαση μεσοδιαστημάτων

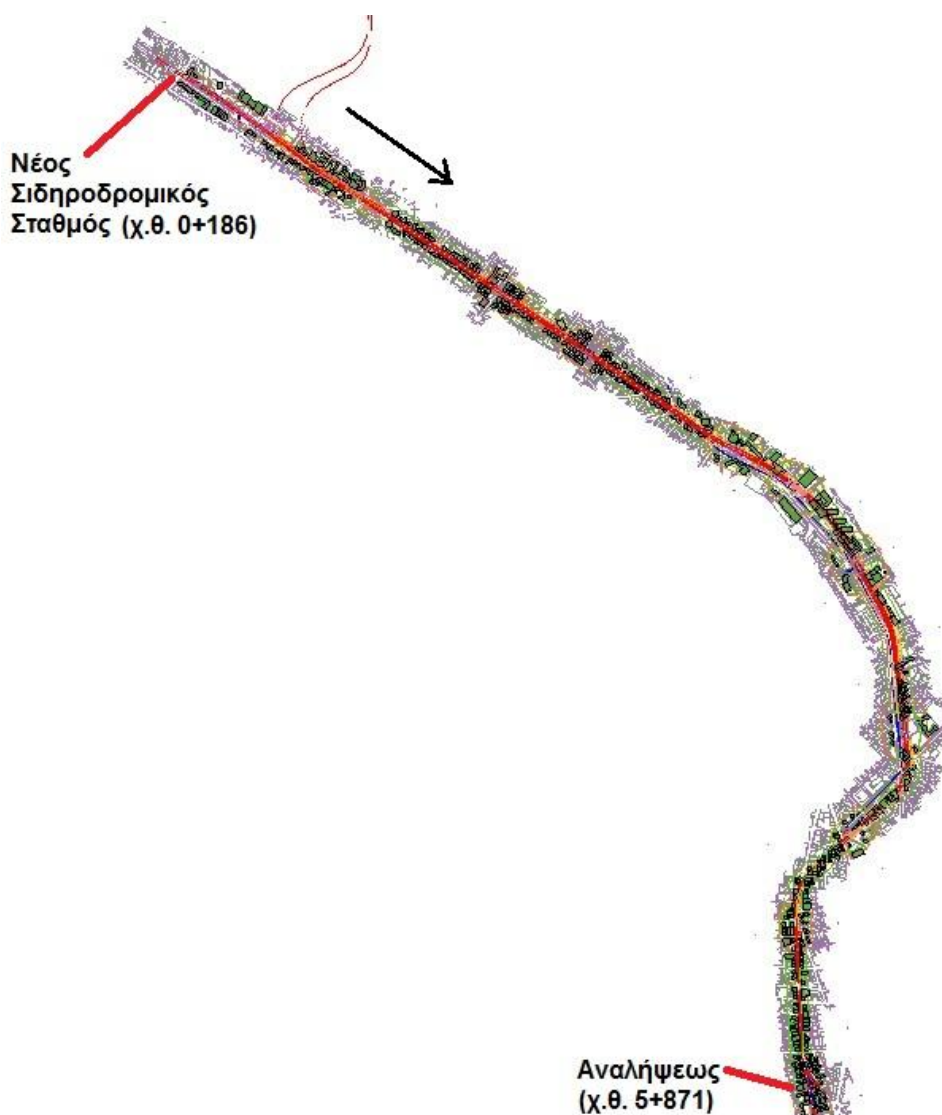
Το παραπάνω τμήμα χωρίστηκε σε εννέα μεσοδιαστήματα, από την αρχή ενός σταθμού μέχρι την αρχή του επόμενου. Συνολικά το τμήμα που αναλύθηκε έχει μήκος 5.871 μέτρα και αποτελείται από δέκα σταθμούς.

Μεσοδιάστημα Σταθμών	Χιλιομετρική Θέση (m)	Μήκος Μεσοδιαστήματος (m)
ΝΣΣ - Σταθμός Δημοκρατίας	0+186 - 0+660	474
Σταθμός Δημοκρατίας - Σταθμός Βενιζέλου	0+660 - 1+440	780
Σταθμός Βενιζέλου - Σταθμός Αγία Σοφία	1+440 - 1+892	452
Σταθμός Αγία Σοφία - Σταθμός Συντριβάνι	1+892 - 2+671	779
Σταθμός Συντριβάνι - Σταθμός Πανεπιστήμιο	2+671 - 3+423	752
Σταθμός Πανεπιστήμιο - Σταθμός Παπάφη	3+423 - 4+195	772
Σταθμός Παπάφη - Σταθμός Ευκλείδη	4+195 - 4+735	540

Σταθμός Ευκλείδη - Σταθμός Φλέμινγκ	4+735 - 5+257	522
Σταθμός Φλέμινγκ - Σταθμός Αναλήψεως	5+257 - 5+871	614

Πίνακας 5–6, Χιλιομετρικές θέσεις και μήκη μεσοδιαστημάτων

Η ανάλυση για κάθε μεσοδιάστημα πραγματοποιήθηκε στο πληροφοριακό σύστημα Κρονos της Αττικό Μετρό. Παρουσιάζεται η συνολική κάτοψη του τμήματος που μελετήθηκε, όπως απεικονίζεται στο σύστημα Κρονos (Εικόνα 5–1).



Εικόνα 5–1 , Κάτοψη τμήματος ανάλυσης

Οι ακριβείς θέσεις των χωροσταθμικών μετρητών δίνονται από τη βάση δεδομένων και έχουν ως άξονα αναφοράς είτε τον κεντρικό άξονα του TBM1 είτε του TBM2. Σε αυτήν

την ανάλυση για την καλύτερη ταξινόμηση των δεδομένων ορίζεται ως άξονας αναφοράς ο κεντρικός άξονας μεταξύ των δύο σηράγγων, ο οποίος βρίσκεται στο μέσο της απόστασης μεταξύ των δύο κέντρων των TBM. Η απόσταση των κέντρων μεταξύ των δύο TBM ξεκινά από 9m από το Σταθμό ΝΣΣ μέχρι να καταλήξει σταδιακά στα 13m, η οποία και είναι η απόσταση διάνοιξης μεταξύ των δύο μηχανημάτων που έχει καθοριστεί.

Σε ότι αφορά τις εγκάρσιες αποστάσεις των χωροσταθμικών από τον άξονα της σήραγγας θεωρούνται θετικές οι τιμές των σημείων που βρίσκονται δεξιά από τον άξονα της σήραγγας του TBM1, με κατεύθυνση κατά αύξουσα Χ.Θ. και αρνητικές οι τιμές όσων βρίσκονται αριστερά. Συνεπώς αφού έχει ληφθεί ως άξονας αναφοράς ο κεντρικός άξονας των δύο σηράγγων, στα δεξιά του βρίσκονται οι θετικές τιμές και στα αριστερά οι αρνητικές, πάντα με κατεύθυνση κατά αύξουσα Χ.Θ..

Οι μετρήσεις που λήφθηκαν υπόψη είχαν μέγιστη απόσταση από τους άξονες τα 30m, καθώς θεωρείται ότι μέσα σε αυτά τα όρια χωροθετείται η περιοχή επιρροής της διάνοιξης από τα δύο TBM.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το σφάλμα των οργάνων μέτρησης των καθιζήσεων κυμαίνεται στα $\pm 2\text{mm}$, για αυτόν τον λόγο όσα χωροσταθμικά είχαν καταγράψει μετρήσεις μικρότερες δεν λήφθηκαν υπόψη. Όσον αφορά τις υπόλοιπες μετρήσεις των χωροσταθμικών πρέπει να είμαστε πολλοί συντηρητικοί στην επεξεργασία και την κατηγοριοποίηση των αποτελεσμάτων.

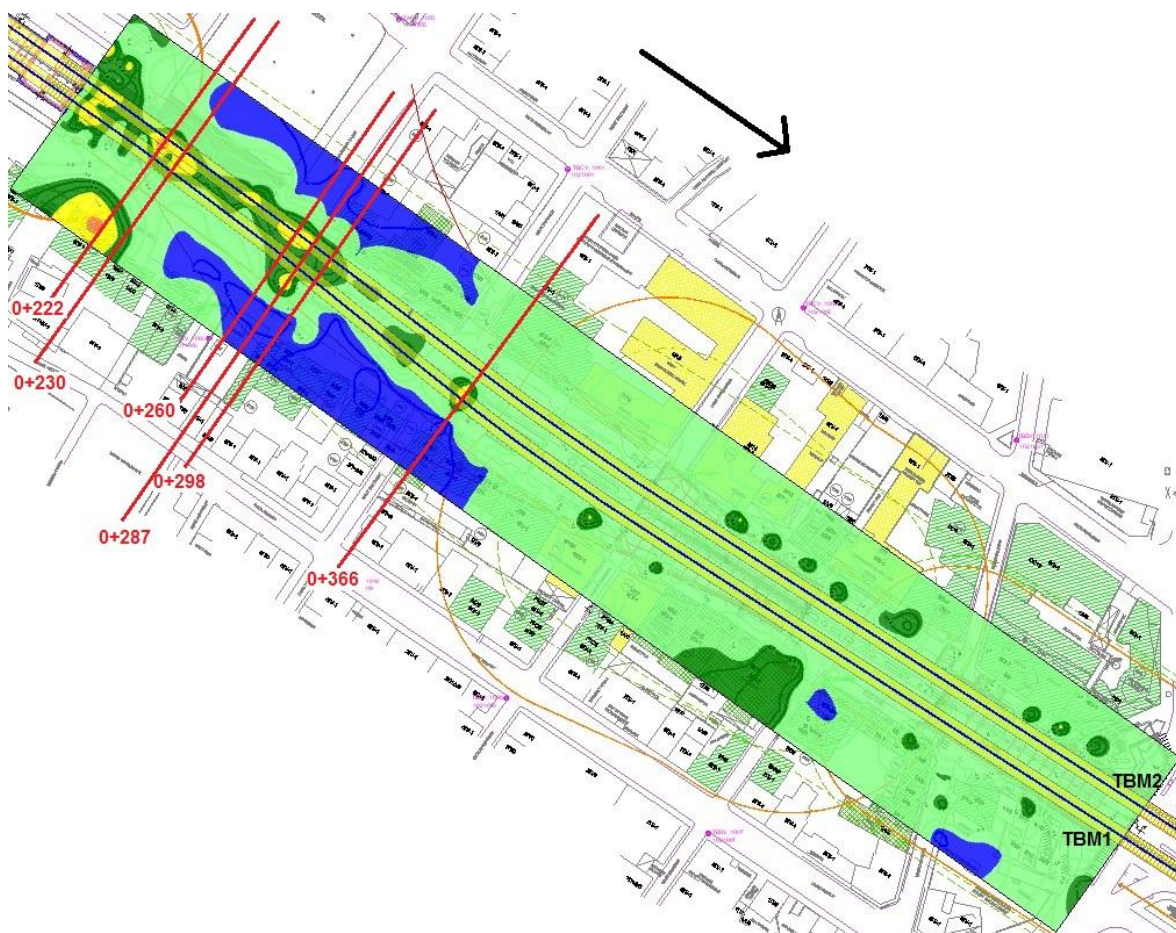
Επίσης, είναι σημαντικό να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή κατά την επιλογή των τομών που θα αναλυθούν καθώς πολλές από τις καθιζήσεις που φαίνονται στις εικόνες που ακολουθούν οφείλονται σε αστοχίες διαφραγματικών τοίχων καθώς και σε ροές νερού δημιουργώντας στερεοποίηση και αύξηση των ενεργών τάσεων του εδάφους. Έχει παρατηρηθεί ότι πριν από έναν σταθμό και ακριβώς μετά από αυτόν οι μετακινήσεις παρουσιάζονται πιο έντονες λόγω των διαφραγματικών τοίχων. Αυτές οι μετακινήσεις δε λαμβάνονται υπόψη στην ανάλυση των καθιζήσεων και στον υπολογισμό των παραμέτρων, καθώς θα έδιναν ψευδή αποτελέσματα.

Επιπλέον, κατά την επιλογή των τομών ανάλυσης προτιμήθηκαν καθιζήσεις των οποίων τα κέντρα βρίσκονταν πάνω από τους άξονες των σηράγγων και των οποίων οι μέγιστες καθιζήσεις ξεπερνούσαν τα 6mm. Οποιοσδήποτε άλλες μετακινήσεις παρουσιάζονται σε απόσταση από τους άξονες των σηράγγων δεν οφείλονται στη διάνοιξη των δύο

μηχανημάτων. Η επιρροή από την εκσκαφή των σηράγγων στο υπερκείμενο περιβάλλον δεν ξεπερνά τα 30 μέτρα εκατέρωθεν αυτών.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν σχετικά με τις μετακινήσεις της επιφάνειας. Οι παρακάτω απεικονίσεις παρουσιάζουν με χρωματισμούς το μέγεθος των καθιζήσεων. Το μπλε χρώμα δείχνει τις μηδενικές μετακινήσεις, ενώ με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται οι μέγιστες μετακινήσεις που έχουν προκύψει. Η ακολουθία των χρωμάτων από τις μικρότερες μετακινήσεις προς τις μεγαλύτερες είναι η εξής: μπλε – ανοιχτό πράσινο – σκούρο πράσινο – κίτρινο – πορτοκαλί – κόκκινο.

Τμήμα 1: ΝΣΣ - Σταθμός Δημοκρατίας

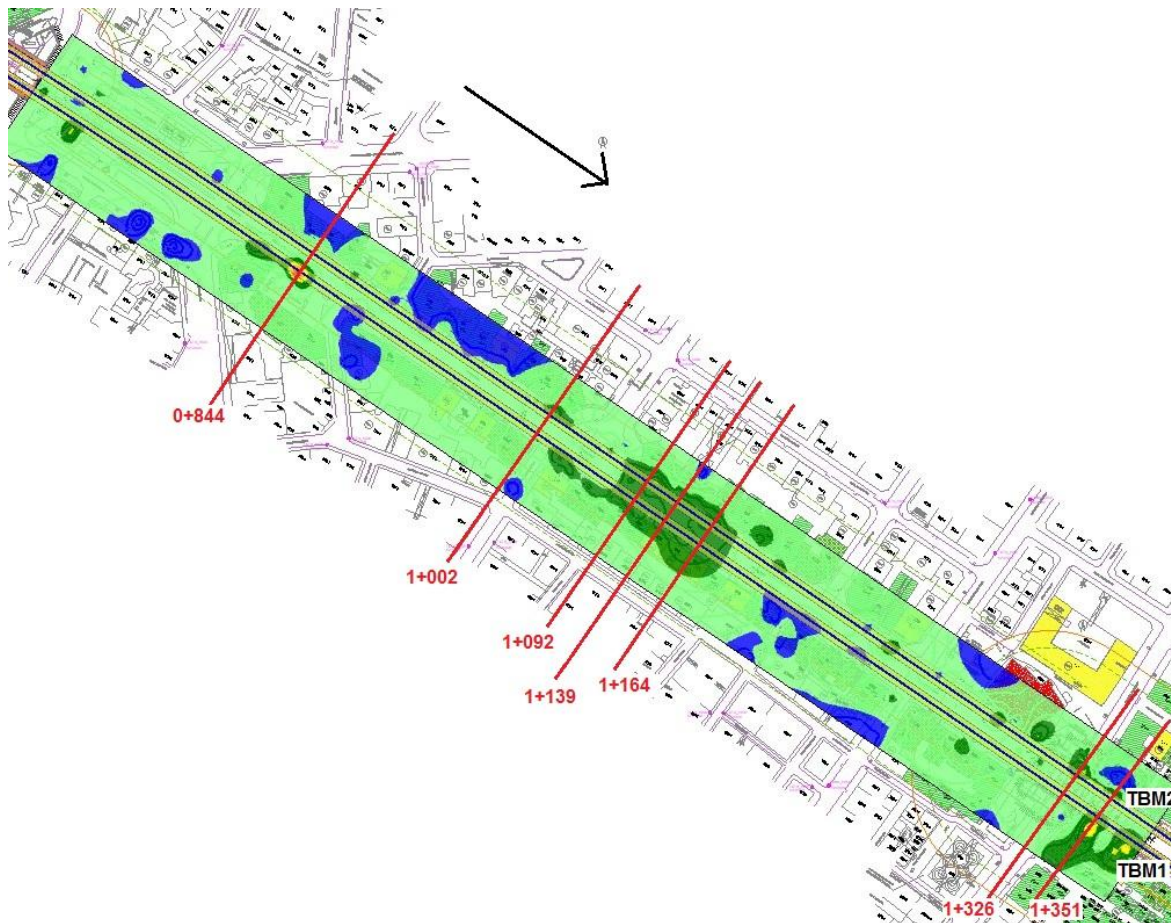


Εικόνα 5–2, Κάτοψη τμήματος ΝΣΣ - Σταθμός Δημοκρατίας

Η αρχή του τμήματος αυτού αποτελεί και την αρχή της κατασκευής του Βασικού Έργου, επομένως οι μετακινήσεις που παρουσιάζονται οφείλονται κυρίως στην περίοδο

προσαρμογής μέχρι να ξεκινήσει η ορθή λειτουργία του έργου καθώς και στην ύπαρξη του διαφραγματικού τοίχου. Σε αυτό το τμήμα επιλέχθηκε η ανάλυση των τομών 0+222, 0+230, 0+260, 0+287, 0+298 και 0+366.

Τμήμα 2: Σταθμός Δημοκρατίας- Σταθμός Βενιζέλου



Εικόνα 5-3, Κάτοψη τμήματος Σταθμός Δημοκρατίας- Σταθμός Βενιζέλου

Το τμήμα αυτό έχει μήκος 780 μέτρα. Εδώ χαράχθηκαν συνολικά επτά τομές από τις οποίες την πιο έντονη καθίζηση παρουσιάζει η τομή 0+844, η οποία όμως φαίνεται να βρίσκεται πάνω από το επίπεδο διάνοιξης του TBM1 . Οι τομές 1+002, 1+092, 1+139 και 1+164, οι οποίες φαίνεται να βρίσκονται στην ίδια λεκάνη καθίζησης αναλύθηκαν ως ένα μεσοδιάστημα. Στη συνέχεια έγινε ανάλυση και των τομών 1+326 και 1+351 που βρίσκονται κοντά προς το τέλος αυτού του τμήματος.

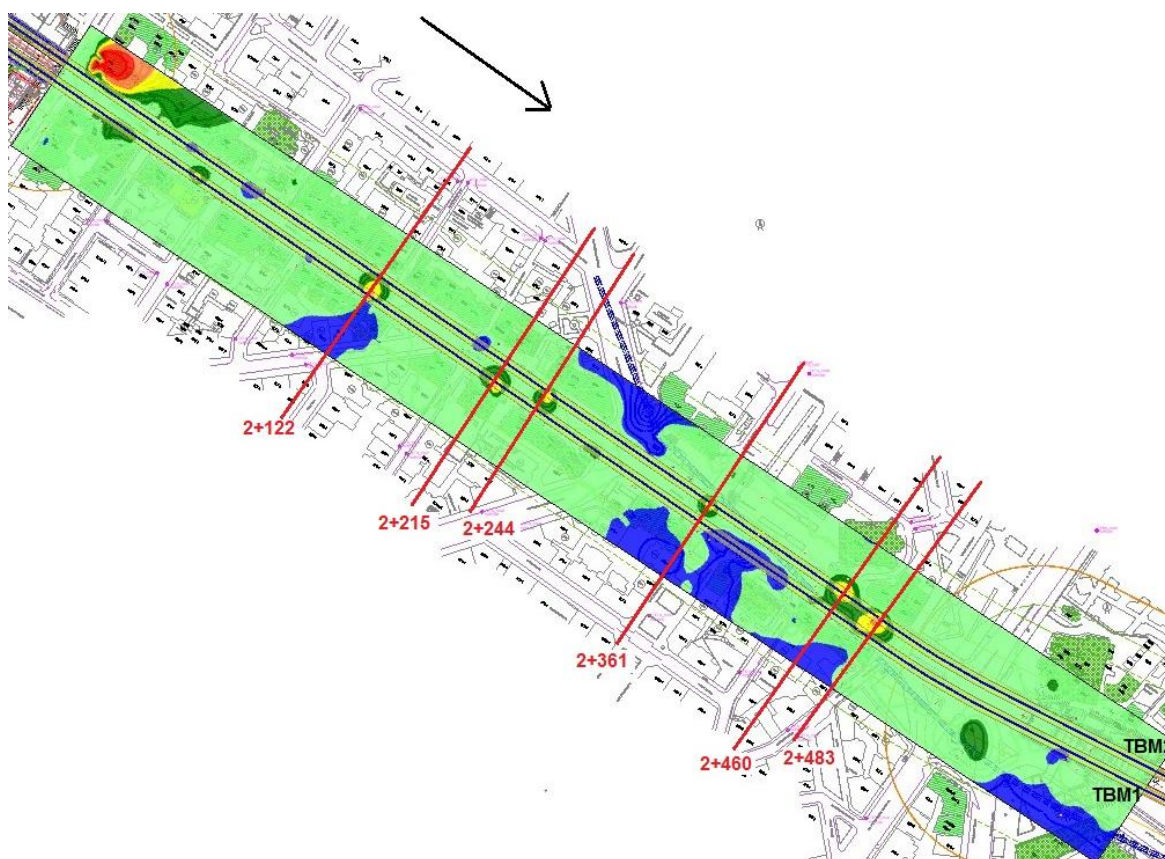
Τμήμα 3: Σταθμός Βενιζέλου- Σταθμός Αγία Σοφία



Εικόνα 5-4, Κάτοψη τμήματος Σταθμός Βενιζέλου- Σταθμός Αγία Σοφία

Το παραπάνω τμήμα έχει μήκος 452 μέτρα και όπως φαίνεται διαθέτει μόνο δύο περιπτώσεις στις οποίες μπορεί να πραγματοποιηθεί ανάλυση, την τομή 1+478 και την τομή 1+809. Η καθίζηση η οποία φαίνεται στα δεξιά του TBM1, με φορά κίνησης κατά αύξουσα Χ.Θ. λίγο πριν τη μέση του χάρτη απέχει αρκετά από τις δύο σήραγγες και επομένως δεν οφείλεται σε αυτές.

Τμήμα 4: Σταθμός Αγία Σοφία- Σταθμός Συντριβάνι



Εικόνα 5-5, Κάτοψη τμήματος Αγία Σοφία- Σταθμός Συντριβάνι

Σε αυτό το μεσοδιάστημα, το οποίο έχει μήκος 779 μέτρα εμφανίζονται έξι μικρές εστίες καθιζήσεων οι οποίες όμως χρήζουν ανάλυσης διότι βρίσκονται πάνω από την περιοχή διάνοιξης των σηράγγων, οι τομές αυτές είναι 2+122, 2+215, 2+244, 2+361, 2+460 και 2+483. Η καθίζηση που βρίσκεται στην αρχή του τμήματος αυτού, αριστερά του άξονα του TBM 2, με φορά κατά αύξουσα Χ.Θ. ελέγχθηκε μέσα από τους χωροσταθμικούς μετρητές και από το ημερολόγιο του έργου και δεν οφείλεται στη διάνοιξη των δύο σηράγγων.

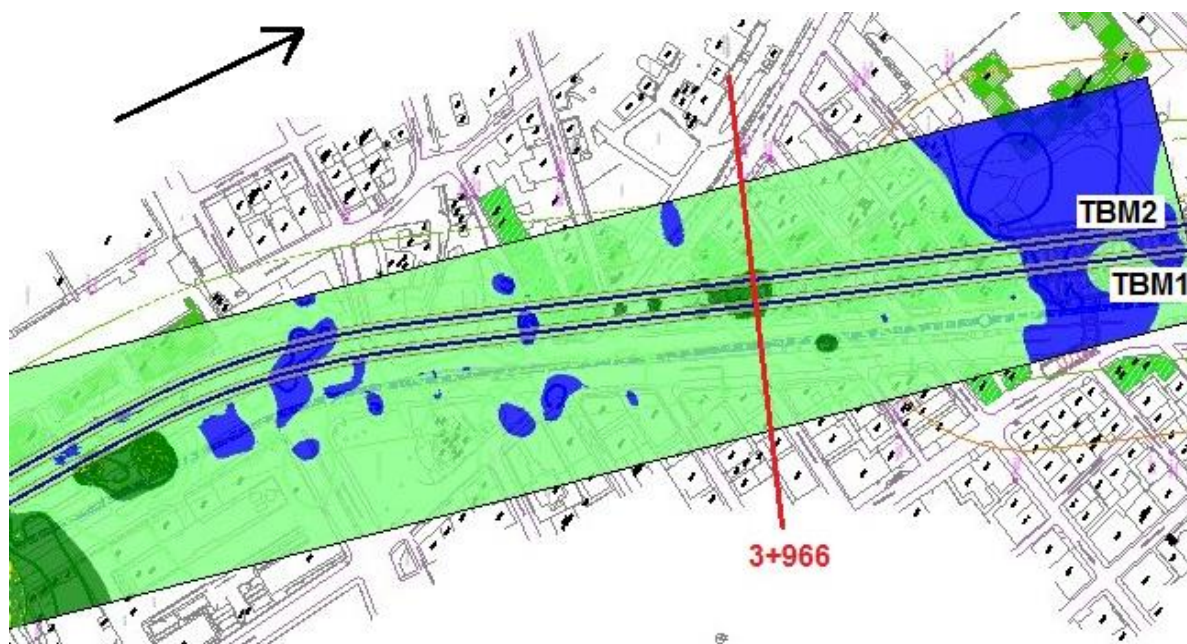
Τμήμα 5: Σταθμός Συντριβάνι- Σταθμός Πανεπιστήμιο



Εικόνα 5–6, Κάτοψη τμήματος Σταθμός Συντριβάνι- Σταθμός Πανεπιστήμιο

Το παραπάνω τμήμα έχει μήκος 752 μέτρα και πραγματοποιήθηκε μία μόνο τομή, η 3+008, καθώς επικρατούν πολύ μικρές τιμές καθιζήσεων.

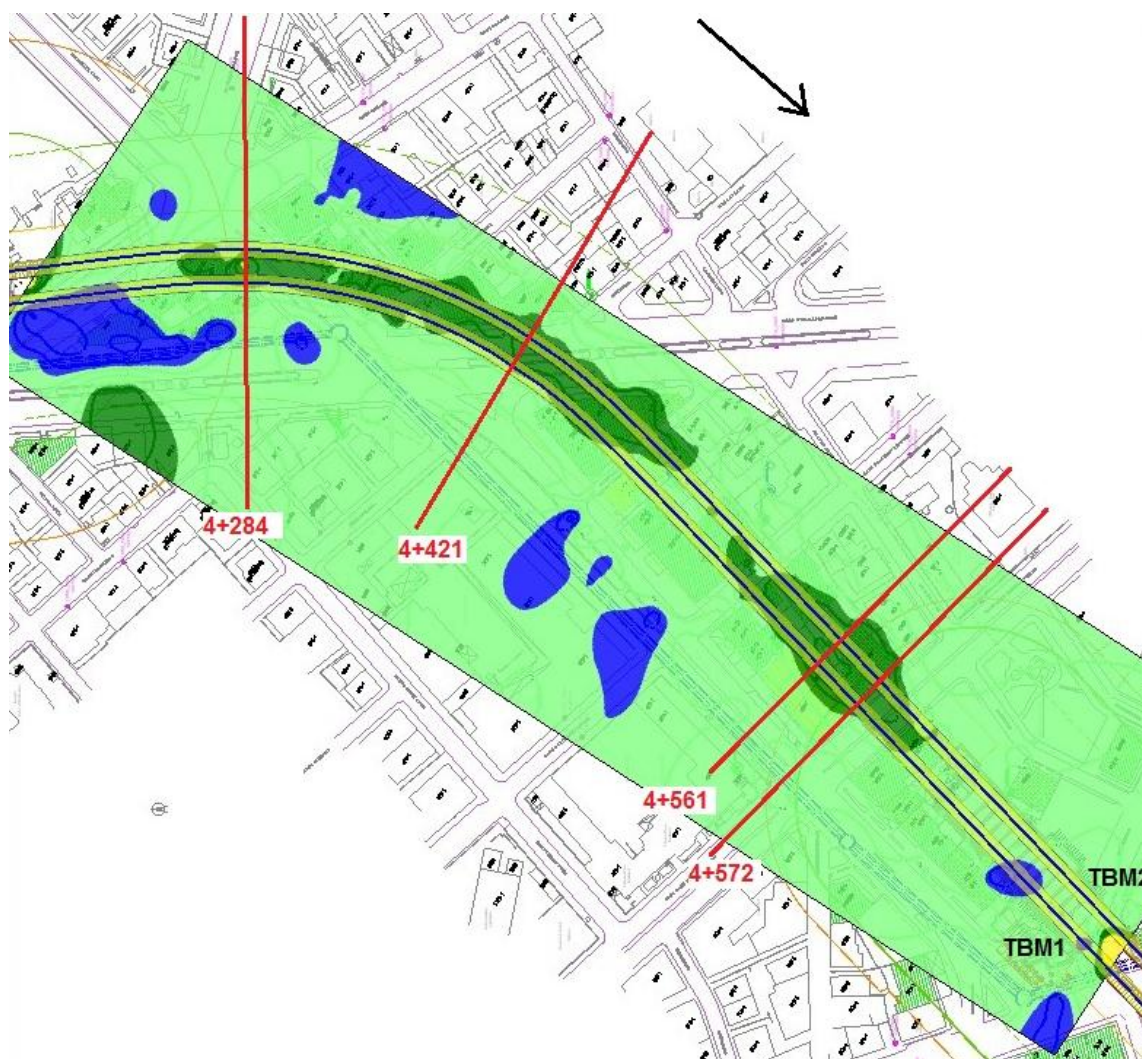
Τμήμα 6: Σταθμός Πανεπιστήμιο- Σταθμός Παπάφη



Εικόνα 5–7, Κάτοψη τμήματος Πανεπιστήμιο- Σταθμός Παπάφη

Στο τμήμα αυτό παρουσιάζονται ανάλογες συνθήκες με το προηγούμενο μεσοδιάστημα, αυτό σημαίνει ότι τα μηχανήματα κατά τη διάνοιξη των σηράγγων έχουν προκαλέσει μηδαμινές καθιζήσεις. Επομένως, πραγματοποιήθηκε μία μόνο ανάλυση στη Χ.Θ. 3+966.

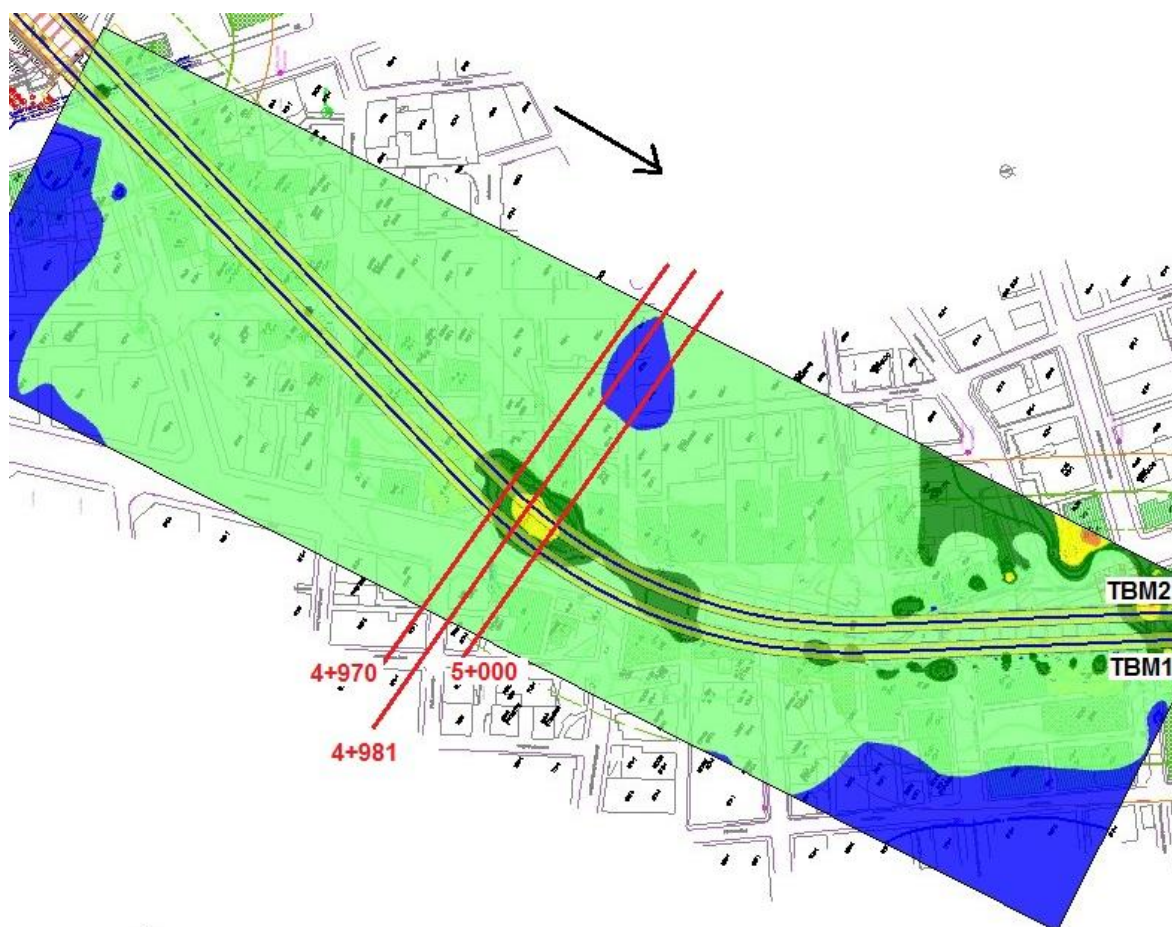
Τμήμα 7: Σταθμός Παπάφη- Σταθμός Ευκλείδη



Εικόνα 5–8, Κάτοψη τμήματος Σταθμός Παπάφη- Σταθμός Ευκλείδη

Το συγκεκριμένο μεσοδιάστημα έχει μήκος 540 μέτρα και λόγω της μορφής των καθιζήσεων επιλέχθηκε να γίνει ανάλυση στις χιλιομετρικές θέσεις 4+284, 4+421, 4+561 και 4+572. Η καθίζηση που φαίνεται στο τέλος οφείλεται στο διαφραγματικό τοίχο.

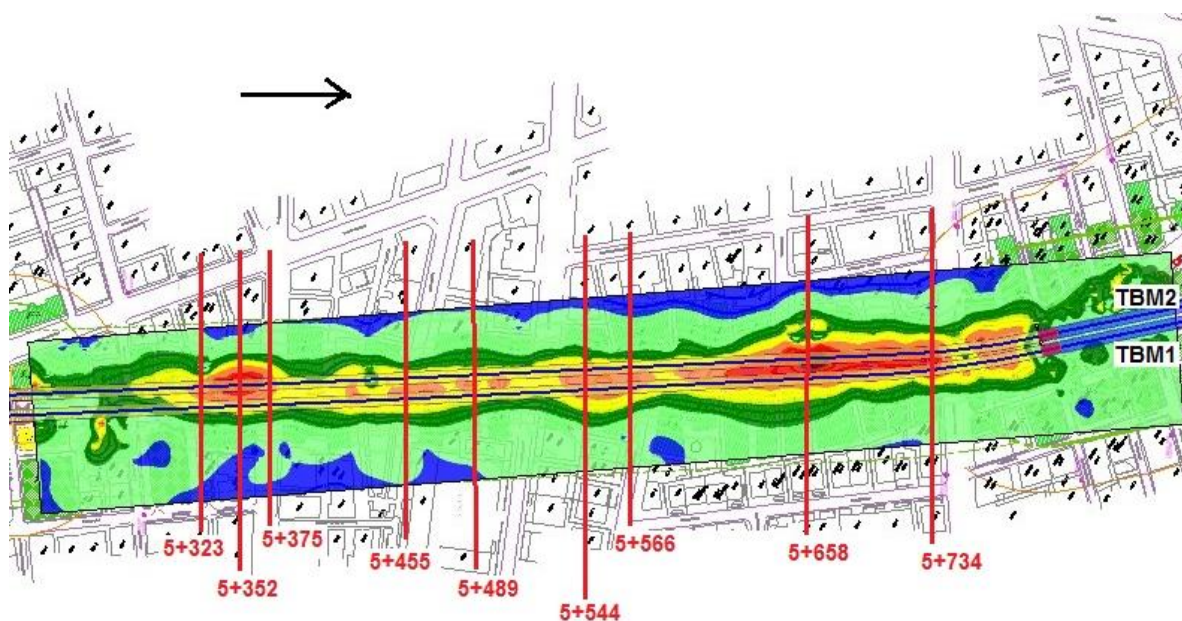
Τμήμα 8: Σταθμός Ευκλείδη- Σταθμός Φλέμινγκ



Εικόνα 5–9, Κάτοψη τμήματος Σταθμός Ευκλείδη- Σταθμός Φλέμινγκ

Στο μεσοδιάστημα μεταξύ των σταθμών Ευκλείδη και Φλέμινγκ, το οποίο έχει μήκος 522 μέτρα, πραγματοποιήθηκαν τρεις τομές περίπου στο κέντρο του τμήματος. Οι τομές αυτές βρίσκονται στις χιλιομετρικές θέσεις 4+970, 4+981 και 5+000. Οι μετακινήσεις οι οποίες φαίνονται κοντά στο τέλος του μεσοδιαστήματος διαπιστώθηκε μετά από έλεγχο ότι δεν οφείλονται στη διάνοιξη των μηχανημάτων καθώς υπήρχαν πολύ πριν αυτά πλησιάσουν στην περιοχή.

Τμήμα 9: Σταθμός Φλέμινγκ- Σταθμός Αναλήψεως



Εικόνα 5–10, Κάτοψη τμήματος Φλέμινγκ- Σταθμός Αναλήψεως

Το τελευταίο μεσοδιάστημα είναι και αυτό που παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον καθώς εμφανίζονται καθιζήσεις καθ'όλο το μήκος διάνοιξης του. Οι αυξημένες μετακινήσεις που προέκυψαν κατά τη διάνοιξη αυτού του τμήματος οφείλονται κατά κύριο λόγο στη γεωλογία της περιοχής όπου επικρατούν συνθήκες μεικτού μετώπου στο σύνολο του. Εδώ πραγματοποιήθηκαν εννέα τομές, στις Χ.Θ. 5+323, 5+352, 5+375, 5+455, 5+489, 5+544, 5+566, 5+658 και 5+734. Στο τέλος αυτού του μεσοδιαστήματος απεικονίζονται με μωβ χρώμα τα δύο TBM καθώς αυτήν την περίοδο βρίσκονται ακινητοποιημένα σε αυτήν τη θέση.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένας πίνακας που παρουσιάζει συνολικά τις τομές που αναλύθηκαν. Οι τομές οι οποίες προέκυψαν από την ίδια καθίζηση ομαδοποιήθηκαν σε μεσοδιαστήματα. Για κάθε μεσοδιάστημα παρουσιάζεται η χιλιομετρική θέση της έναρξης και της λήξης του καθώς και το αρχικό και τελικό της δαχτυλίδι. Σε όσες καθιζήσεις είχαν μικρό εύρος πραγματοποιήθηκε μία μόνο τομή. Για κάθε μία από τις τομές παρουσιάζεται η χιλιομετρική της θέση, το δαχτυλίδι που έχει τοποθετηθεί σε αυτήν τη θέση και η μέγιστη καθίζηση που προέκυψε ύστερα από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε.

αα	Τμήματα Μελέτης					Τομές	
	Αριθμός Δακτυλιδίου TBM		Χιλιμετρική Θέση		Μήκος τμήματος m	Καθίζηση (S) mm	Χιλιμετρική Θέση
	από	έως	από	έως			
ΝΣΣ - Σταθμός Δημοκρατίας	12	128	0+201	0+375	174	-18	0+222
						-10,5	0+230
						-7,7	0+260
						-14,35	0+287
						-7,6	0+298
						-9,13	0+366
Σταθμός Δημοκρατίας- Σταθμός Βενιζέλου	441	-	0+844	-	-	-8,43	0+884
	538	670	0+990	1+188	198	-8,68	1+002
						-13,3	1+092
						-7,05	1+139
						-13,92	1+164
	752	838	1+311	1+440	129	-15,3	1+326
Σταθμός Βενιζέλου- Σταθμός Αγία Σοφία	863	-	1+478	-	65	-20,1	1+478
	1084	-	1+809	-	-	-13,54	1+809
Σταθμός Αγία Σοφία- Σταθμός Συντριβάνι	1293	-	2+122	-	-	-8,81	2+122
	1355	-	2+215	-	-	-6,45	2+215
	1374	-	2+244	-	-	-6,76	2+244
	1452	-	2+361	-	-	-10,11	2+361
	1518	-	2+460	-	-	-10,6	2+460
	1533	-	2+483	-	-	-5,19	2+483
Σταθμός Συντριβάνι - Σταθμός Πανεπιστήμιο	1816	-	3+008	-	-	-6,05	3+008
Σταθμός Πανεπιστήμιο - Σταθμός Παπάφη	2454	-	3+966	-	-	-6,57	3+966
Σταθμός Παπάφη- Σταθμός Ευκλείδη	2666	-	4+284	-	-	-7,27	4+284
	2758	-	4+421	-	-	-6	4+421
	2851	-	4+561	-	-	-6,58	4+561
	2858	-	4+572	-	-	-7,11	4+572
Σταθμός Ευκλείδη- Σταθμός Φλέμινγκ	3124	-	4+970	-	-	-8,79	4+970
	3131	-	4+981	-	-	-8,31	4+981
	3144	-	5+000	-	-	-7,51	5+000
Σταθμός Φλέμινγκ- Σταθμός Αναλήψεως	3359	-	5+323	-	-	-14,45	5+323
	3379	-	5+352	-	-	-21,63	5+352
	3394	-	5+375	-	-	-22,01	5+375
	3447	-	5+455	-	-	-14,23	5+455
	3470	-	5+489	-	-	-11,97	5+489
	3507	-	5+544	-	-	-16,8	5+544
	3521	-	5+566	-	-	-15,53	5+566
	3583	-	5+658	-	-	-20,12	5+658
3633	-	5+734	-	-	-23,81	5+734	

Πίνακας 5–7, Συνολική παρουσίαση τομών και των αντίστοιχων καθιζήσεων που προέκυψαν

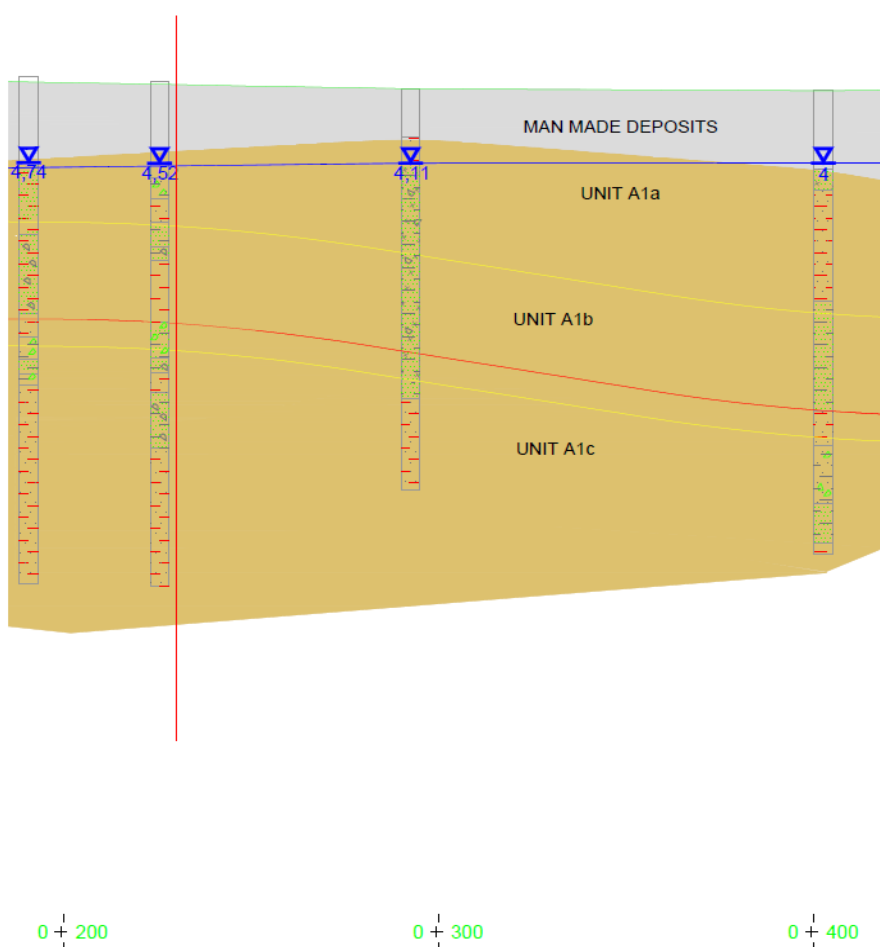
5.3.2. Καθιζήσεις εγκάρσια του άξονα των σηράγγων

Ύστερα από την ανάλυση των παραπάνω καθιζήσεων επιλέχθηκαν για παρουσίαση οι καθιζήσεις οι οποίες προέκυψαν από μετακινήσεις που έδωσαν και τα δύο μηχανήματα διάνοιξης. Οι τομές στις οποίες ήταν εμφανές πως μόνο ένα TBM έδωσε την καθίζηση που

προέκυψε, απορρίφθηκαν. Αυτό πραγματοποιήθηκε με στόχο να εξαχθούν τα σωστά αποτελέσματα όσον αφορά τις παραμέτρους καθιζήσεων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι δέκα πιο αξιοσημείωτες περιπτώσεις που αναλύθηκαν.

5.3.2.1. Τομή Χ.Θ. 0+230

Αρχικά παρουσιάζονται οι γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στη συγκεκριμένη χιλιομετρική θέση. Οι γεωλογικές συνθήκες αποτελούν έναν από τους καθοριστικότερους παράγοντες στην εξέλιξη των καθιζήσεων.



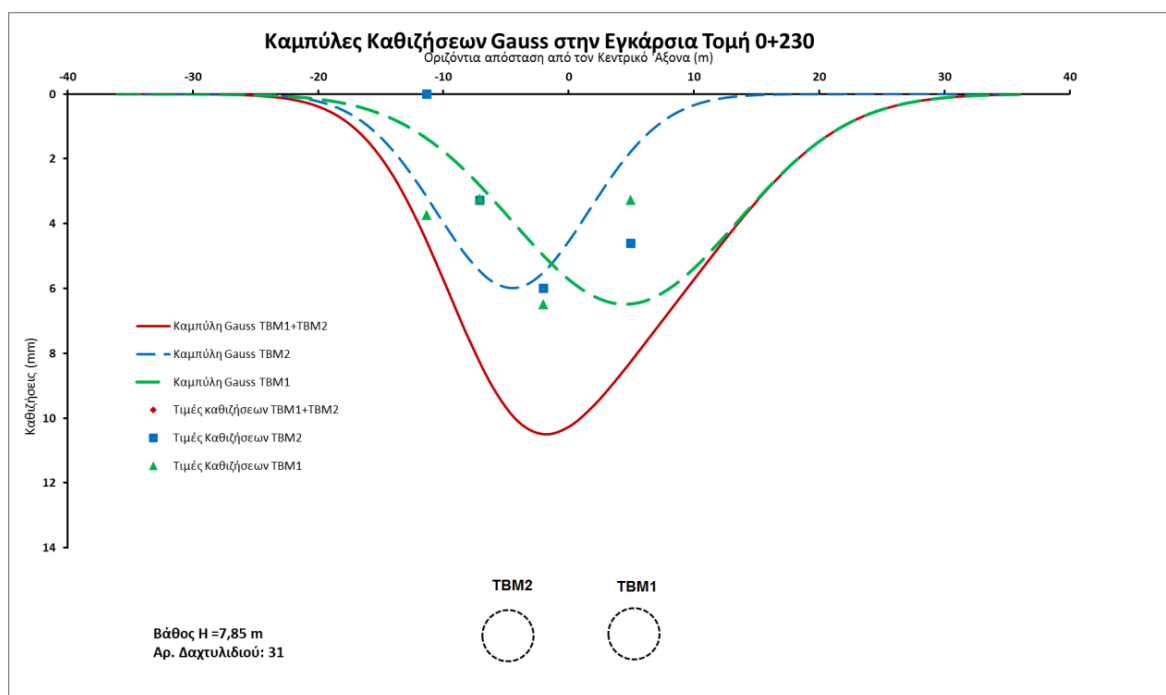
Σχήμα 5–11, Γεωλογικοί Σχηματισμοί τομής Χ.Θ. 0+230

Παρακάτω παρουσιάζονται τα χωροσταθμικά σημεία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της συγκεκριμένης τομής (Πίνακας 5–8). Για κάθε χωροσταθμικό σημείο δίνεται η ακριβής του θέση, η αρχική του μετακίνηση πριν διέλθει το TBM1, η τιμή της καθίζησης εξαιτίας του TBM1, η τιμή της καθίζησης εξαιτίας της διάνοιξης και των δύο σηράγγων καθώς και η πρόσθετη καθίζηση που συνέβη λόγω του TBM2.

	Εγκάρσια τομή στην Χιλιομετρική Θέση:			0+230		
	Χωροσταθμικά και ισοβαθείς	Απόσταση από τον άξονα	Στιγμή 0	Τιμές καθιζήσεων		
				TBM1	TBM2	Max
Left	2	-13,57				-2
	0230_12	-11,32	0	-3,74	0	-3,74
	0230_11	-7,08	0	-3,24	-3,28	-6,52
	8	-6				-8
	12	-4,6				-12
Center	0230_01	-2	0	-6,5	-6	-12,5
Right	12	0,95				-12
	8	3,43				-8
	0230_21	4,94	-0,47	-3,28	-4,62	-8,37
	4	6,9				-4
	2	8,55				-2

Πίνακας 5–8, Χωροσταθμικά σημεία και ισοβαθείς καμπύλες για την τομή Χ.Θ. 0+230

Στη συνέχεια βλέπουμε τις καμπύλες καθιζήσεων Gauss που προέκυψαν για αυτήν την τομή (Σχήμα 5–12). Στο σχήμα αυτό απεικονίζονται οι τρεις καμπύλες καθιζήσεων για τους τρεις χρόνους. Με πράσινη διακεκομμένη γραμμή έχει σχεδιασθεί η καμπύλη που προκλήθηκε από τη διάνοιξη του TBM1. Με μπλε διακεκομμένη γραμμή παρουσιάζεται η καμπύλη καθιζήσεων που έχει προκληθεί από τη διάνοιξη του TBM2. Τέλος, με κόκκινο χρώμα εμφανίζεται η συνολική καμπύλη της καθιζήσεων που οφείλεται και στα δύο μηχανήματα διάνοιξης.



Σχήμα 5–12, Καμπύλες Καθιζήσεων Gauss δίδυμης σήραγγας στη Χ.Θ. 0+230

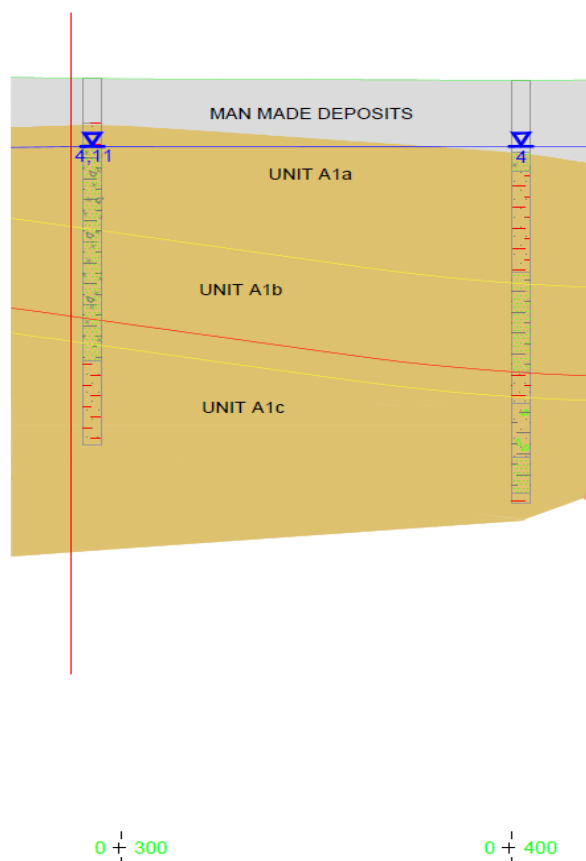
Οι παράμετροι των καθιζήσεων που προέκυψαν βάσει των παραπάνω αναλύσεων είναι:

TBM1		TBM2	
Σημείο καμπής		Σημείο καμπής	
i=	8,98 m	i=	6,06 m
Μέγιστη Καθίζηση		Μέγιστη Καθίζηση	
S_{max}=	6,49 mm	S_{max}=	5,99 mm
Γωνία επιρροής		Γωνία επιρροής	
β=	54,04 (°)	β=	40,67 (°)
Απώλεια όγκου εδάφους		Απώλεια όγκου εδάφους	
V_s=	0,15 m ³ /m	V_s=	0,09 m ³ /m
Σχετική απώλεια όγκου εδάφους		Σχετική απώλεια όγκου εδάφους	
V_i=	0,484 (%)	V_i=	0,302 (%)
Αδιάστατος γεωλογικός συντελεστής		Αδιάστατος γεωλογικός συντελεστής	
K=	0,64	K=	0,43

Πίνακας 5–9, Παράμετροι καθιζήσεων για τα TBM 1+2 στη Χ.Θ. 0+230

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρούμε ότι η σχετική απώλεια εδαφικού όγκου κυμαίνεται μεταξύ 0,3-0,48 %, το οποίο σημαίνει ότι επικρατεί πολύ καλός έλεγχος του εδάφους κατά την κατασκευή των σιράγγων. Επιπλέον, η γωνία επιρροής β κυμαίνεται μεταξύ 41°-54°, επομένως σύμφωνα με το διάγραμμα του Peck που παρουσιάστηκε παραπάνω συναντάμε μαλακή άργιλο και αμμώδη εδάφη κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα.

5.3.2.2. Τομή Χ.Θ. 0+287



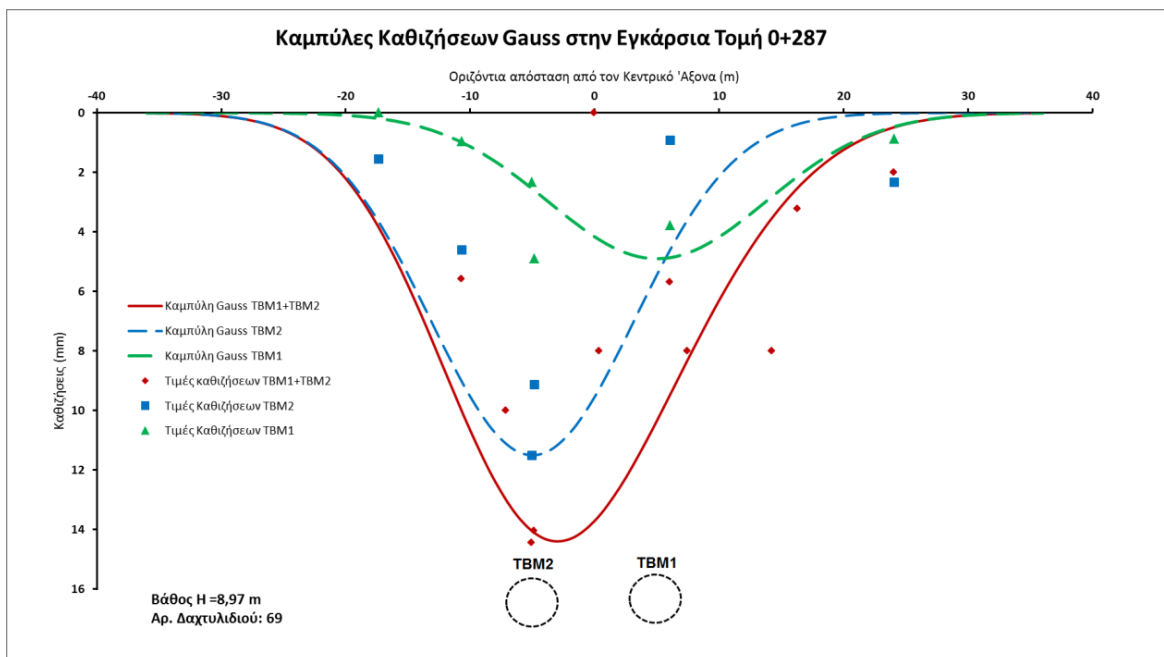
Σχήμα 5–13, Γεωλογικοί Σχηματισμοί τομής Χ.Θ. 0+287

Παρακάτω παρουσιάζονται τα χωροσταθμικά σημεία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της συγκεκριμένης τομής (Πίνακας 5–10).

	Εγκάρσια τομή στην Χιλιομετρική Θέση:			0+287		
	Χωροσταθμικά και ισοβαθείς	Απόσταση από τον άξονα	Στιγμή 0	Τιμές καθιζήσεων		
				TBM1	TBM2	Max
	0288_13	-17,38	0	0	1,56	1,56
	4	-11,29				-4
	0288_12	-10,68	0	-0,96	-4,61	-5,57
	8	-8,34				-8
Left	12	-5,64				-12
	0288_11	-5,02	-0,6	-2,34	-11,51	-14,45
	0288_02	-4,84	0	-4,9	-9,14	-14,04
	10	-1,55				-10
Center	8	0,37				-8
Right	0288_01	6,06	-0,97	-3,79	-0,93	-5,69
	8	7,45				-8
	6	16,31				-6
	0288_25	24,08	0	0,88	2,33	3,21

Πίνακας 5–10, Χωροσταθμικά σημεία και ισοβαθείς καμπύλες για την τομή Χ.Θ. 0+287

Στη συνέχεια βλέπουμε τις καμπύλες καθιζήσεων Gauss που προέκυψαν για αυτήν την τομή:



Σχήμα 5–14, Καμπύλες Καθιζήσεων Gauss δίδυμης σήραγγας στη Χ.Θ. 0+287

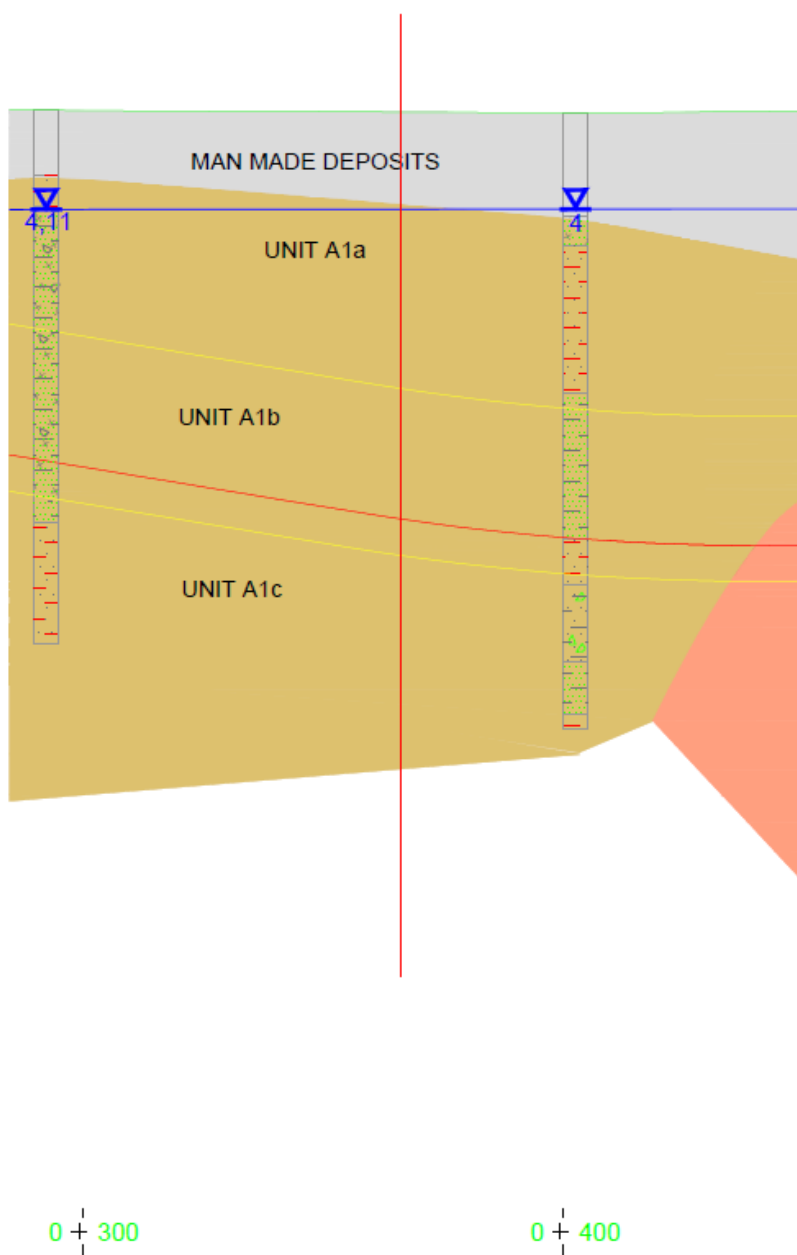
Οι παράμετροι των καθιζήσεων που προέκυψαν βάσει των παραπάνω αναλύσεων είναι:

TBM1		TBM2	
Σημείο καμπής		Σημείο καμπής	
i=	8,77 m	i=	8,16 m
Μέγιστη Καθίζηση		Μέγιστη Καθίζηση	
S _{max} =	4,90 mm	S _{max} =	11,51 mm
Γωνία επιρροής		Γωνία επιρροής	
β=	51,16 (°)	β=	48,80 (°)
Απώλεια όγκου εδάφους		Απώλεια όγκου εδάφους	
V _s =	0,11 m ³ /m	V _s =	0,23 m ³ /m
Σχετική απώλεια όγκου εδάφους		Σχετική απώλεια όγκου εδάφους	
V _i =	0,357 (%)	V _i =	0,781 (%)
Αδιάστατος γεωλογικός συντελεστής		Αδιάστατος γεωλογικός συντελεστής	
K=	0,58	K=	0,54

Πίνακας 5–11, Παράμετροι καθιζήσεων για τα TBM 1+2 στη Χ.Θ. 0+287

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρούμε ότι η σχετική απώλεια εδαφικού όγκου κυμαίνεται μεταξύ 0,36-0,78 %, το οποίο σημαίνει ότι επικρατεί καλός έλεγχος του εδάφους κατά την κατασκευή των σηράγγων. Επιπλέον, η γωνία επιρροής β κυμαίνεται μεταξύ 49°-51°, επομένως σύμφωνα με το διάγραμμα του Peck που παρουσιάστηκε παραπάνω συναντάμε άμμο κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα..

5.3.2.3. Τομή Χ.Θ. 0+366



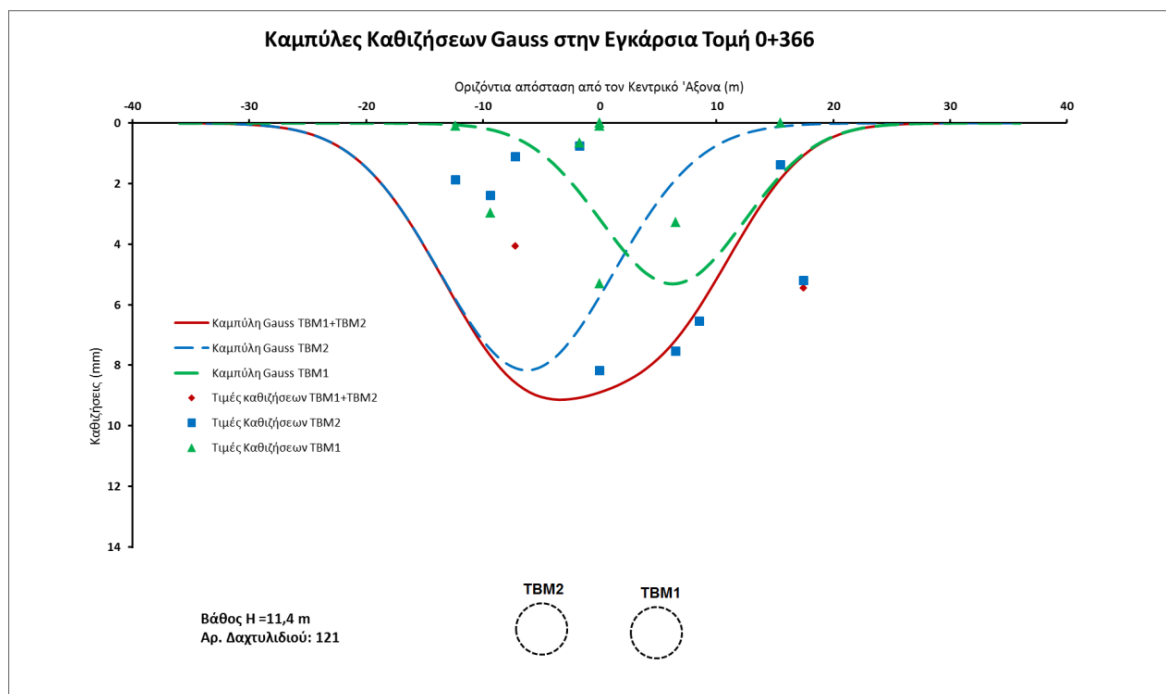
Σχήμα 5–15, Γεωλογικοί Σχηματισμοί τομής Χ.Θ. 0+366

Παρακάτω παρουσιάζονται τα χωροσταθμικά σημεία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της συγκεκριμένης τομής (Πίνακας 5–12).

	Εγκάρσια τομή στην Χιλιομετρική Θέση:			0+366		
	Χωροσταθμικά και ισοβαθείς	Απόσταση από τον άξονα	Στιγμή 0	Τιμές καθιζήσεων		
				TBM1	TBM2	Max
	0367_95	-12,33	-0,12	-0,09	-1,87	-2,08
Left	0367_12	-9,34	-0,12	-0,1	-2,39	-2,61
	0367_97	-7,19	0	-2,96	-1,11	-4,07
	2	-5,35				-2
center	0367_11	-1,73	-0,97	-0,1	-0,76	-1,83
	6	-0,67				-6
	0367_98	-0,01	-2,19	-0,66	-8,18	-11,03
	10	0,75				-10
Right	0367_99	6,49	-0,81	-5,3	-7,54	-13,65
	0367_24	8,52	-0,79	-3,28	-6,54	-10,61
	6	10,6				-6
	0367_94	15,47	0	0	-1,37	-1,37
	0367_25	17,47	-0,23	0	-5,21	-5,44

Πίνακας 5–12, Χωροσταθμικά σημεία και ισοβαθείς καμπύλες για την τομή Χ.Θ. 0+366

Στη συνέχεια βλέπουμε τις καμπύλες καθιζήσεων Gauss που προέκυψαν για αυτήν την τομή:



Σχήμα 5–16, Καμπύλες Καθιζήσεων Gauss δίδυμης σήραγγας στη Χ.Θ. 0+366

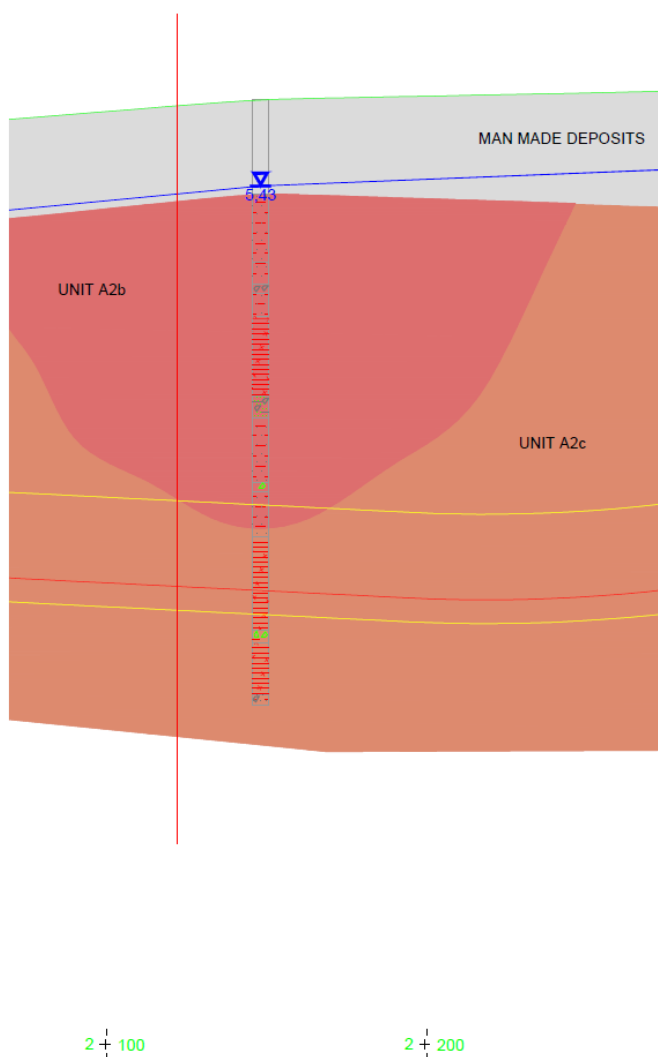
Οι παράμετροι των καθιζήσεων που προέκυψαν βάσει των παραπάνω αναλύσεων είναι:

TBM1		TBM2	
Σημείο καμπής		Σημείο καμπής	
i=	6,15 m	i=	7,41 m
Μέγιστη Καθίζηση		Μέγιστη Καθίζηση	
S_{max}=	5,31 mm	S_{max}=	8,17 mm
Γωνία επιρροής		Γωνία επιρροής	
β=	34,82 (°)	β=	41,14 (°)
Απώλεια όγκου εδάφους		Απώλεια όγκου εδάφους	
V_s=	0,08 m ³ /m	V_s=	0,15 m ³ /m
Σχετική απώλεια όγκου εδάφους		Σχετική απώλεια όγκου εδάφους	
V_i=	0,272 (%)	V_i=	0,503 (%)
Αδιάστατος γεωλογικός συντελεστής		Αδιάστατος γεωλογικός συντελεστής	
K=	0,35	K=	0,42

Πίνακας 5–13, Παράμετροι καθιζήσεων για τα TBM 1+2 στη Χ.Θ. 0+366

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρούμε ότι η σχετική απώλεια εδαφικού όγκου κυμαίνεται μεταξύ 0,272-0,503 %, το οποίο σημαίνει ότι επικρατεί πολύ καλός έλεγχος του εδάφους κατά την κατασκευή των σηράγγων. Επιπλέον, η γωνία επιρροής β κυμαίνεται μεταξύ 35°-41°, επομένως σύμφωνα με το διάγραμμα του Peck που παρουσιάστηκε παραπάνω συναντάμε μαλακή έως στιφρή άργιλο.

5.3.2.4. Τομή Χ.Θ. 2+122



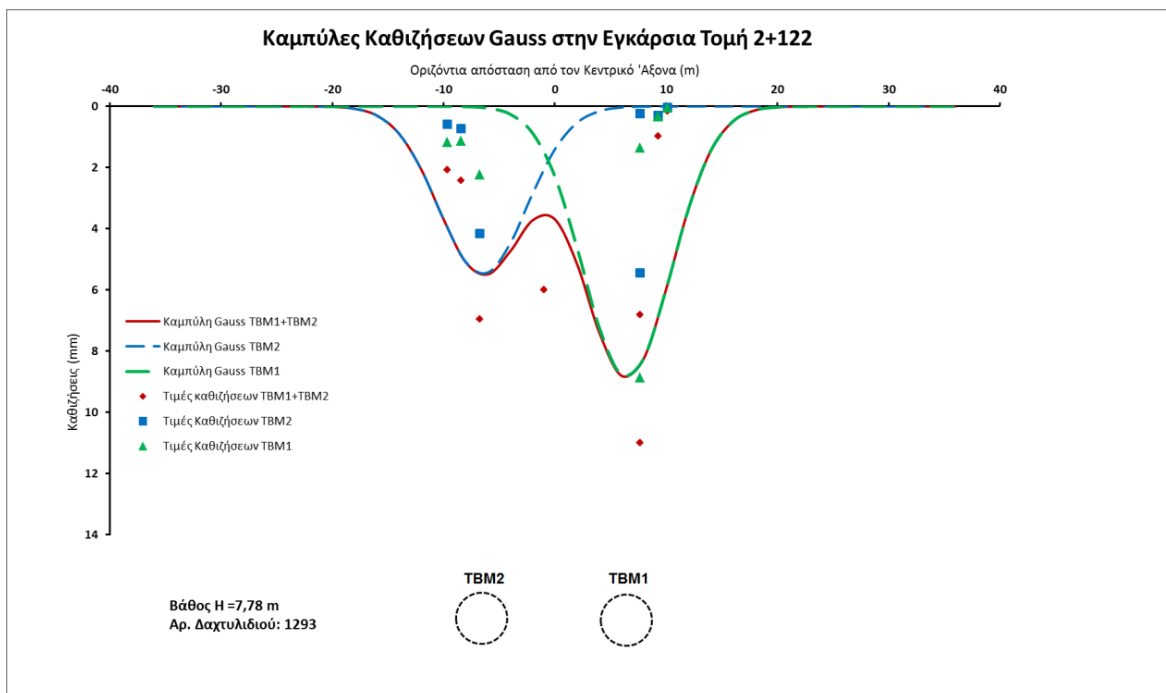
Σχήμα 5–17, Γεωλογικοί Σχηματισμοί τομής Χ.Θ. 2+122

Παρακάτω παρουσιάζονται τα χωροσταθμικά σημεία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της συγκεκριμένης τομής (Πίνακας 5–14).

	Εγκάρσια τομή στη Χιλιομετρική Θέση:			2+122		
	Χωροσταθμικά και ισοβαθείς	Απόσταση από τον άξονα	Στιγμή 0	Τμές καθιζήσεων		
				TBM1	TBM2	Max
Left	2122_98	-9,66	-0,32	-1,17	-0,59	-2,08
	2122_12	-8,45	-0,57	-1,14	-0,72	-2,43
	2122_99	-6,72	-0,56	-2,25	-4,15	-6,96
Center	6	-1				-6
Right	2123_99	7,64	0	-1,37	-5,45	-6,82
	2123_98	7,65	-1,9	-8,88	-0,23	-11,01
	2122_22	9,27	-0,33	-0,34	-0,3	-0,97
	2123_97	10,1	-0,05	-0,06	-0,04	-0,15

Πίνακας 5–14, Χωροσταθμικά σημεία και ισοβαθείς καμπύλες για την τομή Χ.Θ. 2+122

Στη συνέχεια βλέπουμε τις καμπύλες καθιζήσεων Gauss που προέκυψαν για αυτήν την τομή:



Σχήμα 5–18, Καμπύλες Καθιζήσεων Gauss δίδυμης σήραγγας στη Χ.Θ. 2+122

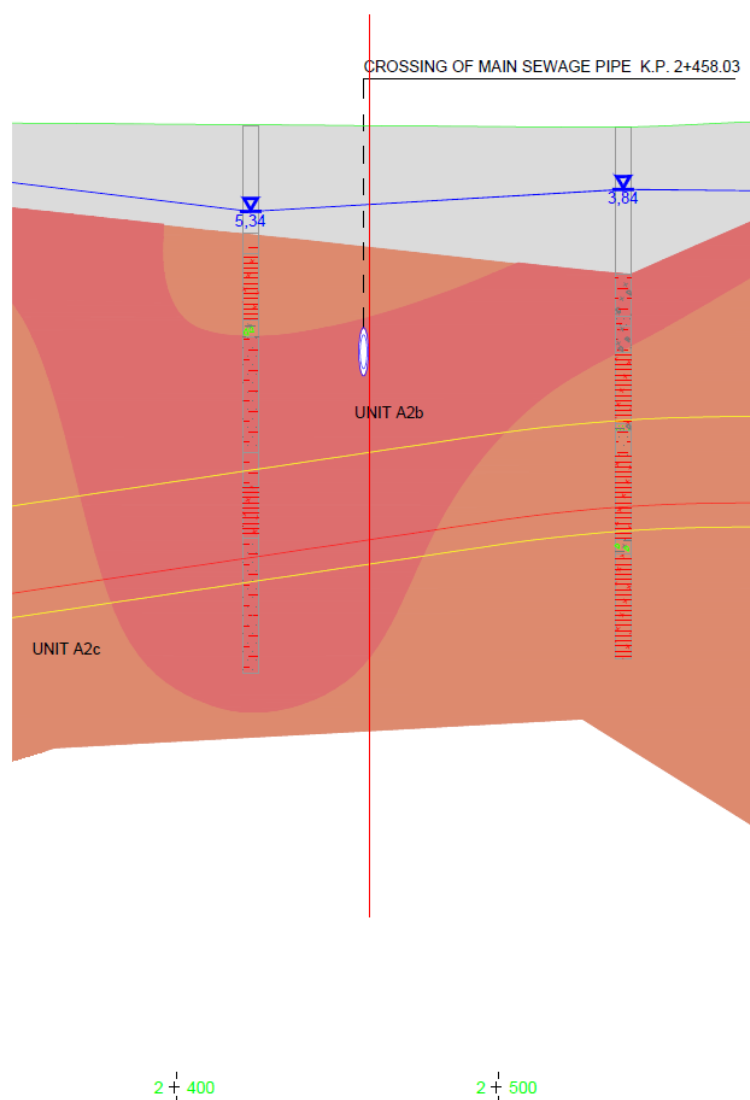
Οι παράμετροι των καθιζήσεων που προέκυψαν βάσει των παραπάνω αναλύσεων είναι:

TBM1		TBM2	
Σημείο καμπής		Σημείο καμπής	
i=	3,95 m	i=	3,94 m
Μέγιστη Καθίζηση		Μέγιστη Καθίζηση	
Smax=	8,85 mm	Smax=	5,47 mm
Γωνία επιρροής		Γωνία επιρροής	
β=	12,46 (°)	β=	12,41 (°)
Απώλεια όγκου εδάφους		Απώλεια όγκου εδάφους	
Vs=	0,09 m ³ /m	Vs=	0,05 m ³ /m
Σχετική απώλεια όγκου εδάφους		Σχετική απώλεια όγκου εδάφους	
Vi=	0,291 (%)	Vi=	0,179 (%)
Αδιάστατος γεωλογικός συντελεστής		Αδιάστατος γεωλογικός συντελεστής	
K=	0,13	K=	0,13

Πίνακας 5–15, Παράμετροι καθιζήσεων για τα TBM 1+2 στη Χ.Θ. 2+122

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρούμε ότι η σχετική απώλεια εδαφικού όγκου κυμαίνεται μεταξύ 0,179-0,291 %, το οποίο σημαίνει ότι επικρατεί πολύ καλός έλεγχος του εδάφους κατά την κατασκευή των σηράγγων. Επιπλέον, η γωνία επιρροής β είναι 12° επομένως σύμφωνα με το διάγραμμα του Peck που παρουσιάστηκε παραπάνω συναντάμε σκληρή άργιλο.

5.3.2.5. Τομή Χ.Θ. 2+460



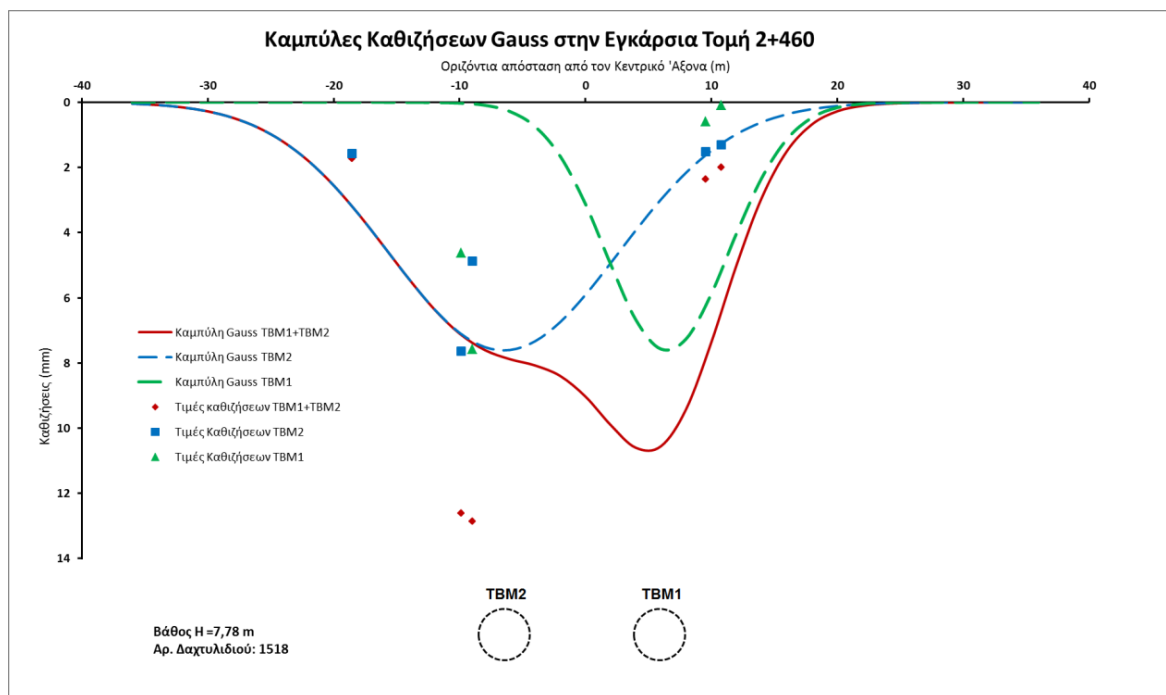
Σχήμα 5–19, Γεωλογικοί Σχηματισμοί τομής Χ.Θ. 2+460

Παρακάτω παρουσιάζονται τα χωροσταθμικά σημεία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της συγκεκριμένης τομής (Πίνακας 5–16).

	Εγκάρσια τομή στη Χιλιομετρική Θέση:			2+460		
	Χωροσταθμικά και ισοβαθείς	Απόσταση από τον άξονα	Στιγμή 0	Τιμές καθιζήσεων		
				TBM1	TBM2	Max
Left	2461_13	-18,54	-0,15	0	-1,57	-1,72
	2461_12	-9,86	-0,35	-4,63	-7,64	-12,62
	2459_12	-8,97	-0,41	-7,58	-4,88	-12,87
Center	10		-2,4			-10
	8		3,3			-8
Right	6		6,2			-6
	2461_22	9,55	-0,25	-0,59	-1,52	-2,36
	2459_99	10,77	-0,59	-0,09	-1,31	-1,99

Πίνακας 5–16, Χωροσταθμικά σημεία και ισοβαθείς καμπύλες για την τομή Χ.Θ. 2+460

Στη συνέχεια βλέπουμε τις καμπύλες καθιζήσεων Gauss που προέκυψαν για αυτήν την τομή:



Σχήμα 5–20, Καμπύλες Καθιζήσεων Gauss δίδυμης σήραγγας στη Χ.Θ. 2+460

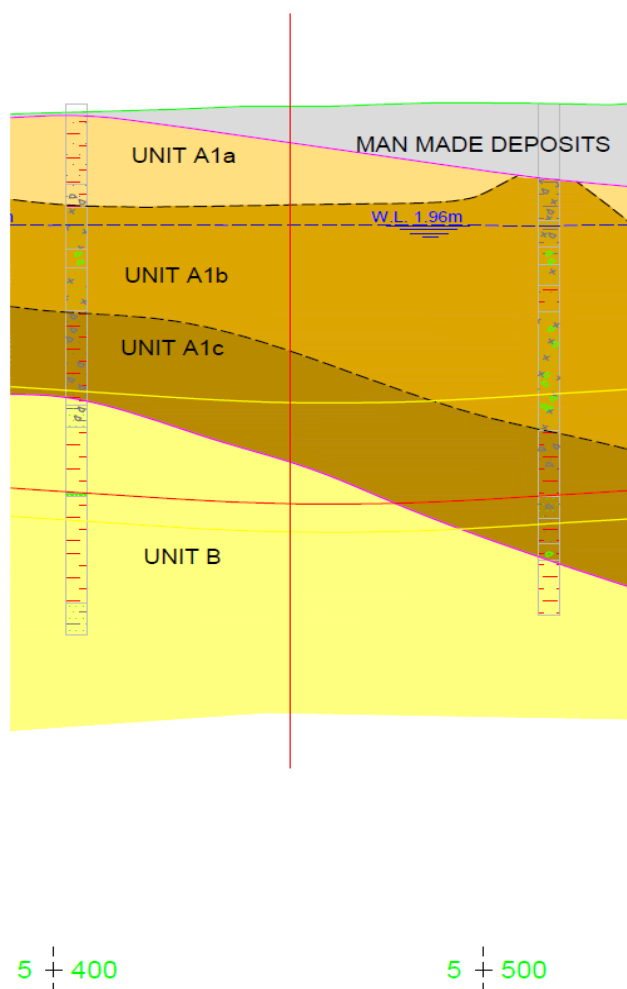
Οι παράμετροι των καθιζήσεων που προέκυψαν βάσει των παραπάνω αναλύσεων είναι:

TBM1		TBM2	
Σημείο καμπής		Σημείο καμπής	
i=	4,87 m	i=	9,13 m
Μέγιστη Καθίζηση		Μέγιστη Καθίζηση	
S_{max}=	7,61 mm	S_{max}=	7,61 mm
Γωνία επιρροής		Γωνία επιρροής	
β=	19,03 (°)	β=	36,86 (°)
Απώλεια όγκου εδάφους		Απώλεια όγκου εδάφους	
V_s=	0,09 m ³ /m	V_s=	0,17 m ³ /m
Σχετική απώλεια όγκου εδάφους		Σχετική απώλεια όγκου εδάφους	
V_i=	0,308 (%)	V_i=	0,578 (%)
Αδιάστατος γεωλογικός συντελεστής		Αδιάστατος γεωλογικός συντελεστής	
K=	0,19	K=	0,35

Πίνακας 5–17, Παράμετροι καθιζήσεων για τα TBM 1+2 στη Χ.Θ. 2+460

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρούμε ότι η σχετική απώλεια εδαφικού όγκου κυμαίνεται μεταξύ 0,308-0,578 %, το οποίο σημαίνει ότι επικρατεί πολύ καλός έλεγχος του εδάφους κατά την κατασκευή των σηράγγων. Επιπλέον, η γωνία επιρροής β κυμαίνεται μεταξύ 19°-37°, επομένως σύμφωνα με το διάγραμμα του Peck που παρουσιάστηκε παραπάνω συναντάμε μαλακή έως στιφή άργιλο. Τέλος, ο γεωλογικός συντελεστής k κυμαίνεται από 0,19 έως 0,35, επομένως δείχνει ότι βρισκόμαστε σε άμμο ή χάλικες.

5.3.2.6. Τομή Χ.Θ. 5+455



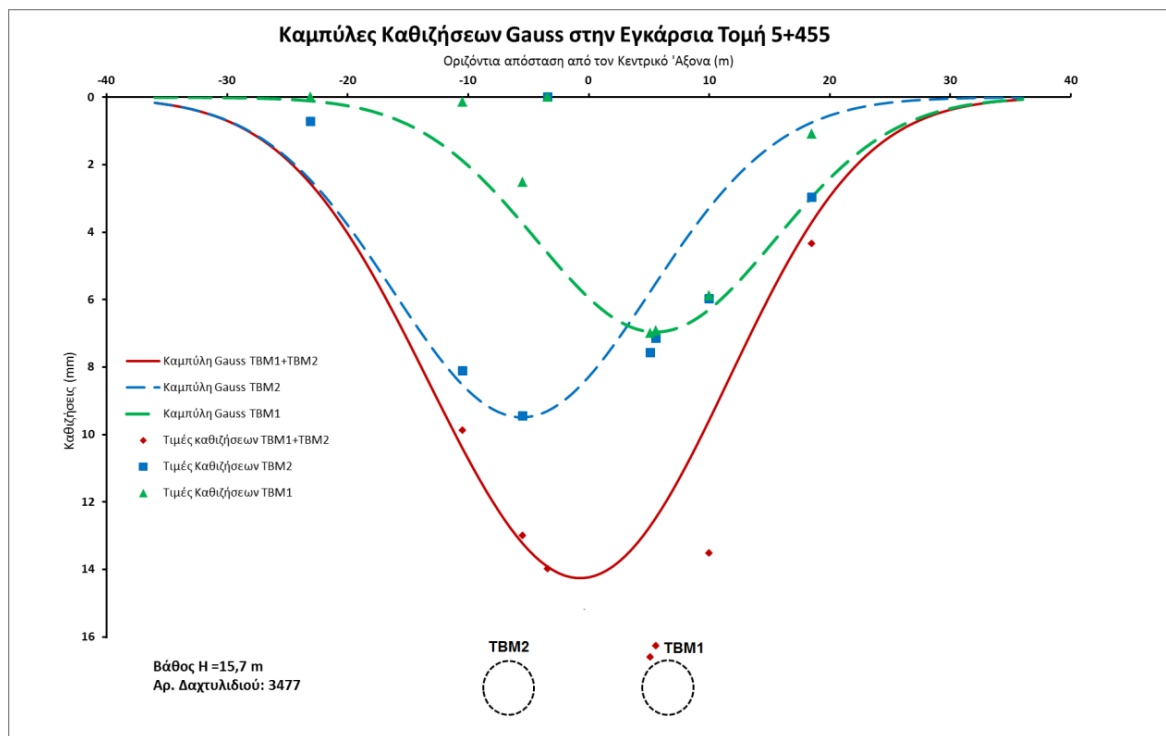
Σχήμα 5–21, Γεωλογικοί Σχηματισμοί τομής Χ.Θ. 5+455

Παρακάτω παρουσιάζονται τα χωροσταθμικά σημεία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της συγκεκριμένης τομής (Πίνακας 5–18).

	Εγκάρσια τομή στη Χιλιομετρική Θέση:			5+455		
	Χωροσταθμικά και ισοβαθείς	Απόσταση από τον άξονα	Στιγμή 0	Τιμές καθιζήσεων		
				TBM1	TBM2	Max
Left	5455_15	-23,06	0	0	-0,72	-0,72
	5455_13	-10,47	-1,65	-0,14	-8,11	-9,9
	5455_11	-5,47	-1,05	-2,51	-9,45	-13,01
	14	-3,4				-14
Center	-	-	-	-	-	-
Right	5455_21	5,11	-2,06	-6,99	-7,57	-16,62
	5455_99	5,6	-2,21	-6,92	-7,15	-16,28
	5455_42	9,99	-1,67	-5,88	-5,98	-13,53
	5455_23	18,53	-0,32	-1,08	-2,96	-4,36

Πίνακας 5–18, Χωροσταθμικά σημεία και ισοβαθείς καμπύλες για την τομή Χ.Θ. 5+455

Στη συνέχεια βλέπουμε τις καμπύλες καθιζήσεων Gauss που προέκυψαν για αυτήν την τομή:



Σχήμα 5–22, Καμπύλες Καθιζήσεων Gauss δίδυμης σήραγγας στη Χ.Θ. 5+455

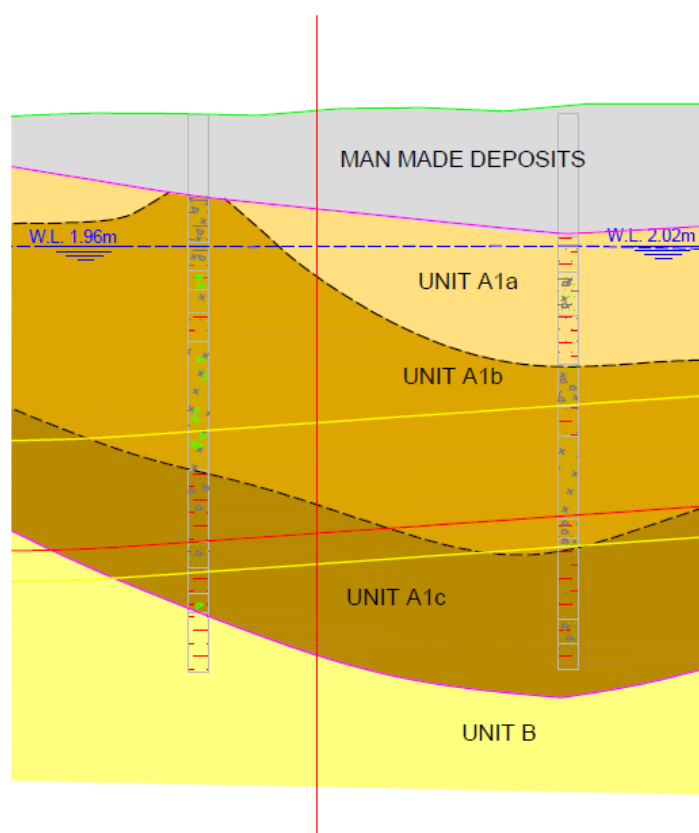
Οι παράμετροι των καθιζήσεων που προέκυψαν βάσει των παραπάνω αναλύσεων είναι:

TBM2		TBM1	
Σημείο καμπής		Σημείο καμπής	
i=	10,66 m	i=	9,90 m
Μέγιστη Καθίζηση		Μέγιστη Καθίζηση	
S_{max}=	9,49 mm	S_{max}=	6,96 mm
Γωνία επιρροής		Γωνία επιρροής	
β=	47,10 (°)	β=	44,70 (°)
Απώλεια όγκου εδάφους		Απώλεια όγκου εδάφους	
V_s=	0,25 m ³ /m	V_s=	0,17 m ³ /m
Σχετική απώλεια όγκου εδάφους		Σχετική απώλεια όγκου εδάφους	
V_i=	0,841 (%)	V_i=	0,573 (%)
Αδιάστατος γεωλογικός συντελεστής		Αδιάστατος γεωλογικός συντελεστής	
K=	0,49	K=	0,45

Πίνακας 5–19, Παράμετροι καθιζήσεων για τα TBM 1+2 στη Χ.Θ. 5+455

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρούμε ότι η σχετική απώλεια εδαφικού όγκου κυμαίνεται μεταξύ 0,573-0,841 %, το οποίο σημαίνει ότι επικρατεί καλός έλεγχος του εδάφους κατά την κατασκευή των σηράγγων. Επιπλέον, η γωνία επιρροής β κυμαίνεται μεταξύ 45°-47°, επομένως σύμφωνα με το διάγραμμα του Peck που παρουσιάστηκε παραπάνω συναντάμε μαλακή άργιλο. Τέλος, ο γεωλογικός συντελεστής k κυμαίνεται από 0,45 έως 0,49, επομένως δείχνει ότι βρισκόμαστε σε συνεκτικό έδαφος - στιφρή άργιλο.

5.3.2.7. Τομή Χ.Θ. 5+544



5 + 500

5 + 600

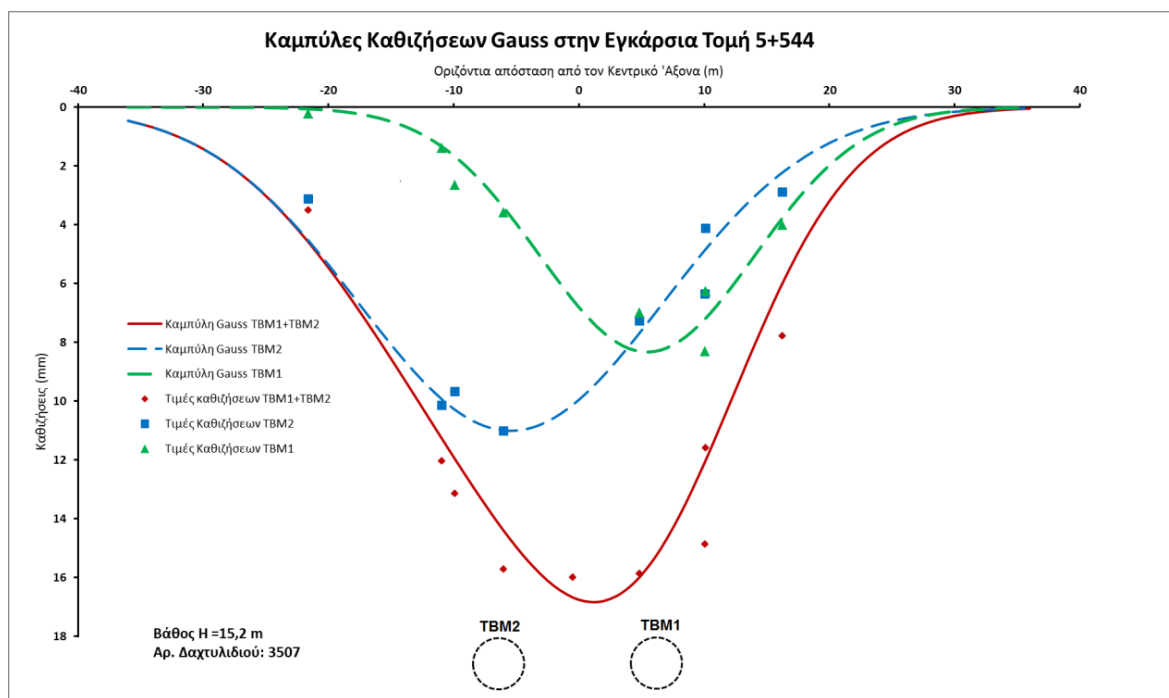
Σχήμα 5-23, Γεωλογικοί Σχηματισμοί τομής Χ.Θ. 5+544

Παρακάτω παρουσιάζονται τα χωροσταθμικά σημεία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της συγκεκριμένης τομής (Πίνακας 5–20).

	Εγκάρσια τομή στη Χιλιομετρική Θέση:			5+544		
	Χωροσταθμικά και ισοβαθείς	Απόσταση από τον άξονα	Στιγμή 0	Τιμές καθιζήσεων		
				TBM1	TBM2	Max
Left	5545_15	-21,6	-0,15	-0,22	-3,13	-3,5
	5545_41	-10,97	-0,51	-1,39	-10,14	-12,04
	5545_12	-9,91	-0,82	-2,65	-9,68	-13,15
	5545_11	-6	-1,11	-3,6	-11,02	-15,73
Center	16	-0,5				-16
Right	5545_21	4,84	-1,6	-7	-7,28	-15,88
	5545_42	10,08	-0,2	-8,32	-6,35	-14,87
	5545_22	10,12	-1,2	-6,28	-4,12	-11,6
	5545_24	16,23	-0,88	-4,01	-2,9	-7,79

Πίνακας 5–20, Χωροσταθμικά σημεία και ισοβαθείς καμπύλες για την τομή Χ.Θ. 5+544

Στη συνέχεια βλέπουμε τις καμπύλες καθιζήσεων Gauss που προέκυψαν για αυτήν την τομή:



Σχήμα 5–24, Καμπύλες Καθιζήσεων Gauss δίδυμης σήραγγας στη Χ.Θ. 5+544

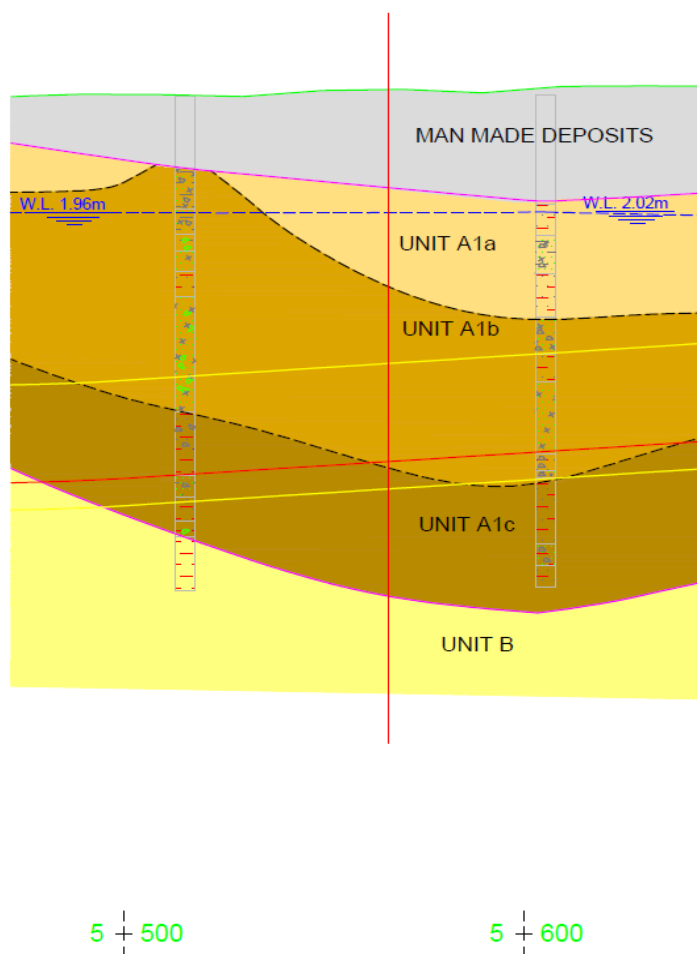
Οι παράμετροι των καθιζήσεων που προέκυψαν βάσει των παραπάνω αναλύσεων είναι:

TBM1		TBM2	
Σημείο καμπής		Σημείο καμπής	
i=	8,57 m	i=	12,13 m
Μέγιστη Καθίζηση		Μέγιστη Καθίζηση	
S_{max}=	8,33 mm	S_{max}=	11,01 mm
Γωνία επιρροής		Γωνία επιρροής	
β=	40,61 (°)	β=	51,84 (°)
Απώλεια όγκου εδάφους		Απώλεια όγκου εδάφους	
V_s=	0,18 m ³ /m	V_s=	0,33 m ³ /m
Σχετική απώλεια όγκου εδάφους		Σχετική απώλεια όγκου εδάφους	
V_i=	0,594 (%)	V_i=	1,110 (%)
Αδιάστατος γεωλογικός συντελεστής		Αδιάστατος γεωλογικός συντελεστής	
K=	0,40	K=	0,57

Πίνακας 5–21, Παράμετροι καθιζήσεων για τα TBM 1+2 στη Χ.Θ. 5+544

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρούμε ότι η σχετική απώλεια εδαφικού όγκου κυμαίνεται μεταξύ 0,594-1,110 %, το οποίο σημαίνει ο έλεγχος του εδάφους που επικρατεί κατά την κατασκευή των σηράγγων δεν είναι πολύ αποδοτικός. Επιπλέον, η γωνία επιρροής β κυμαίνεται μεταξύ 41°-52°, επομένως σύμφωνα με το διάγραμμα του Peck που παρουσιάστηκε παραπάνω συναντάμε μαλακή άργιλο και άμμο κάτω από τον υδάτινο ορίζοντα. Τέλος, ο γεωλογικός συντελεστής k κυμαίνεται από 0,4 έως 0,57, επομένως δίδει ότι βρισκόμαστε σε μαλακή ιλυώδη άργιλο.

5.3.2.8. Τομή Χ.Θ. 5+566



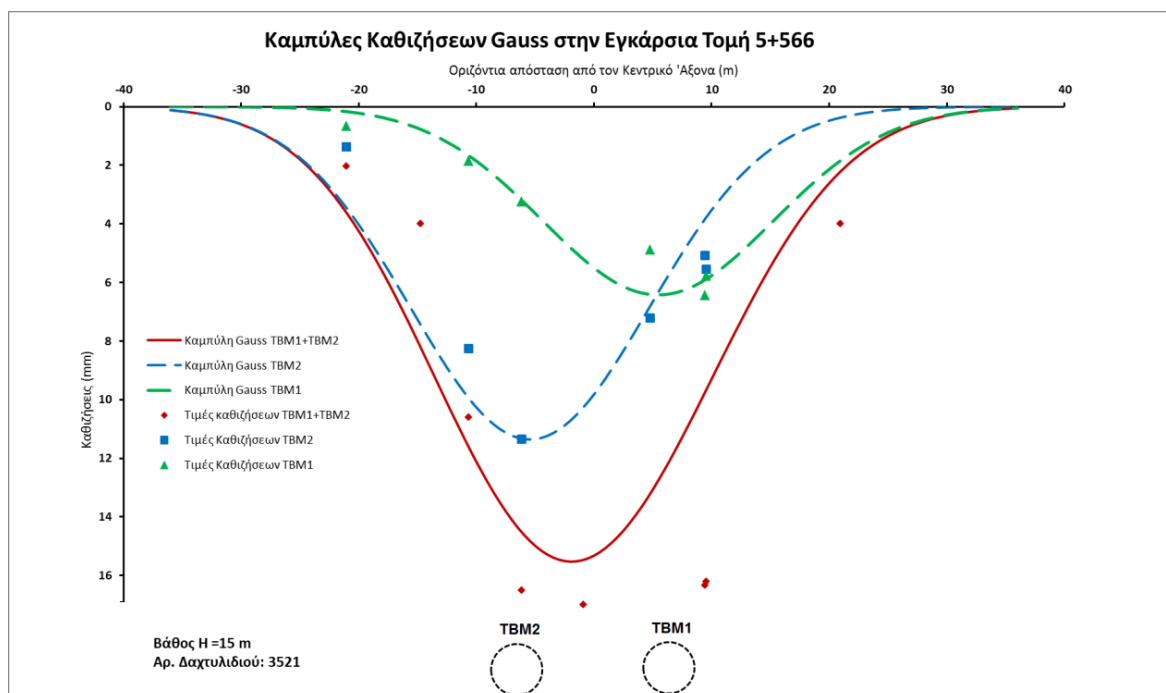
Σχήμα 5–25, Γεωλογικοί Σχηματισμοί τομής Χ.Θ. 5+566

Παρακάτω παρουσιάζονται τα χωροσταθμικά σημεία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της συγκεκριμένης τομής (Πίνακας 5–22).

	Εγκάρσια τομή στη Χιλιομετρική Θέση:			5+566		
	Χωροσταθμικά και ισοβαθείς	Απόσταση από τον άξονα	Στιγμή 0	Τιμές καθιζήσεων		
				TBM1	TBM2	Max
Left	5565_34	-21,03	0	-0,66	-1,38	-2,04
	4	-14,75				-4
	5565_12	-10,65	-0,49	-1,86	-8,25	-10,6
	5565_11	-6,12	-1,92	-3,24	-11,35	-16,51
Center	17	-0,9				-17
Right	5565_21	4,76	-5,8	-4,88	-7,21	-17,89
	5565_42	9,42	-4,82	-6,44	-5,08	-16,34
	5565_22	9,57	-4,86	-5,79	-5,56	-16,21
	4	20,95				-4

Πίνακας 5–22, Χωροσταθμικά σημεία και ισοβαθείς καμπύλες για την τομή Χ.Θ. 5+566

Στη συνέχεια βλέπουμε τις καμπύλες καθιζήσεων Gauss που προέκυψαν για αυτήν την τομή:



Σχήμα 5–26, Καμπύλες Καθιζήσεων Gauss δίδυμης σήραγγας στη Χ.Θ. 5+566

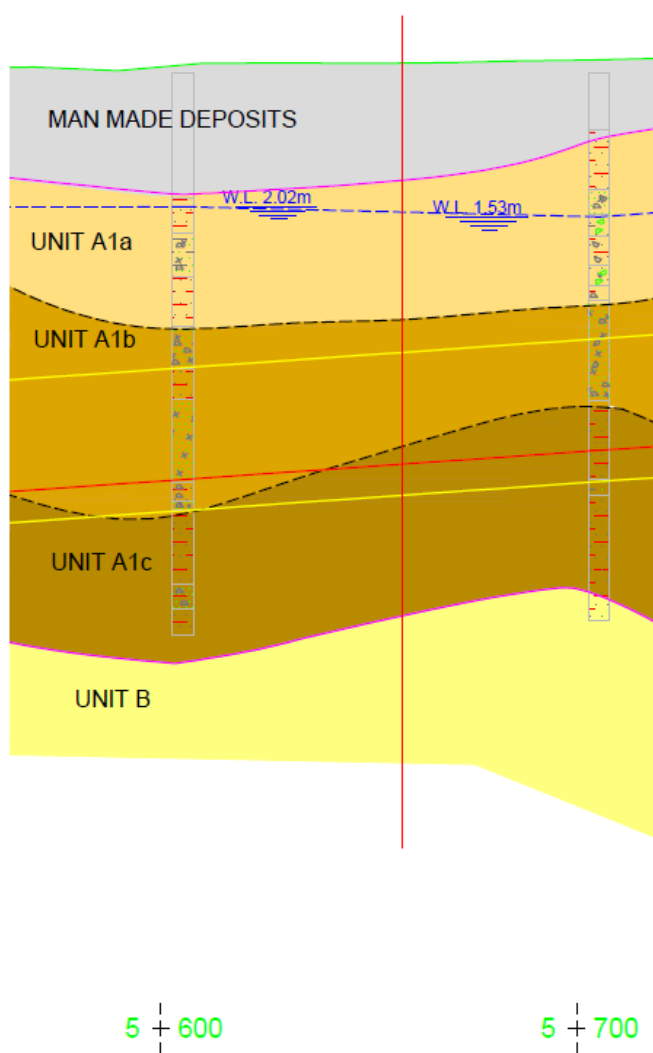
Οι παράμετροι των καθιζήσεων που προέκυψαν βάσει των παραπάνω αναλύσεων είναι:

TBM1		TBM2	
Σημείο καμπής		Σημείο καμπής	
i=	9,81 m	i=	10,10 m
Μέγιστη Καθίζηση		Μέγιστη Καθίζηση	
S _{max} =	6,42 mm	S _{max} =	11,36 mm
Γωνία επιρροής		Γωνία επιρροής	
β=	45,31 (°)	β=	46,28 (°)
Απώλεια όγκου εδάφους		Απώλεια όγκου εδάφους	
V _s =	0,16 m ³ /m	V _s =	0,29 m ³ /m
Σχετική απώλεια όγκου εδάφους		Σχετική απώλεια όγκου εδάφους	
V _i =	0,524 (%)	V _i =	0,954 (%)
Αδιάστατος γεωλογικός συντελεστής		Αδιάστατος γεωλογικός συντελεστής	
K=	0,46	K=	0,48

Πίνακας 5–23, Παράμετροι καθιζήσεων για τα TBM 1+2 στη Χ.Θ. 5+566

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρούμε ότι η σχετική απώλεια εδαφικού όγκου κυμαίνεται μεταξύ 0,524-0,954 %, το οποίο σημαίνει ότι επικρατεί καλός έλεγχος του εδάφους κατά την κατασκευή των σηράγγων, αλλά λιγότερο επιτυχής από τις άλλες περιπτώσεις μελέτης. Επιπλέον, η γωνία επιρροής β κυμαίνεται μεταξύ 45° - 46° , επομένως σύμφωνα με το διάγραμμα του Peck που παρουσιάστηκε παραπάνω συναντάμε άμμο κάτω από τον υδάτινο ορίζοντα. Τέλος, ο γεωλογικός συντελεστής k κυμαίνεται από 0,46 έως 0,48, επομένως δείχνει ότι βρισκόμαστε σε άργιλο.

5.3.2.9. Τομή Χ.Θ. 5+658



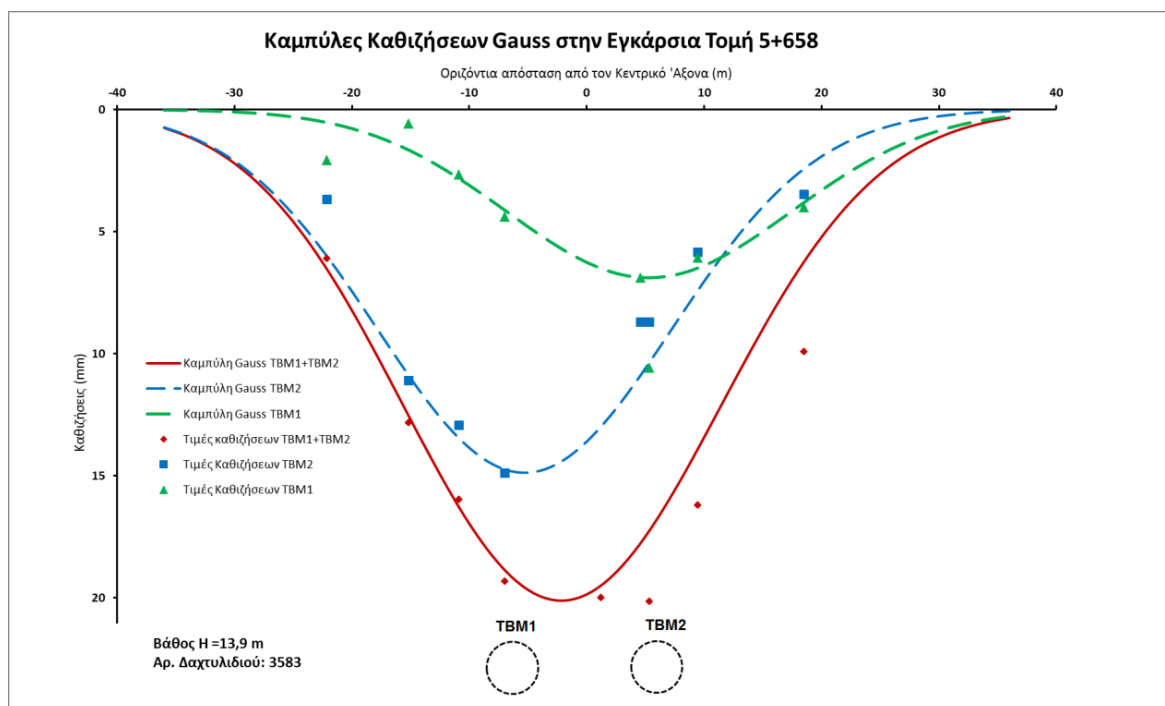
Σχήμα 5–27, Γεωλογικοί Σχηματισμοί τομής Χ.Θ. 5+658

Παρακάτω παρουσιάζονται τα χωροσταθμικά σημεία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της συγκεκριμένης τομής (Πίνακας 5–24).

	Εγκάρσια τομή στη Χιλιομετρική Θέση:			5+658		
	Χωροσταθμικά και ισοβαθείς	Απόσταση από τον άξονα	Στιγμή 0	Τιμές καθιζήσεων		
				TBM1	TBM2	Max
Left	TKTS5658_14	-22,13	-0,36	-2,08	-3,68	-6,12
	TKTS5658_13	-15,19	-1,12	-0,6	-11,12	-12,84
	TKTS5658_12	-10,88	-0,34	-2,69	-12,95	-15,98
	TKTS5658_11	-6,96	0	-4,42	-14,9	-19,32
Center	20	1,2				-20
Right	TKTS5658_21	4,6	-5,78	-6,91	-8,71	-21,4
	TKTS5658_99	5,32	-0,84	-10,6	-8,71	-20,15
	TKTS5658_22	9,45	-4,28	-6,07	-5,85	-16,2
	TKTS5658_23	18,5	-2,45	-4,01	-3,47	-9,93

Πίνακας 5–24, Χωροσταθμικά σημεία και ισοβαθείς καμπύλες για την τομή Χ.Θ. 5+658

Στη συνέχεια βλέπουμε τις καμπύλες καθιζήσεων Gauss που προέκυψαν για αυτήν την τομή:



Σχήμα 5–28, Καμπύλες Καθιζήσεων Gauss δίδυμης σήραγγας στη Χ.Θ. 5+658

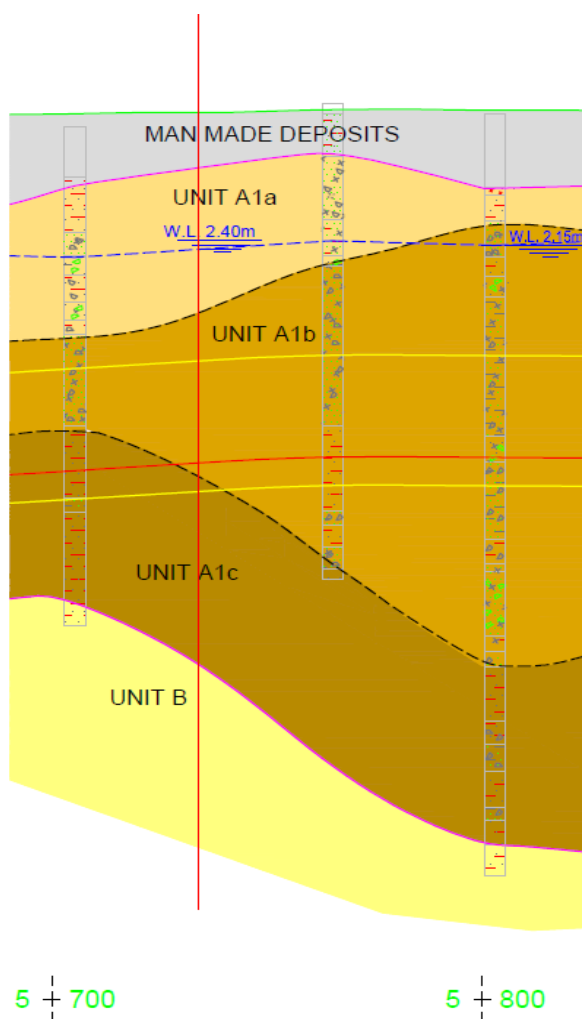
Οι παράμετροι των καθιζήσεων που προέκυψαν βάσει των παραπάνω αναλύσεων είναι:

TBM1		TBM2	
Σημείο καμπής		Σημείο καμπής	
i=	12,13 m	i=	12,50 m
Μέγιστη Καθίζηση		Μέγιστη Καθίζηση	
S_{max}=	6,89 mm	S_{max}=	14,88 mm
Γωνία επιρροής		Γωνία επιρροής	
β=	53,57 (°)	β=	54,49 (°)
Απώλεια όγκου εδάφους		Απώλεια όγκου εδάφους	
V_s=	0,21 m ³ /m	V_s=	0,46 m ³ /m
Σχετική απώλεια όγκου εδάφους		Σχετική απώλεια όγκου εδάφους	
V_i=	0,694 (%)	V_i=	1,546 (%)
Αδιάστατος γεωλογικός συντελεστής		Αδιάστατος γεωλογικός συντελεστής	
K=	0,60	K=	0,62

Πίνακας 5–25, Παράμετροι καθιζήσεων για τα TBM 1+2 στη Χ.Θ. 5+658

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρούμε ότι η σχετική απώλεια εδαφικού όγκου κυμαίνεται μεταξύ 0,694-1,546 %, το οποίο σημαίνει ότι ο έλεγχος του εδάφους που επικρατεί κατά την κατασκευή των σηράγγων δεν είναι πολύ αποδοτικός κατά την κατασκευή των σηράγγων. Επιπλέον, η γωνία επιρροής β είναι 54°, επομένως σύμφωνα με το διάγραμμα του Peck που παρουσιάστηκε παραπάνω συναντάμε άμμο κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Τέλος, ο γεωλογικός συντελεστής k είναι 0,6 επομένως δείχνει ότι βρισκόμαστε σε άργιλο.

5.3.2.10. Τομή Χ.Θ. 5+734



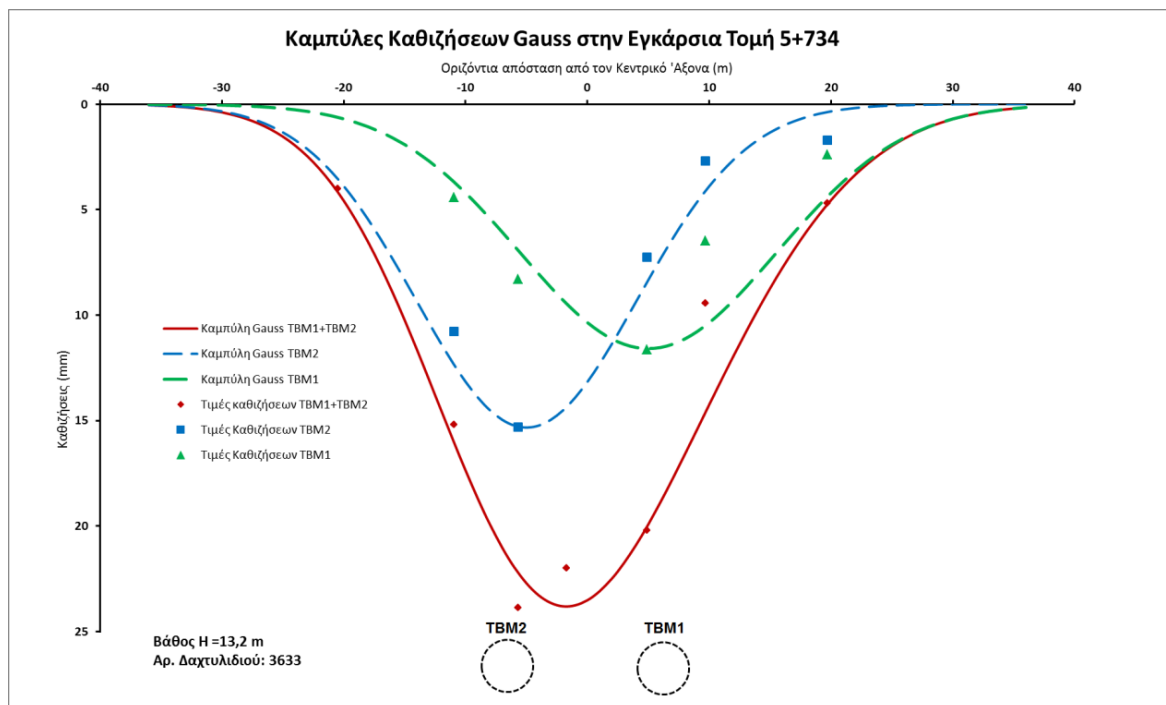
Σχήμα 5–29, Γεωλογικοί Σχηματισμοί τομής Χ.Θ. 5+734

Παρακάτω παρουσιάζονται τα χωροσταθμικά σημεία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της συγκεκριμένης τομής (Πίνακας 5–26).

	Εγκάρσια τομή στην Χιλιομετρική Θέση:			5+734		
	Χωροσταθμικά και ισοβαθείς	Απόσταση από τον άξονα	Στιγμή 0	Τιμές καθιζήσεων		
				TBM1	TBM2	Max
Left	4	-20,5				-4
	5734_12	-10,95	0	-4,41	-10,79	-15,2
	5734_11	-5,7	-0,26	-8,3	-15,31	-23,87
CENTER	22	-1,7				-22
Right	5734_21	4,88	-1,32	-11,63	-7,25	-20,2
	5734_22	9,7	-0,27	-6,48	-2,7	-9,45
	5734_23	19,72	-0,56	-2,41	-1,72	-4,69

Πίνακας 5–26, Χωροσταθμικά σημεία και ισοβαθείς καμπύλες για την τομή Χ.Θ. 5+734

Στη συνέχεια βλέπουμε τις καμπύλες καθιζήσεων Gauss που προέκυψαν για αυτήν την τομή:



Σχήμα 5–30, Καμπύλες Καθιζήσεων Gauss δίδυμης σήραγγας στη Χ.Θ. 5+734

Οι παράμετροι των καθιζήσεων που προέκυψαν βάσει των παραπάνω αναλύσεων είναι:

TBM1		TBM2	
Σημείο καμπής		Σημείο καμπής	
i=	10,54 m	i=	9,05 m
Μέγιστη Καθίζηση		Μέγιστη Καθίζηση	
S _{max} =	11,59 mm	S _{max} =	15,33 mm
Γωνία επιρροής		Γωνία επιρροής	
β=	50,18 (°)	β=	45,22 (°)
Απώλεια όγκου εδάφους		Απώλεια όγκου εδάφους	
V _s =	0,31 m ³ /m	V _s =	0,35 m ³ /m
Σχετική απώλεια όγκου εδάφους		Σχετική απώλεια όγκου εδάφους	
V _i =	1,015 (%)	V _i =	1,154 (%)
Αδιάστατος γεωλογικός συντελεστής		Αδιάστατος γεωλογικός συντελεστής	
K=	0,54	K=	0,47

Πίνακας 5–27, Παράμετροι καθιζήσεων για τα TBM 1+2 στη Χ.Θ. 5+734

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρούμε ότι η σχετική απώλεια εδαφικού όγκου κυμαίνεται μεταξύ 1,015-1,154 %, το οποίο σημαίνει ότι επικρατεί σχετικά καλός έλεγχος του εδάφους κατά την κατασκευή των σηράγγων. Επιπλέον, η γωνία επιρροής β κυμαίνεται μεταξύ 45° - 50° , επομένως σύμφωνα με το διάγραμμα του Peck που παρουσιάστηκε παραπάνω συναντάμε άμμο κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα ή οριακά στιφρή άργιλο. Τέλος, ο γεωλογικός συντελεστής k κυμαίνεται από 0,47 έως 0,54, επομένως δείχνει ότι βρισκόμαστε σε άργιλο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – Παράγοντες συμπεριφοράς της διάνοιξης

6. Παράγοντες συμπεριφοράς της διάνοιξης

6.1. Βασικές παράμετροι λειτουργίας

Οι τρεις βασικές παράμετροι λειτουργίας του κύκλου εκσκαφής ενός μηχανήματος ολομέτωπη κοπής είναι: η πίεση στο μέτωπο, το βάρος του υλικού εκσκαφής και η τιμή της εισπίεσης ενέματος.

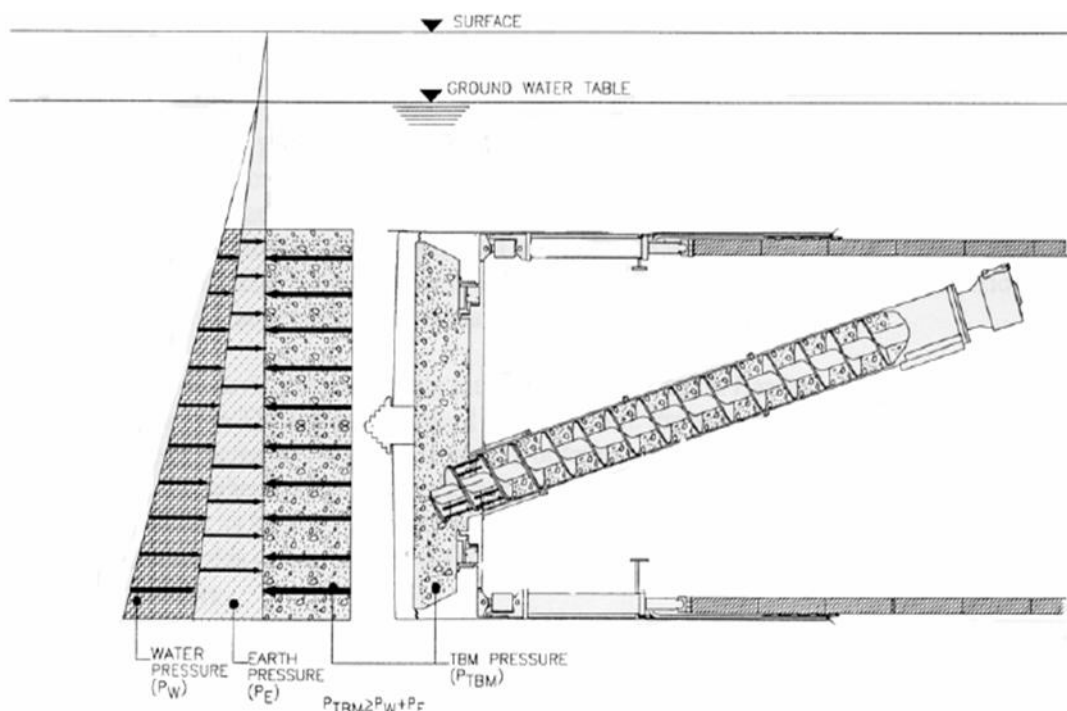
6.1.1. Πίεση λειτουργίας EPB

Η αρχή λειτουργίας του EPB TBM είναι ότι η εκσκαφή συγκρατείται με τη συμπίεση των προϊόντων εκσκαφής που παραμένουν στο θάλαμο της κοπτικής κεφαλής για την εξισορρόπηση της ασκούμενης εδαφικής πίεσης. Επιπρόσθετα, ο σωρός του κατακερματισμένου εδάφους εξάγεται μέσω συστήματος ελεγχόμενης εκφόρτωσης.

Ο σωρός που συγκρατείται στο θάλαμο της κοπτικής κεφαλής πρέπει να συμπιέζεται σε τιμή πίεσης που εξαρτάται από τη γεωλογία που συναντάται κατά μήκος της χάραξης της σήραγγας και από τις υδροστατικές και υδροδυναμικές συνθήκες του επί τόπου εδάφους (στάθμη υδροφόρου ορίζοντα σε σχέση με τον άξονα της σήραγγας, υδραυλική κλίση διήθησης υδάτων, διαπερατότητα εδάφους).

Υπό την πίεση που εφαρμόζεται, το έδαφος εκκενώνεται από το μπροστινό μέρος, εισέρχεται στο θάλαμο της κοπτικής κεφαλής και εκφορτώνεται με ελεγχόμενο τρόπο μέσω του μεταφορέα με ατέρμονα κοχλία.

Η τιμή της πίεσης αντιστάθμισης που πρέπει να εφαρμοστεί για την υποστήριξη του μετώπου της εκσκαφής θα καθοριστεί κατά τη διάρκεια της φάσης της οριστικής μελέτης σε διαφορετικά και ομοιογενή τμήματα της χάραξης της σήραγγας. Η τιμή που θα καθοριστεί σύμφωνα με τα ανωτέρω, θα θεωρείται ως βάση για τον καθορισμό των τιμών «επιφυλακής» και «συναγερμού» που θα παρακολουθούνται καθόλη τη διάρκεια των εργασιών εκσκαφής.



Σχήμα 6–1, Συνθήκες πίεσης μετώπου κάτω από την επιφάνεια του εδάφους

6.1.2. Βάρος και όγκος προϊόντων εκσκαφής

Το βάρος των προϊόντων εκσκαφής παρέχεται από τον μελετητή σύμφωνα με τη γεωλογία και, επομένως, την υπάρχουσα πυκνότητα. Το βάρος του υλικού εξόρυξης ζυγίζεται σε δύο ανεξάρτητες πλάστιγγες που είναι εγκατεστημένες στον μάντα μεταφοράς υποστήριξης. Ο χειριστής TBM πρέπει να διατηρεί πάντοτε, κατά τη διάρκεια της εξόρυξης, το βάρος εντός των αναμενόμενων τιμών. Σε περίπτωση που η τιμή διαφέρει από την τιμή αναφοράς, ο χειριστής αλλάζει τις συνθήκες λειτουργίας, όπως την ταχύτητα προώθησης ή/ και την ταχύτητα του μεταφορέα με ατέρμονα κοχλία.

Ο χειριστής του TBM θα πρέπει να ρυθμίζει την ταχύτητα περιστροφής του κοχλία, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον όγκο του εξορυσσόμενου υλικού, ανάλογα με το βαθμό διεύθυνσης του μηχανήματος, ώστε να διατηρείται η επιθυμητή πίεση μετώπου και ακολούθως το αναμενόμενο βάρος υλικού εκσκαφής (έδαφος + πρόσθετα).

Ο όγκος των προϊόντων εκσκαφής είναι ένας έλεγχος που μπορεί να γίνει εύκολα στα αμαξίδια των προϊόντων εκσκαφής, αν και κατά κανόνα επηρεάζεται από λιγότερη ακρίβεια, καθώς ο όγκος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ρύθμιση των προϊόντων εκσκαφής.

6.1.3. Εισπίεση ενέματος

Ο έλεγχος της εισπίεσης ενέματος αποτελεί αναγκαία λειτουργία του μηχανήματος καθώς με αυτόν τον τρόπο ελέγχονται και οι καθιζήσεις στην επιφάνεια. Ο έλεγχος του όγκου και της πίεσης γίνεται από τον χειριστή TBM και τον μηχανικό βάρδιας. Σε περίπτωση μικρότερης τιμής, μπορεί να γίνει αλλαγή των παραμέτρων του ενέματος ή μείωση της ταχύτητας προώθησης του TBM. Ο μεγαλύτερος όγκος ενέματος υποδεικνύει υπερεκσκαφή ή επικοινωνία του διάκενου δακτυλίου με το μέτωπο.

Οι πιο σημαντικοί παράγοντες καθορισμού της ποσότητας του εισπιεζόμενου ενέματος είναι η κατάσταση των κοπτικών, διότι μπορεί να οδηγήσουν σε μείωση της ποσότητας και η διαπερατότητα του εδάφους, η οποία μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της απαιτούμενης ποσότητας ανάλογα με την πυκνότητα του ενέματος.

Κατά τη διάρκεια της εκσκαφής θα πρέπει να γίνεται συνεχής παρακολούθηση του όγκου ενέματος. Σε περίπτωση όπου το ποσό του εισπιεζόμενου κονιάματος από σκυρόδεμα υπερβεί ή είναι μικρότερη από τις θεωρητικές τιμές, θα πρέπει να γίνουν ενέργειες για την επιβεβαίωση των αιτιών. (Πηγή: V.Guglielmetti et al.,2008)

6.1.4. Ροπή της κεφαλής κοπής

Η ροπή της κοπτικής κεφαλής θα πρέπει να καθοριστεί λαμβάνοντας υπόψη τις εδαφικές συνθήκες και τον τύπο, την κατασκευή και τη διάμετρο του επιλεγμένου μηχανήματος με ασπίδα.

Η απαιτούμενη ροπή συντίθεται από συνιστώσες ροπής που δίνονται από την παρακάτω εξίσωση:

$$T_N = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6$$

όπου

T_N = απαιτούμενη ροπή κοπτικής κεφαλής

T_1 = ροπή που απαιτείται για την υπερνίκηση της αντίστασης του εδάφους σε κοπή

T_2 = ροπή που απαιτείται για την υπερνίκηση της αντίστασης του εδάφους σε τριβή

T_3 = ροπή που απαιτείται για την υπερνίκηση της αντίστασης του εδάφους σε ανάμειξη και ανάδευση

T_4 = ροπή που απαιτείται για την υπερνίκηση του κύριου εφέδρανου

T_5 = ροπή που απαιτείται για την υπερνίκηση της αντίστασης των στοιχείων στεγανοποίησης των εφέδρανων σε τριβή

T_6 = ροπή για την υπερνίκηση των μηχανικών απωλειών στους μειωτήρες στροφών

6.1.5. Καθορισμός συνθηκών λειτουργίας ενός μηχανήματος ολομέτωπης κοπής

Οι συνθήκες λειτουργίας ενός μηχανήματος λέγεται ότι είναι κανονικές όταν οι παράμετροι και τα χαρακτηριστικά εκσκαφής βρίσκονται εντός των κατώτατων ορίων. Είναι αναγκαίο να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή όταν οι συνθήκες στις οποίες λειτουργεί το TBM είναι δυσμενείς και οι τιμές των βασικών παραμέτρων λειτουργίας αποκλίνουν από τις προκαθορισμένες.

Ανησυχητικές θεωρούνται οι συνθήκες λειτουργίας όταν:

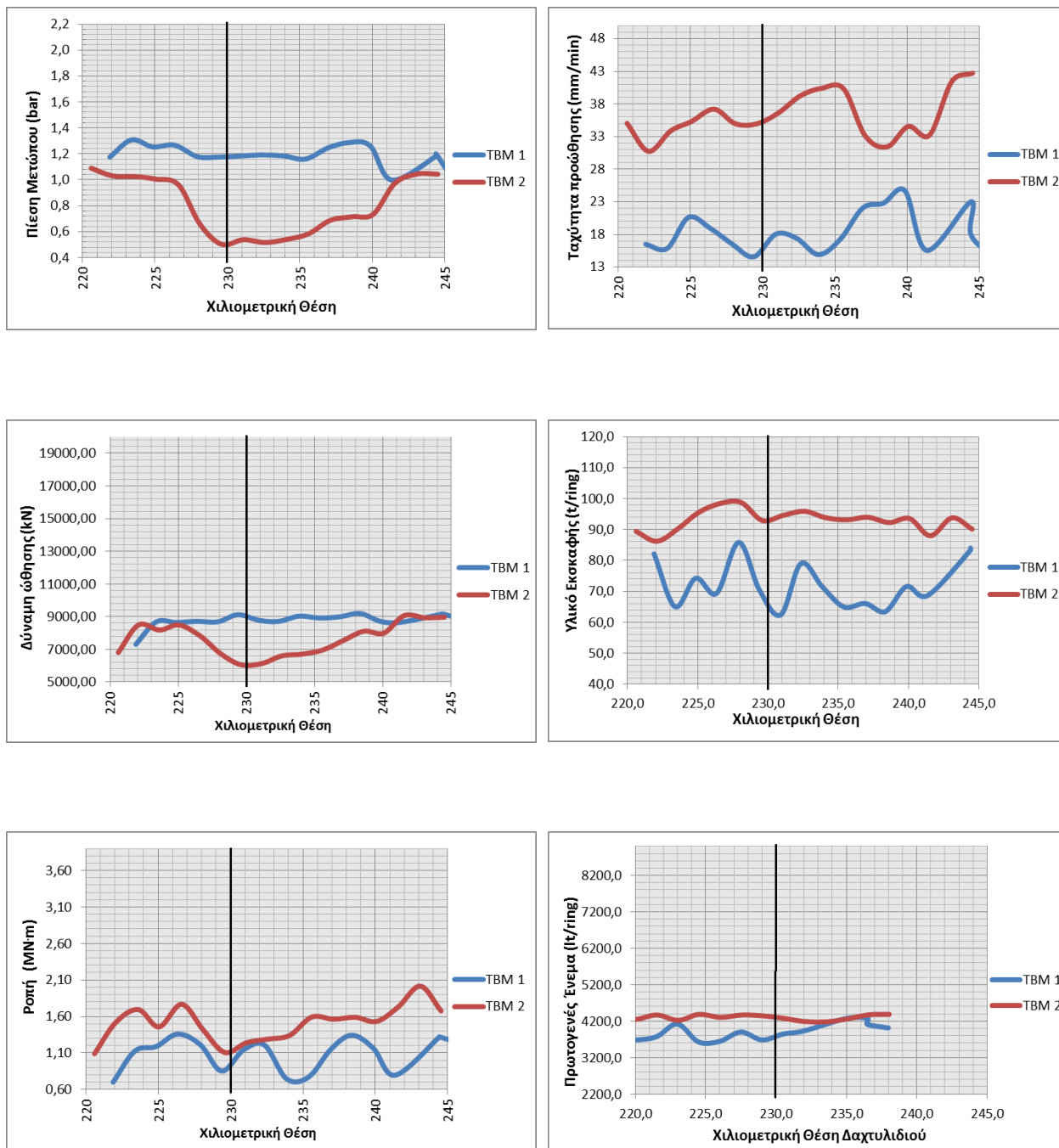
- Εισέρχεται νερό υπό πίεση μέσω του κοχλία.
- Εντοπίζονται απότομες διακυμάνσεις στη ροπή της κοπτικής κεφαλής.
- Μπλοκάρει η λειτουργία της κεφαλής
- Καταγράφονται απότομες τιμές πιέσεων στο θάλαμο εκσκαφής
- Παρουσιάζονται απότομες και σημαντικές διακυμάνσεις στο βάρος του υλικού εκσκαφής πάνω στην ταινία
- Το βάρος του υλικού εκσκαφής το οποίο βρίσκεται στην ταινία μέτρησης ξεπεράσει τα επιτρεπτά όρια
- Εμφανίζεται ελλιπής εισπίεση ενέματος πίσω από την υποστήριξη.

6.2. Επεξεργασία τομών

Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν διαγράμματα συσχέτισεως της χιλιομετρικής θέσης με α) την Πίεση Μετώπου, β) τη Ροπή της Κεφαλής, γ) τη Δύναμη Ωθησης που ασκείται, δ) την Ταχύτητα Προώθησης, ε) το Υλικό της Εκσκαφής και στ) το Πρωτογενές Ένεμα για κάθε τομή που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Αυτοί είναι οι βασικοί παράγοντες ελέγχου της λειτουργίας ενός μηχανήματος EPB.

Ύστερα από την ανάλυση των διαγραμμάτων έγινε έλεγχος για κάθε τομή ξεχωριστά στο ημερολόγιο του έργου για την προχώρηση κάθε μηχανήματος. Αυτός ο έλεγχος είχε στόχο την εύρεση και την καταγραφή όλων των λειτουργιών που κατά τη διάρκεια διάνοιξης των σηράγγων δύναται να επηρεάσουν την ευστάθεια του μετώπου και να οδηγήσουν σε τυχόν καθιζήσεις στην επιφάνεια. Επιπλέον, γίνεται έλεγχος της γεωλογίας σε κάθε θέση ξεχωριστά προκειμένου να καθοριστούν οι ακριβείς γεωλογικές συνθήκες της τομής.

6.2.1. Τομή Χ.Θ. 0+230



Σχήμα 6-2, Συσχέτιση της Πίεσης Μετώπου, της Δύναμης Ωθησης, της Ροπής της κεφαλής, της Ταχύτητας Προώθησης, του Υλικού Εκσκαφής και του Πρωτογενούς Ένεματος με τη Χιλιομετρική Θέση 0+230

Στη συγκεκριμένη χιλιομετρική θέση παρατηρείται μέσα από τα διαγράμματα ότι η πίεση που ασκείται στο μέτωπο από το TBM1 είναι πολύ χαμηλή, περίπου 0,5 bar, σε σχέση με αυτήν που θα έπρεπε να εφαρμόζεται (περίπου 1,7 bar). Αντίστοιχα, η πίεση που ασκείται από το TBM2 κυμαίνεται γύρω στα 1,2 bar, είναι και αυτή ελαττωμένη σε σχέση με την απαιτούμενη αλλά αρκετά μεγαλύτερη από του TBM1. Στη συνέχεια, παρατηρείται αρκετά χαμηλή τιμή στον όγκο του υλικού που εκσκάπτεται από το πρώτο μηχάνημα. Ακόμα, παρατηρείται χαμηλή τιμή της δύναμης ώθησης και για τα δύο μηχανήματα, ιδιαίτερα έντονη παρουσιάζεται όμως στο TBM2. Η ροπή των κεφαλών των δύο μηχανημάτων παρουσιάζεται και αυτή πολύ μικρή και για τα δύο μηχανήματα κοπής.

Στην περιοχή που εξετάζεται γύρω από τη χιλιομετρική θέση της επιφανειακής καθίζησης που μελετήθηκε παρατηρείται και για τα δύο μηχανήματα διάνοιξης πολύ χαμηλή μέση τιμή πίεσεως μετώπου και ειδικά για το δεύτερο μηχάνημα υπολογίζεται στα 0,7 bar. Γενικά, σε όλες τις συσχετίσεις που απεικονίζονται στα διαγράμματα παρατηρείται ότι οι τιμές των λειτουργικών παραμέτρων είναι αρκετά πιο χαμηλές από τις απαιτούμενες για τη σωστή λειτουργία του μηχανήματος. Επιπλέον, στην περίπτωση των παραμέτρων της πίεσης του μετώπου και της δύναμης ώθησης εντοπίζεται απότομη μείωση και στη συνέχεια αύξηση των τιμών, το οποίο μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι δύο παράμετροι σχετίζονται μεταξύ τους καθώς όταν σταματά να ασκείται πίεση στο μέτωπο μειώνεται και η ασκούμενη δύναμη ώθησης ενώ αυτόματα με την αύξηση της πίεσης μετώπου αυξάνεται και η δύναμη ώθησης.

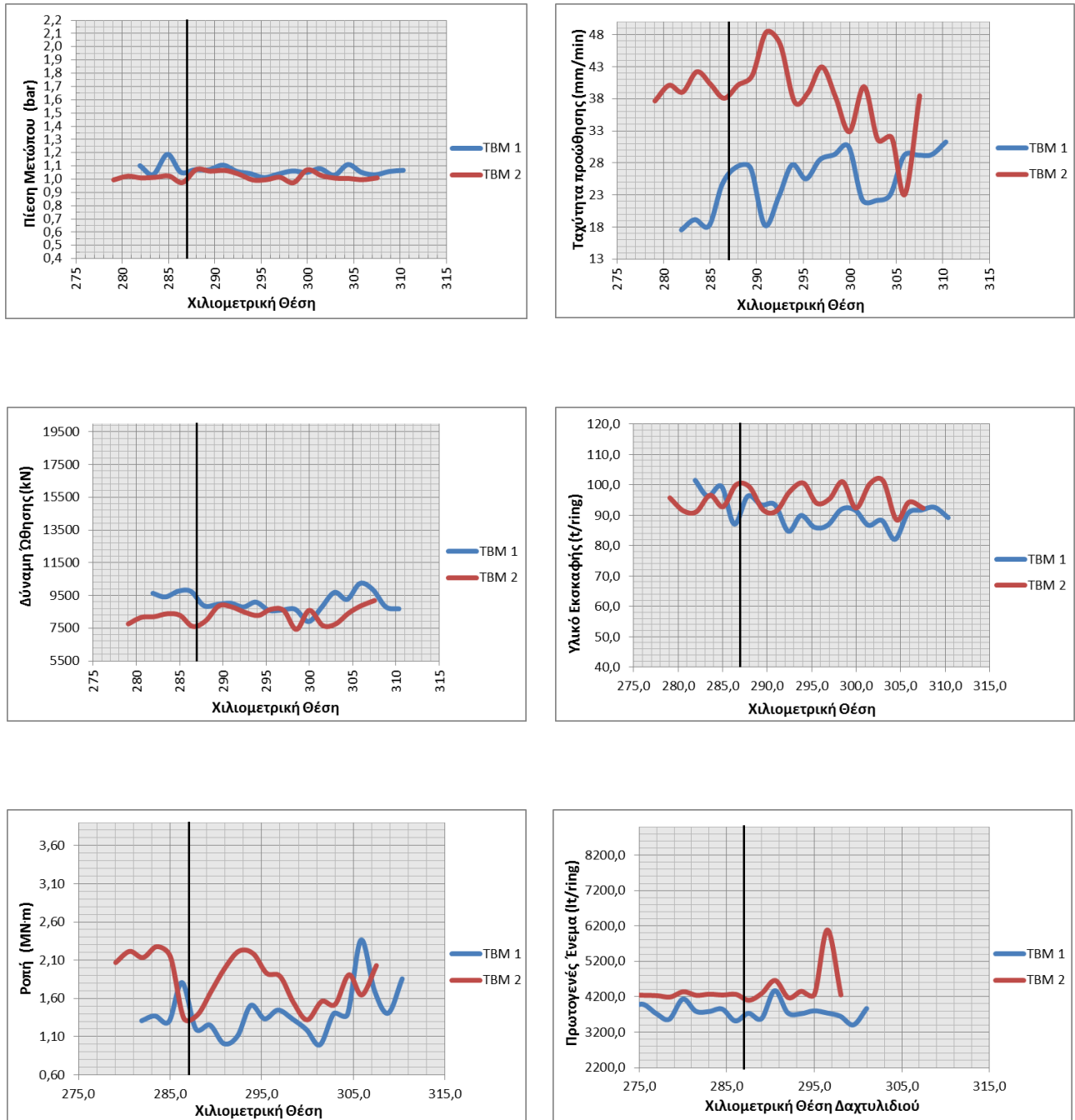
Τα παραπάνω μας οδηγούν στο συμπέρασμα πως στη συγκεκριμένη χιλιομετρική θέση, αλλά και κοντά σε αυτήν, το μηχάνημα λειτουργεί αλλά δεν πιέζει καθόλου το μέτωπο με αποτέλεσμα η κεφαλή να σκάβει χωρίς αποτέλεσμα και το έδαφος να παραμένει ανυποστήρικτο. Η έλλειψη σωστής υποστήριξης σε συνεργασία με το πολύ χαλαρό έδαφος οδήγησε στην καθίζηση της επιφάνειας που προέκυψε σύμφωνα με τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν.

Κατά τη μελέτη του ημερολογίου του έργου στη συγκεκριμένη χιλιομετρική θέση παρατηρήθηκε τόσο για το TBM1 όσο και για το TBM2 χαμηλή προχώρηση. Η προχώρηση του μηχανήματος ήταν χαμηλή όχι μόνο για τη χιλιομετρική θέση 0+230 αλλά και πριν και μετά από αυτήν. Οι καθυστερήσεις στην προχώρηση ενός μηχανήματος ενδέχεται να αφήνουν το έδαφος να χαλαρώσει και να επιτρέπουν τυχόν καθιζήσεις, ενώ μία γρήγορη προχώρηση σημαίνει ότι το μηχάνημα σκάβει γρήγορα και δεν επιτρέπει

οποιαδήποτε χαλάρωση του υλικού. Σε ό,τι αφορά τη γεωλογία στη θέση εκσκαφής συναντήθηκαν χαλαρές έως μέτρια πυκνές αργιλώδεις άμμους και χαλαρούς έως μέτρια πυκνούς αργιλώδεις χάλικες.

Τα παραπάνω συμπεράσματα επεξηγούν τα αίτια από τα οποία προκλήθηκε η καθίζηση που εντοπίστηκε, όμως θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι αυτή η θέση βρίσκεται πολύ κοντά στην έναρξη λειτουργίας του μηχανήματος. Επομένως, δεδομένου ότι βρισκόμαστε ακόμα στην περίοδο εκμάθησης της σωστής λειτουργίας του μηχανήματος, τυχόν αποκλίσεις από τις απαιτούμενες τιμές λειτουργίας θεωρούνται αναμενόμενες.

6.2.2. Τομή Χ.Θ. 0+287

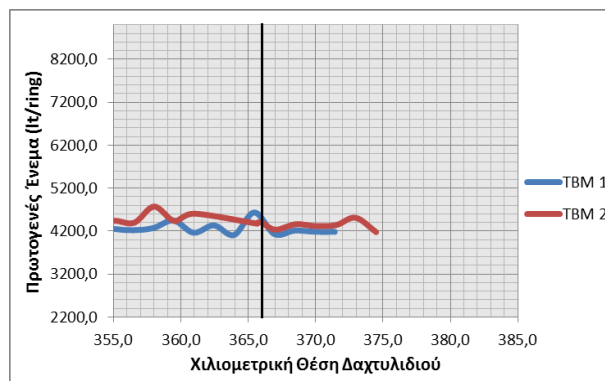
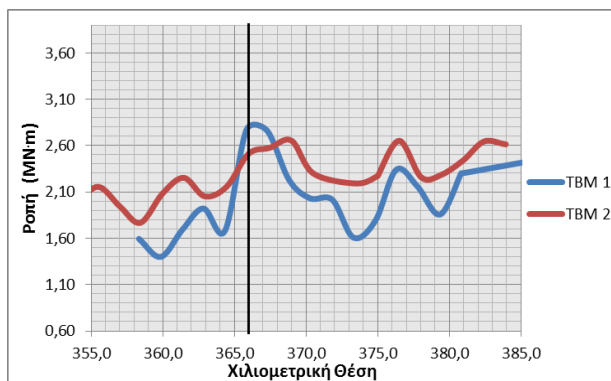
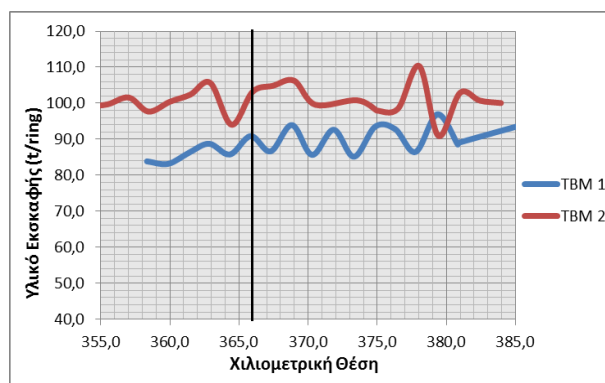
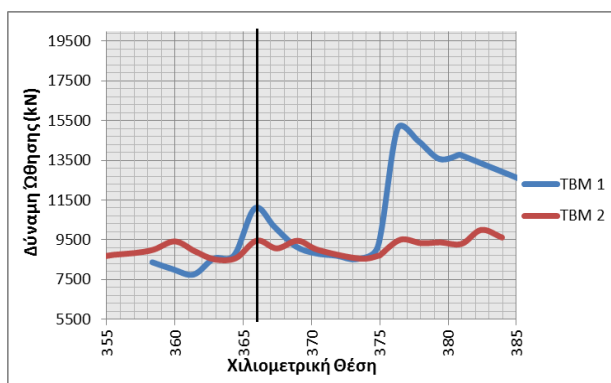
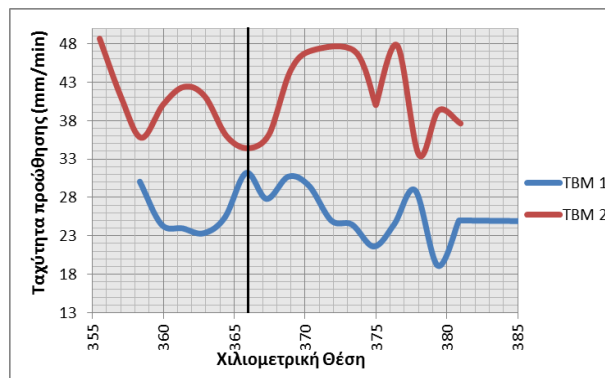
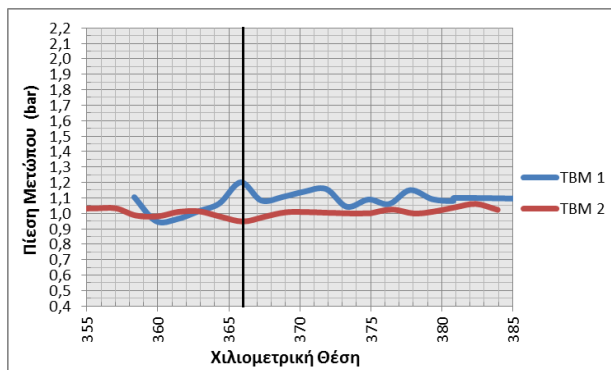


Σχήμα 6-3, Συσχέτιση της Πίεσης Μετώπου, της Δύναμης Ωθησης, της Ροπής της κεφαλής, της Ταχύτητας Προώθησης, του Υλικού Εκσκαφής και του Πρωτογενούς Ενέματος με τη Χιλιομετρική Θέση 0+287

Ύστερα από προσεκτική παρατήρηση των διαγραμμάτων προκύπτει το συμπέρασμα ότι και σε αυτήν την χιλιομετρική θέση η πίεση του μετώπου είναι αρκετά χαμηλή. Συγκεκριμένα η πίεση που ασκείται στο μέτωπο είναι κοντά στο 1bar και για τα δύο μηχανήματα διάνοιξης, δηλαδή τιμή πολύ μικρότερη από το 1,7 bar που απαιτείται. Η χαμηλή αυτή τιμή της πίεσης οδηγεί στο συμπέρασμα ότι κατά τη διάρκεια της διάνοιξης το υλικό του μετώπου έπεφτε. Αν η πίεση ήταν υψηλότερη τότε θα υποστήριζε σωστά το μέτωπο και δε θα έφευγε πολύ υλικό. Σε αυτήν τη θέση παρατηρείται και μία σχετική αύξηση του όγκου του εκσκαφθέντος υλικού. Στις χιλιομετρικές θέσεις από 0+275 έως 0+315 που βρίσκονται γύρω από την περιοχή που εντοπίστηκε η καθίζηση, παρατηρείται πολύ χαμηλή πίεση μετώπου. Επιπλέον, στα διαγράμματα της δύναμης ώθησης και της ροπής διακρίνονται και για τα δύο μηχανήματα πολύ χαμηλές τιμές λειτουργίας.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε έλεγχος του ημερολογίου του έργου κατά την τοποθέτηση του δαχτυλιδιού σε αυτήν τη χιλιομετρική θέση. Ο έλεγχος του ημερολογίου έδειξε ότι ενώ στο TBM1 οι λειτουργίες πραγματοποιήθηκαν κανονικά, στο TBM2 πριν την τοποθέτηση του αντίστοιχου δαχτυλιδιού είχε προηγηθεί διακοπή των εργασιών για τρεις ημέρες εξαιτίας κάποιας στάσης εργασίας των εργαζομένων. Σε ό,τι αφορά τη γεωλογία στη θέση εκσκαφής συναντήθηκαν χαλαρές έως μέτρια πυκνές αργιλώδεις άμμους και χαλαρούς έως μέτρια πυκνούς αργιλώδεις χάλικες. Συνεπώς, μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτό πως η επιφανειακή καθίζηση που εκτιμήθηκε σε αυτήν τη θέση οφείλεται πρώτον στη μεγάλη καθυστέρηση των εργασιών και δεύτερον στην περίοδο προσαρμογής λειτουργίας των μηχανημάτων.

6.2.3. Τομή Χ.Θ. 0+366



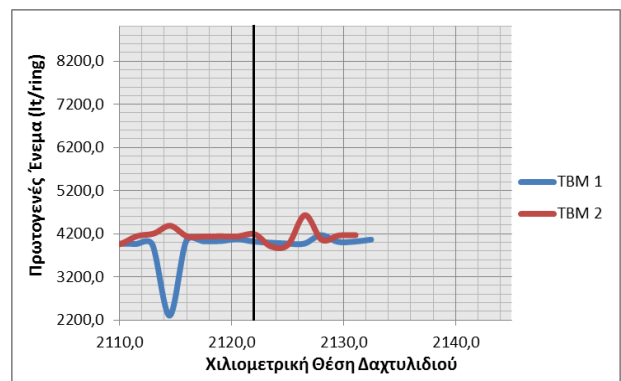
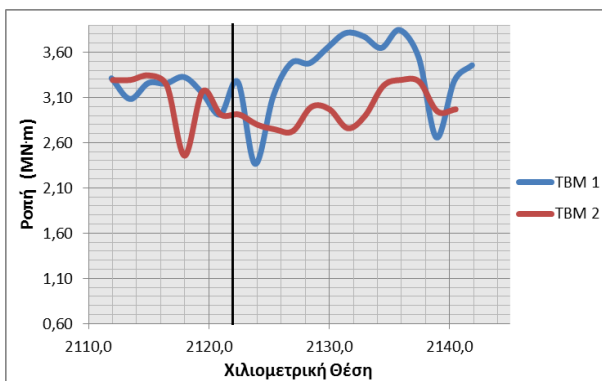
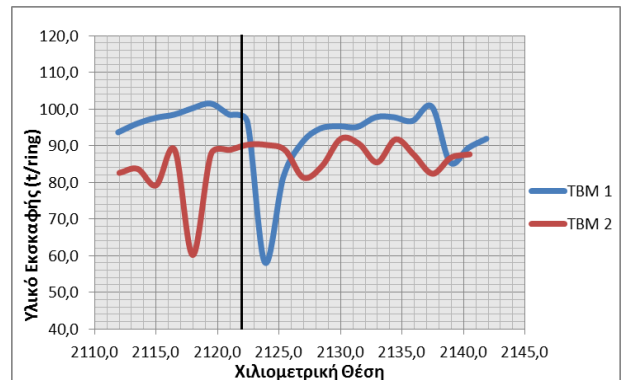
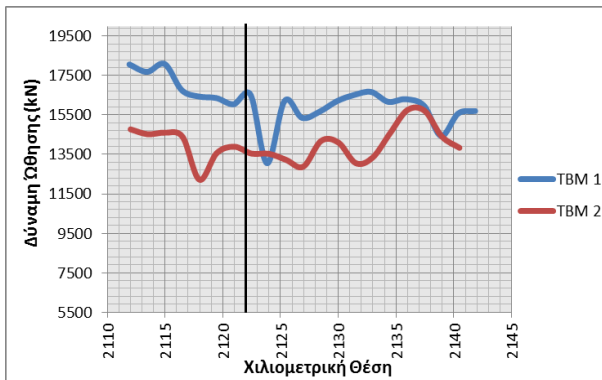
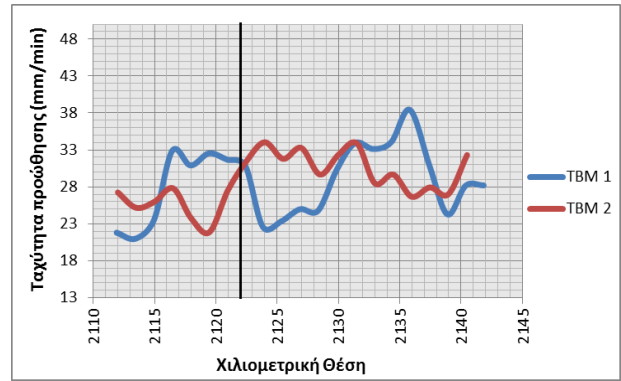
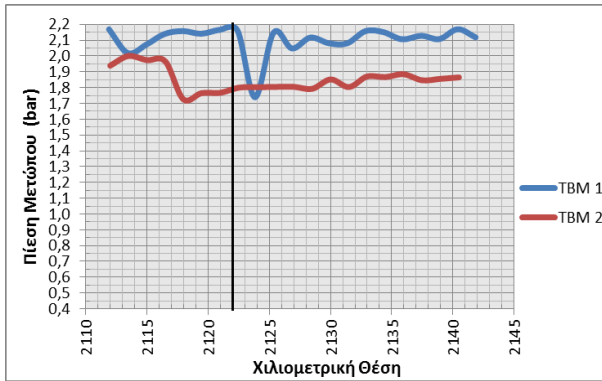
Σχήμα 6-4, Συσχέτιση της Πίεσης Μετώπου, της Δύναμης Ωθησης, της Ροπής της κεφαλής, της Ταχύτητας Προώθησης, του Υλικού Εκσκαφής και του Πρωτογενούς Ενέματος με τη Χιλιομετρική Θέση 0+366

Σύμφωνα με τα διαγράμματα που σχεδιάστηκαν η πίεση που ασκείται στο μέτωπο από το TBM1 είναι περίπου 1,2 bar ενώ στο TBM2 είναι ακόμα μικρότερη 0,9 bar. Παρατηρείται λοιπόν ότι και σε αυτήν τη χιλιομετρική θέση η πίεση μετώπου κυμαίνεται σε χαμηλότερο από το επιθυμητό επίπεδο με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα στην ευστάθεια του μετώπου. Η τιμή του όγκου του υλικού εκσκαφής εμφανίζεται λίγο πιο υψηλή από το φυσιολογικό για το δεύτερο μηχάνημα. Επιπλέον, η δύναμη ώθησης είναι μειωμένη και για τα δύο μηχανήματα ενώ παρατηρείται μία σχετικά πιο υψηλή τιμή της ταχύτητας προώθησης για το TBM2. Συνεπώς, η χαμηλή πίεση που ασκείται στο μέτωπο οδηγεί τελικά σε υπερεκσκαφή.

Ο έλεγχος του ημερολογίου του έργου δεν έδειξε κάποια καθυστέρηση ή πιθανά κάποια υπεύθυνη εργασία η οποία μπορεί να οδήγησε στη δημιουργία της υπολογισθείσας καθίζησης. Επιπλέον, δε μπορούμε να θεωρούμε ότι βρισκόμαστε ακόμα στην περίοδο εκμάθησης των μηχανημάτων καθώς έχει διέλθει εύλογο χρονικό διάστημα από την έναρξη της λειτουργίας τους. Συνεπώς, η καθίζηση η οποία παρουσιάστηκε οφείλεται πιθανά σε σφάλμα του σωστού χειρισμού και καθορισμού των παραμέτρων λειτουργίας σε συνεργασία πάντα με τις επικρατούσες γεωλογικές συνθήκες.

Σε αυτήν τη χιλιομετρική θέση συναντώνται στην περιοχή του μετώπου τεταρτογενείς αποθέσεις οι οποίες σύμφωνα με τη γεώτρηση που βρίσκεται κοντά αποτελούνται από αργιλώδη/ ιλυώδη άμμο με χάλικες. Στην περιοχή του μετώπου εντοπίζεται η γεωτεχνική ενότητα Α1β, αν και τα όρια των ενοτήτων στη συγκεκριμένη περιοχή δεν είναι απόλυτα σαφή.

6.2.4. Τομή Χ.Θ. 2+122

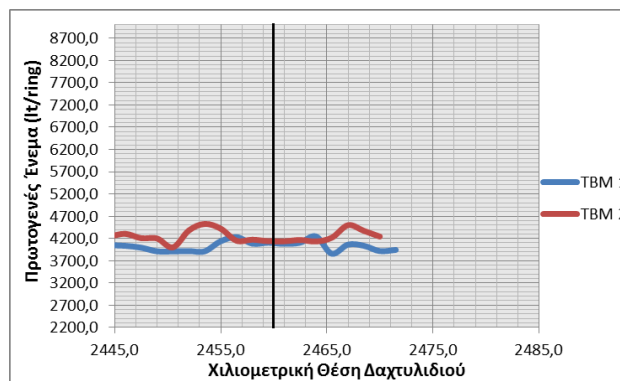
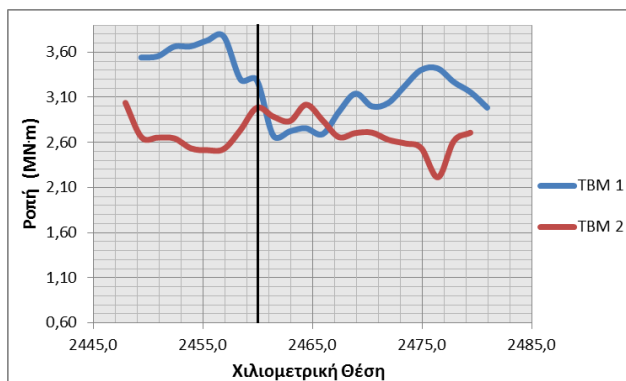
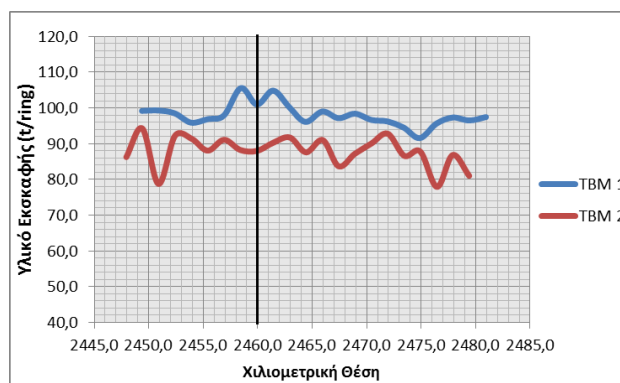
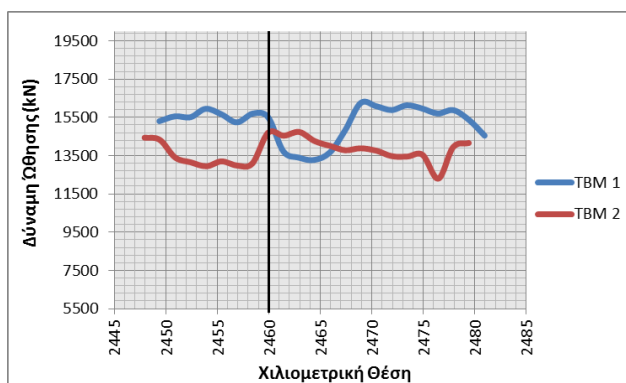
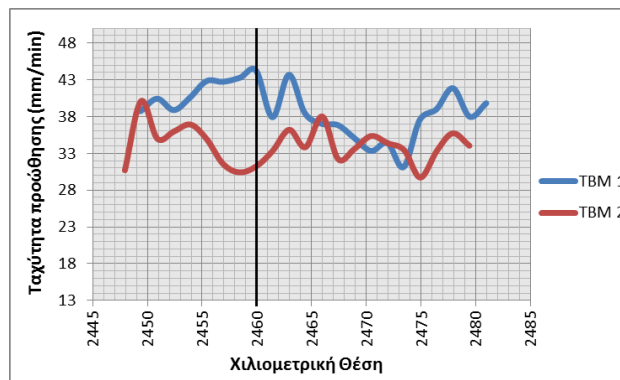
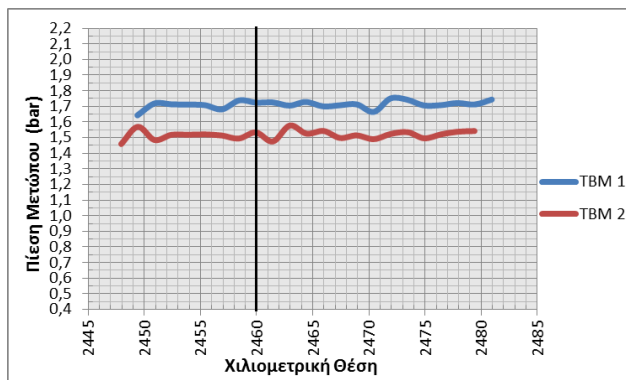


Σχήμα 6–5, Συσχέτιση της Πίεσης Μετώπου, της Δύναμης Ώθησης, της Ροπής της κεφαλής, της Ταχύτητας Προώθησης, του Υλικού Εκσκαφής και του Πρωτογενούς Ενέργειας με τη Χιλιομετρική Θέση 2+122

Στο πρώτο διάγραμμα όπου εμφανίζεται η πίεση του μετώπου σε σχέση με τη χιλιομετρική θέση παρατηρείται ότι το TBM2 ασκεί μεγαλύτερη πίεση από αυτήν που προβλέπεται υπό κανονικές συνθήκες. Η ποσότητα του υλικού εκσκαφής βρίσκεται σε φυσιολογικά επίπεδα εντός των ορίων λειτουργίας. Επιπλέον, μέσα από τα διαγράμματα παρατηρείται μία σχετικά μεγάλη δύναμη ώθησης για το TBM1, καθώς και οι τιμές της ροπής είναι οριακά υψηλές και για τα δύο TBM.

Σύμφωνα με το ημερολόγιο του έργου δεν υπήρξαν κάποιες εργασίες οι οποίες μπορεί να οδήγησαν σε τυχόν αστοχίες καθώς η προχώρηση γινόταν κανονικά. Σύμφωνα με τα γεωλογικά στοιχεία που προκύπτουν από τις γεωλογικές μηκοτομές στη συγκεκριμένη περιοχή επικρατεί η σειρά ερυθρών αργίλων. Συγκεκριμένα, στη χιλιομετρική θέση 2+122 συναντάται στο σύνολο του μετώπου εκσκαφής η γεωτεχνική ενότητα A2γ, ενώ στη στέψη του μετώπου εντοπίζεται σε μικρό ποσοστό η ενότητα A2β. Επιπλέον, η γεώτρηση που βρίσκεται δέκα μετρά μετά από τη συγκεκριμένη θέση υποδεικνύει ότι στην περιοχή του μετώπου εκσκαφής θα συναντηθεί αμμώδης άργιλος έως άργιλος με άμμο και ιλύλιθος, αντοχής σε θλίψη από 300 έως 600kPa.

6.2.5. Τομή Χ.Θ. 2+460



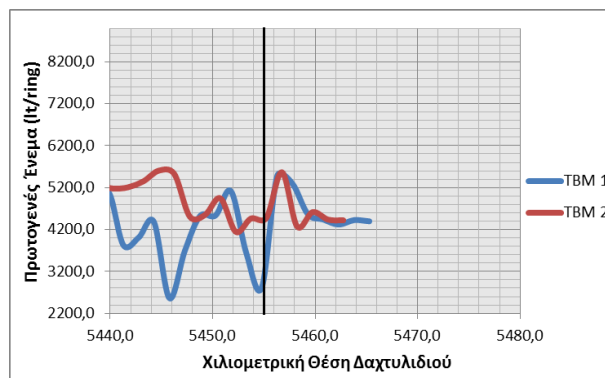
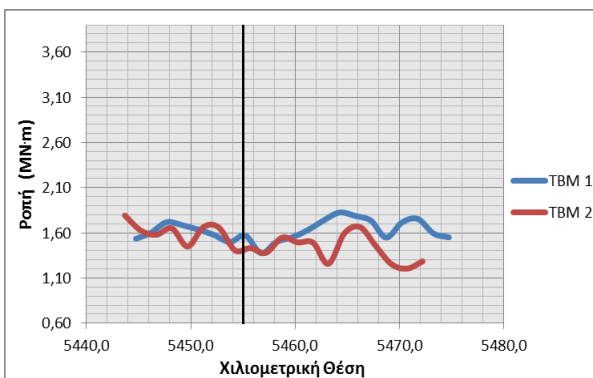
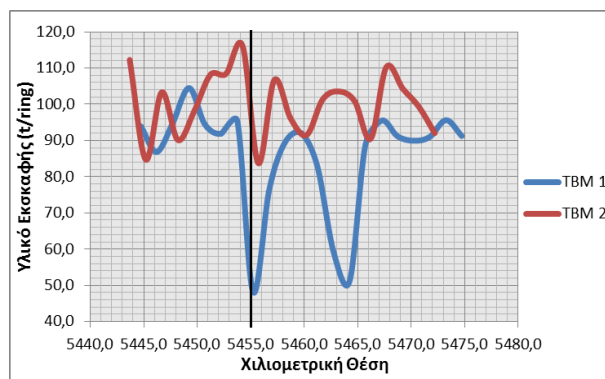
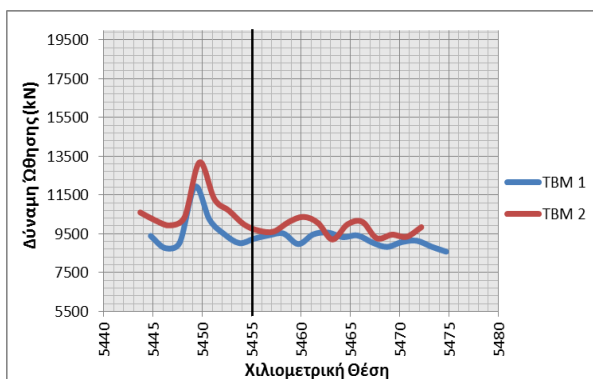
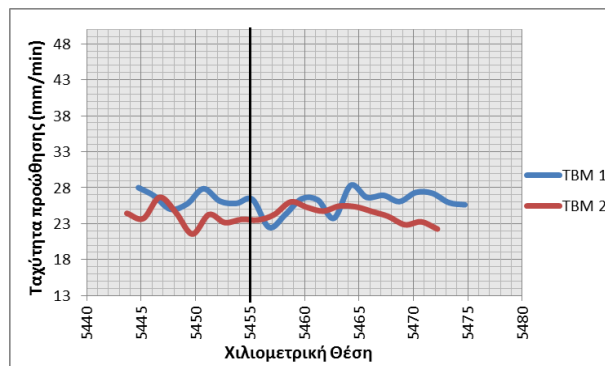
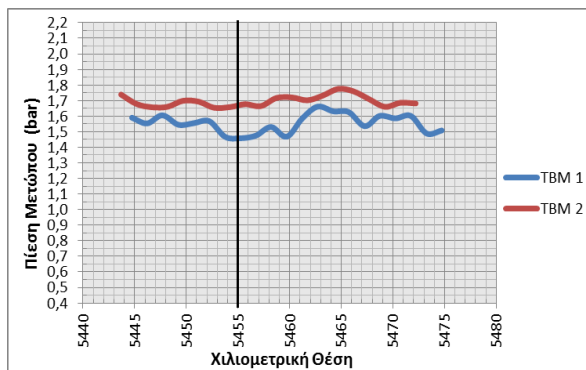
Σχήμα 6–6, Συσχέτιση της Πίεσης Μετώπου, της Δύναμης Ωθησης, της Ροπής της κεφαλής, της Ταχύτητας Προώθησης, του Υλικού Εκσκαφής και του Πρωτογενούς Ενέματος με τη Χιλιομετρική Θέση 2+460

Στη συγκεκριμένη χιλιομετρική θέση η πίεση που ασκείται στο μέτωπο από το TBM2 είναι λίγο μικρότερη από την απαιτούμενη, ενώ το TBM2 είναι εντός των ορίων. Επίσης, το υλικό εκσκαφής που προέκυψε από το TBM1 για αυτήν τη χιλιομετρική θέση είναι λίγο περισσότερο από το καθορισμένο. Η ροπή της κεφαλής είναι λίγο μεγαλύτερη και για τα δύο μηχανήματα και η ταχύτητα προώθησης παρουσιάζεται αρκετά αυξημένη για το TBM1.

Στο σύνολο της εξεταζόμενης περιοχής η μέση τιμή της ταχύτητας προώθησης είναι υψηλή και για τα δύο μηχανήματα καθώς και η ροπή αλλά μόνο στο πρώτο μηχάνημα. Επιπλέον, με τη συνολική εξέταση του διαγράμματος παρατηρούνται και λίγο χαμηλές τιμές στην πίεση μετώπου και στο υλικό εκσκαφής για το δεύτερο μηχάνημα.

Σύμφωνα με το ημερολόγιο του έργου οι εργασίες κατά την εκσκαφή σε αυτή τη χιλιομετρική θέση εκτελούνταν κανονικά και μάλιστα παρατηρήθηκε πολύ καλή προχώρηση του μηχανήματος τις μέρες εκείνες. Η γεωλογία της περιοχής αποτελείται από ερυθρές αργίλους αντοχής σε θλίψη από 300 έως 600kPa. Το μόνο γεγονός το οποίο μπορεί να προκάλεσε κάποιες διαταραχές στο έδαφος είναι πως σε εκείνη τη χιλιομετρική θέση η πορεία των σήραγγων διασταυρώνεται με τον κεντρικό αποχετευτικό αγωγό, ο οποίος περνά περίπου 5 μέτρα πάνω από τις σήραγγες.

6.2.6. Τομή Χ.Θ. 5+455



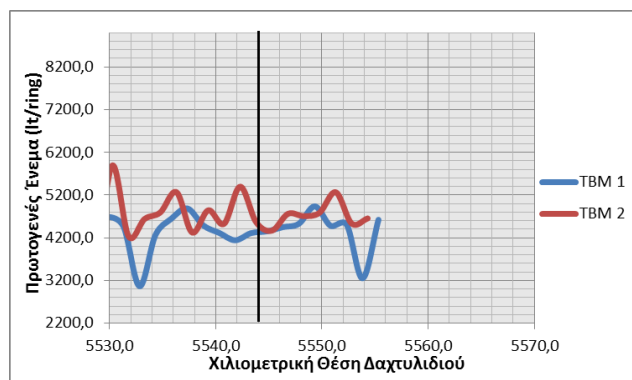
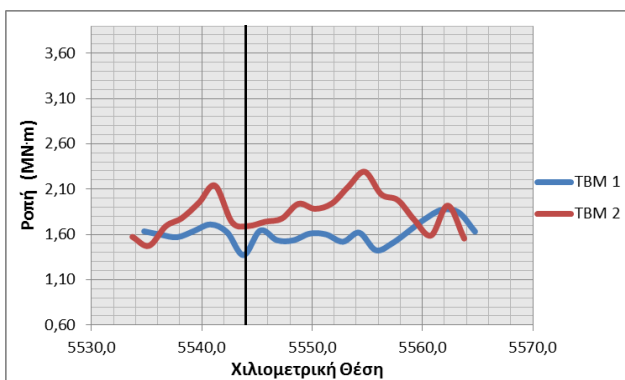
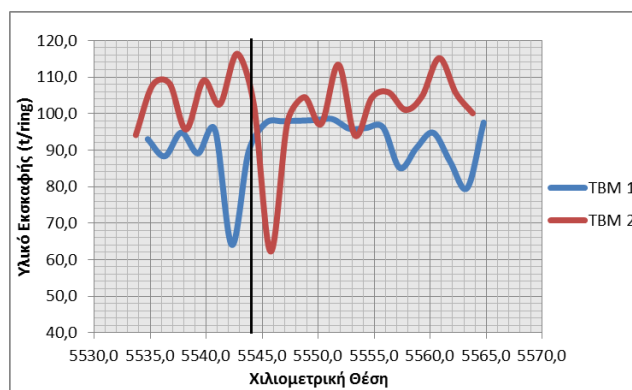
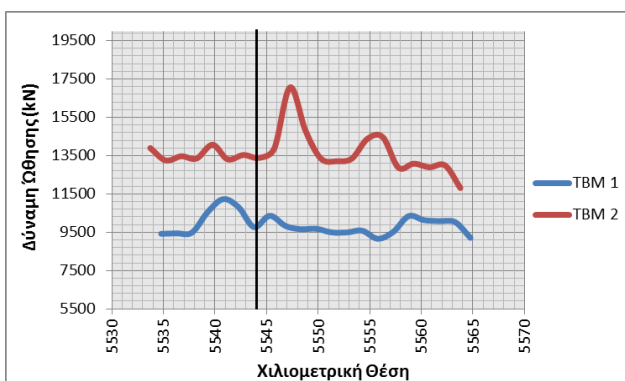
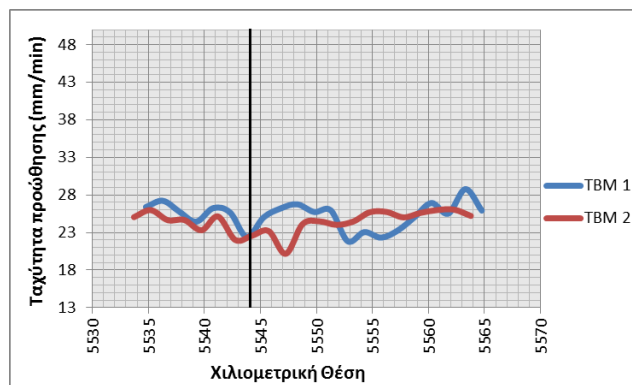
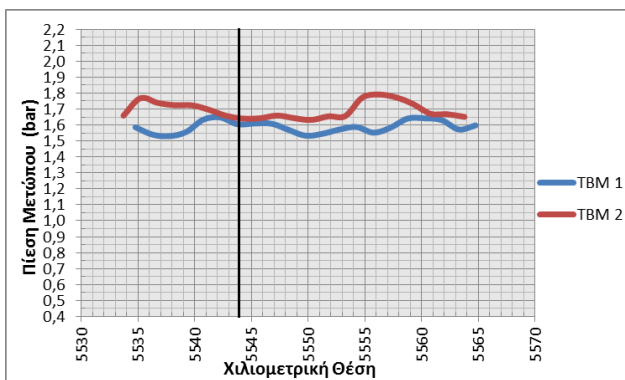
Σχήμα 6–7, Συσχέτιση της Πίεσης Μετώπου, της Δύναμης Ωθσης, της Ροπής της κεφαλής, της Ταχύτητας Προώθησης, του Υλικού Εκσκαφής και του Πρωτογενούς Ενέματος με τη Χιλιομετρική Θέση 5+455

Σε αυτήν τη χιλιομετρική θέση και συνολικά στην περιοχή η πίεση μετώπου και για τα δύο μηχανήματα κυμαίνεται εντός του ορίου που έχει δοθεί. Είναι εξαιρετικά σημαντικό να παρατηρηθεί ότι το βάρος του υλικού εκσκαφής είναι μικρότερο από το αναμενόμενο στην περίπτωση του TBM1, επομένως και η εισπίεση ενέματος για αυτή τη χιλιομετρική θέση είναι μειωμένη. Επιπλέον, οι τιμές της δύναμης ώθησης και της ροπής της κεφαλής είναι αρκετά μικρότερες από το απαιτούμενο και για τα δύο μηχανήματα, όχι μόνο στη συγκεκριμένη χιλιομετρική θέση αλλά και συνολικά στην περιοχή μεταξύ των θέσεων 5-440 έως 5+480. Επιπλέον, παρατηρείται χαμηλή μέση τιμή για το υλικό εκσκαφής του TBM1 και την ταχύτητα προώθησης του TBM2, ενώ η μέση τιμή του πρωτογενούς ενέματος εμφανίζεται υψηλή για το δεύτερο μηχάνημα.

Κατά τον έλεγχο του ημερολογίου προέκυψε πως το TBM1 είχε φυσιολογική προχώρηση εκείνη την περίοδο χωρίς κάποια ιδιαίτερη καθυστέρηση. Αντίθετα, το TBM2 σταμάτησε τη λειτουργία του ακριβώς πριν την τοποθέτηση του συγκεκριμένου για αυτήν τη θέση δαχτυλιδιού για μία ολόκληρη βάρδια προκειμένου να πραγματοποιηθεί καθαρισμός σωλήνων. Επομένως, ένα ποσοστό της καθίζησης που καταγράφηκε στη μελέτη μπορεί να οφείλεται στο ότι το μηχάνημα ήταν σταματημένο για μία βάρδια.

Γενικά, η συγκεκριμένη περιοχή, από αυτή τη χιλιομετρική θέση μέχρι και το τέλος του τμήματος ανάλυσης, παρουσιάζει δυσμενείς γεωλογικές συνθήκες. Συγκεκριμένα σε αυτήν τη χιλιομετρική θέση επικρατούν συνθήκες μεικτού μετώπου με στιφρή έως άκαμπτη αμμόδη άργιλο και στιφρό έως πολύ στιφρό κατά τόπους άκαμπτο ασβεστολιθικό άργιλο με ενδιάμεση έως υψηλή πλαστικότητα.

6.2.7. Τομή Χ.Θ. 5+544

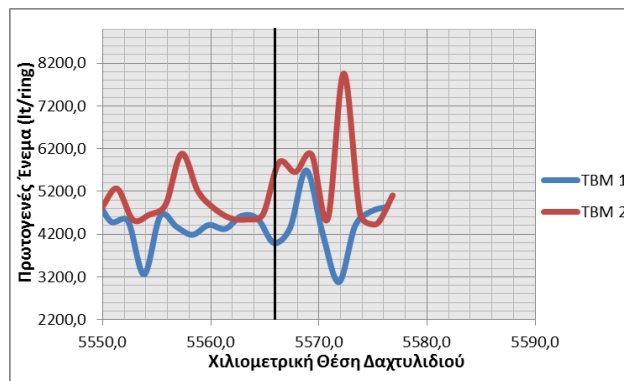
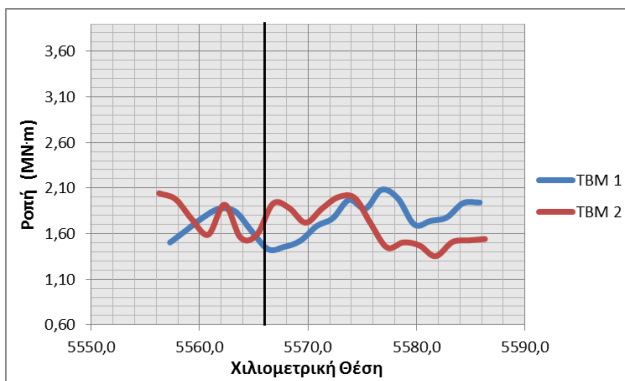
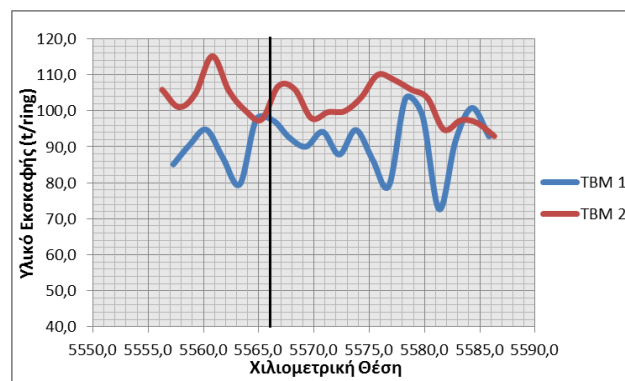
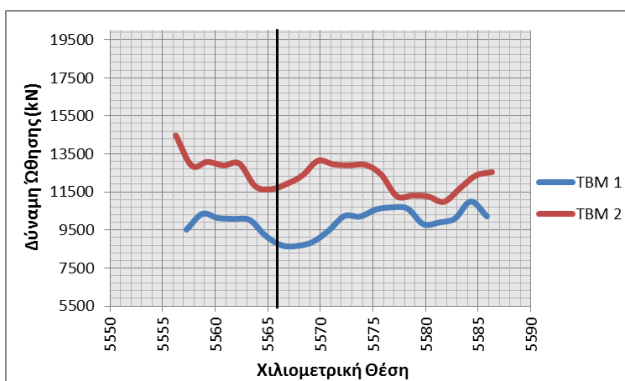
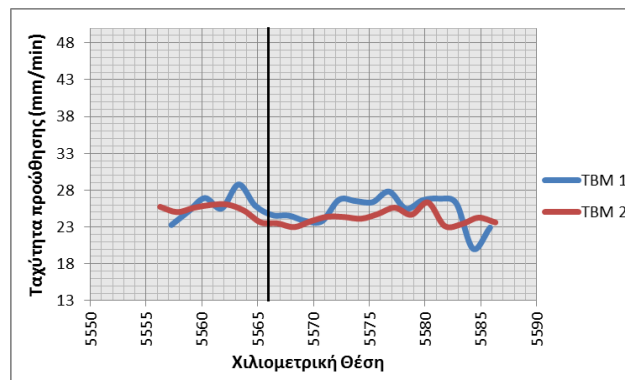
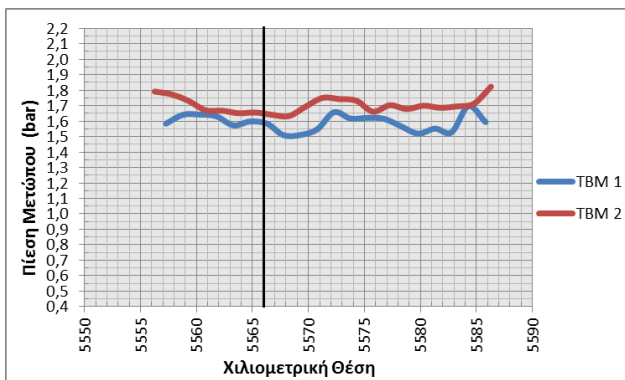


Σχήμα 6–8, Συσχέτιση της Πίεσης Μετώπου, της Δύναμης Ωθησης, της Ροπής της κεφαλής, της Ταχύτητας Προώθησης, του Υλικού Εκσκαφής και του Πρωτογενούς Ενέματος με τη Χιλιμετρική Θέση 5+544

Σύμφωνα με τα διαγράμματα που παρουσιάζονται για την περιοχή 5+530 έως 5+570 η πίεση μετώπου καθώς, το υλικό εκσκαφής και το πρωτογενές ένεμα βρίσκονται εντός των απαιτούμενων ορίων για τη σωστή λειτουργία των μηχανημάτων ολομέτωπης κοπής. Αντίθετα, η δύναμη ώθησης είναι χαμηλή στο TBM1 και η ροπή της κεφαλής παρουσιάζει αρκετά χαμηλή τιμή και για τα δύο TBM σε σχέση με την απαιτούμενη.

Την περίοδο εκσκαφής στην περιοχή αυτής της χιλιομέτρησης κατά τη διάνοιξη του TBM1 πραγματοποιήθηκε μία απεργία μία ημέρα πριν την τοποθέτηση του υπό μελέτη δαχτυλιδιού, η οποία στην περίπτωση που δε δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στο σταμάτημα του μηχανήματος μπορεί να έχει μερίδιο ευθύνης στην καθίζηση που εκτιμήθηκε. Επιπλέον, στο TBM2 παρατηρήθηκε γενικά χαμηλή προχώρηση, καθώς προέκυπταν διάφορες καθυστερήσεις κατά την πορεία της διάνοιξης. Η χαμηλή προχώρηση του μηχανήματος είναι πολύ πιθανό να οφείλεται και στην κακή ποιότητα του εδάφους, καθώς στο βάθος εκσκαφής των σηράγγων εντοπίζονται τεταρτογενείς αποθέσεις. Στη συγκεκριμένη χιλιομετρική θέση επικρατεί κατά 50% η γεωτεχνική ενότητα A1β, ενώ το υπόλοιπο 50% καταλαμβάνει η γεωτεχνική ενότητα A1γ, δηλαδή μέσης πυκνότητας αργιλώδη άμμο με χαλίκια και από ίδιας πυκνότητας αργιλώδη / ιλυώδη χαλίκια με άμμο & στιφρή έως άκαμπτη αμμώδη άργιλο.

6.2.8. Τομή Χ.Θ. 5+566

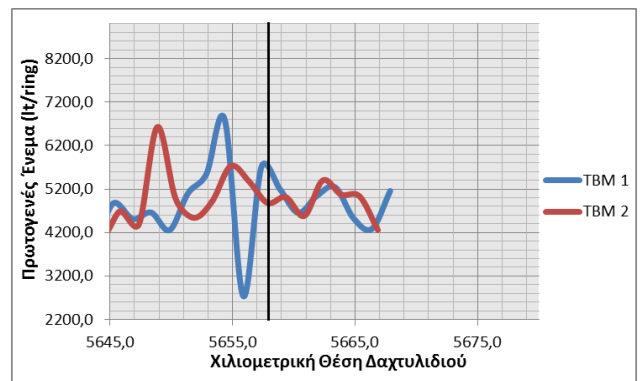
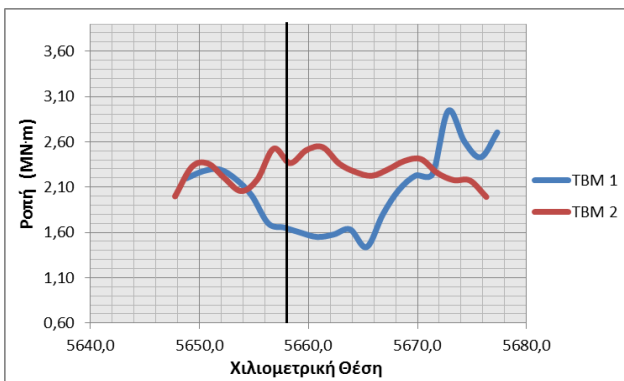
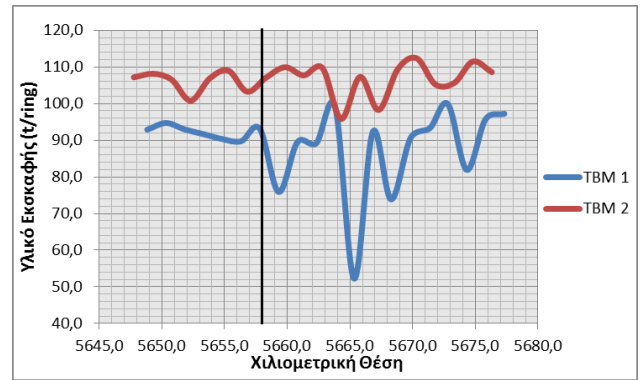
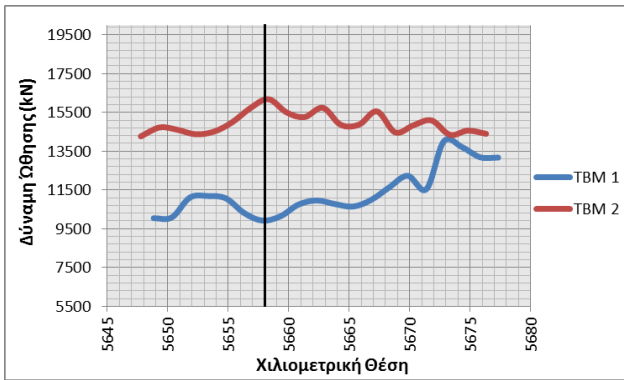
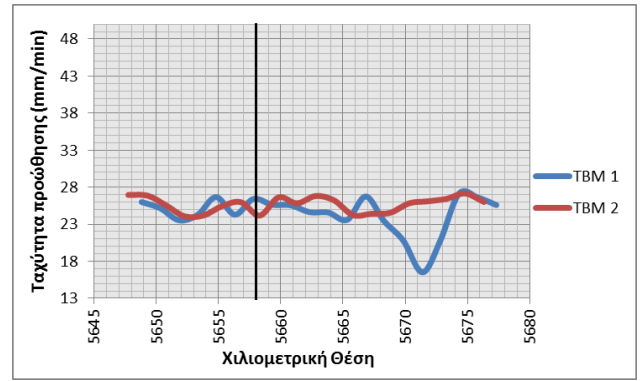
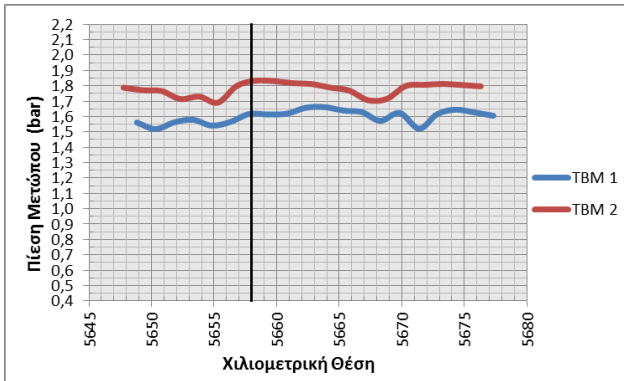


Σχήμα 6–9, Συσχέτιση της Πίεσης Μετώπου, της Δύναμης Ωθησης, της Ροπής της κεφαλής, της Ταχύτητας Προώθησης, του Υλικού Εκσκαφής και του Πρωτογενούς Ενέματος με τη Χιλιομετρική Θέση 5+566

Ύστερα από προσεκτική παρατήρηση των συσχετίσεων των βασικών λειτουργιών με τις αντίστοιχες χιλιομετρικές θέσεις συμπεραίνεται ότι η πίεση που ασκείται στο μέτωπο και η ταχύτητα προώθησης ταυτίζεται με την απαιτούμενη και για τα δύο μηχανήματα. Όμως, η εισπίεση ενέματος για το TBM2 είναι αρκετά αυξημένη, πιθανά λόγω της ύπαρξης κάποιου πηγαδιού. Οι τιμές της ροπής της κεφαλής και της δύναμης ώθησης και για τα δύο μηχανήματα ολομέτωπης κοπής είναι μειωμένες σχετικά με τις απαιτούμενες.

Σύμφωνα με το ημερολόγιο του έργου δεν παρατηρείται κάποια ιδιαίτερη καθυστέρηση στις εργασίες διάνοιξης των μηχανημάτων. Σε ότι αφορά τις γεωλογικές συνθήκες σε αυτή τη χιλιομετρική θέση εντοπίζονται τεταρτογενείς αποθέσεις στο επίπεδο της εκσκαφής, ενώ επικρατεί η γεωτεχνική ενότητα A1β και εμφανίζεται ένα μικρό ποσοστό της γεωτεχνικής ενότητας A1γ στο κάτω μέρος του μετώπου. Σύμφωνα με τη γειτονική γεώτρηση το υλικό εκσκαφής ήταν κυρίως αργιλώδης/ ιλυώδης άμμος με χάλικες καθώς και ένα ποσοστό αμμώδους αργίλου με χάλικες.

6.2.9. Τομή Χ.Θ. 5+658



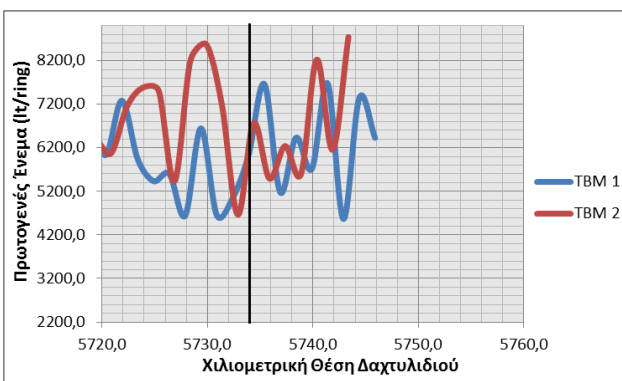
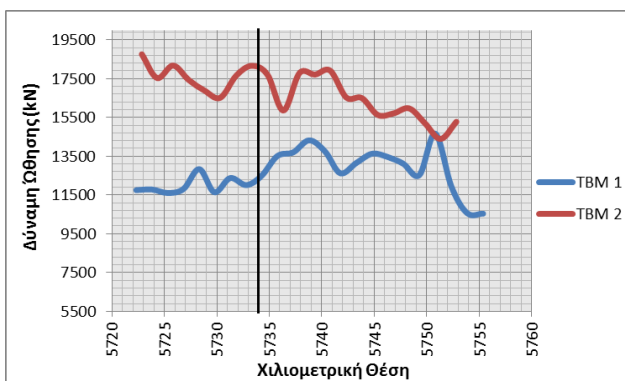
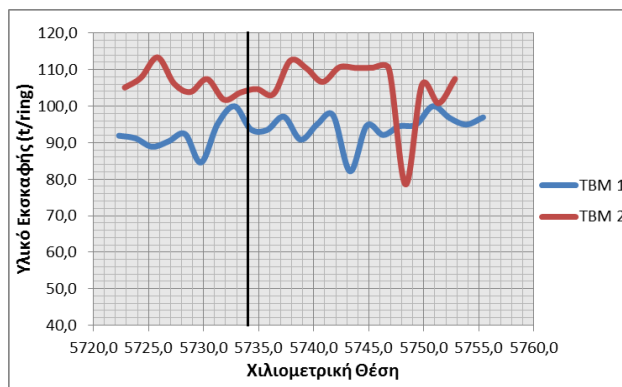
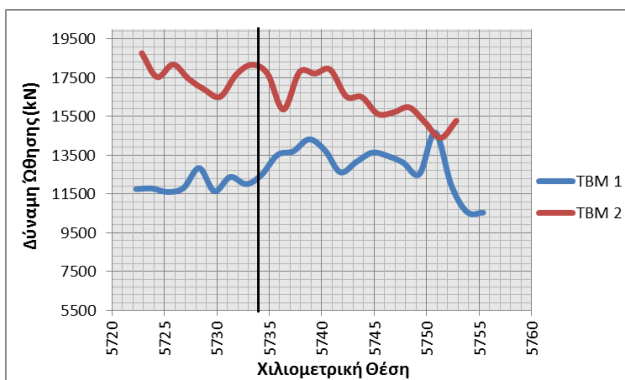
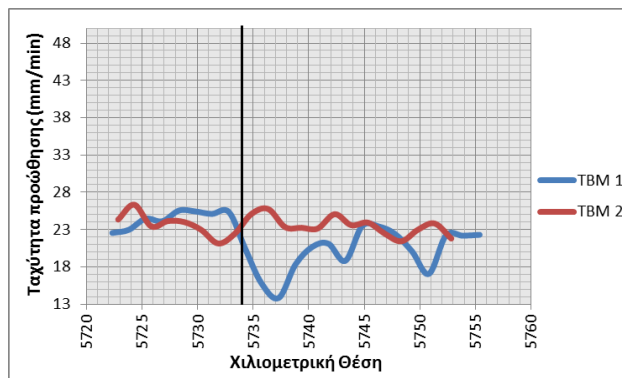
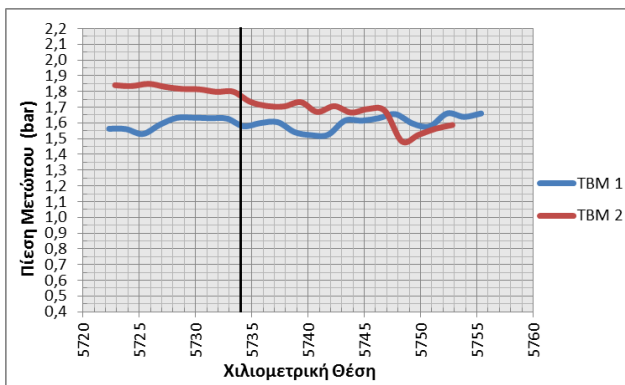
Σχήμα 6–10, Συσχέτιση της Πίεσης Μετώπου, της Δύναμης Ωθησης, της Ροπής της κεφαλής, της Ταχύτητας Προώθησης, του Υλικού Εκσκαφής και του Πρωτογενούς Ενέματος με τη Χιλιομετρική Θέση 5+658

Σύμφωνα με τα διαγράμματα που προέκυψαν η πίεση που ασκείται στο μέτωπο, η ταχύτητα προώθησης και η δύναμη ώθησης ταυτίζονται με την απαιτούμενη και για τα δύο TBM για το διάστημα 5+645 έως 5+675. Το βάρος του υλικού εκσκαφής βρίσκεται και αυτό εντός των ορίων για το TBM1 και είναι λίγο πιο υψηλό για το TBM2. Επιπλέον, η εισπίεση ενέματος είναι αρκετά αυξημένη και για τα δύο TBM, το οποίο μπορεί να οφείλεται στην ύπαρξη κάποιου πηγαδιού δεδομένου ότι δεν παρατηρήθηκε υπερεκσκαφή. Οι τιμές της ροπής της κεφαλής καθώς και της δύναμης ώθησης είναι πιο χαμηλές από τις απαιτούμενες για το πρώτο μηχάνημα.

Ακολούθως, στο ημερολόγιο του έργου δεν υπήρξε κάποια καταγραφή η οποία θα μπορούσε να είναι υπεύθυνη για την καθίζηση η οποία υπολογίσθηκε. Γενικά παρατηρήθηκε μία καλή προχώρηση και από τα δύο μηχανήματα.

Σε αυτήν τη χιλιομετρική θέση εντοπίζονται παρόμοιες γεωλογικές συνθήκες με τη χιλιομετρική θέση 5+566. Στο επίπεδο του μετώπου εκσκαφής βρίσκονται τεταρτογενείς αποθέσεις και επικρατεί η γεωτεχνική ενότητα A1β, ενώ εμφανίζεται και ένα μικρότερο ποσοστό της ενότητας A1γ. Επίσης, σύμφωνα με τη γεώτρηση που βρίσκεται πλησίον της συγκεκριμένης γεωλογικής θέσης το υλικό εκσκαφής αποτελείται κυρίως από αμμώδη άργιλο με χάλικες.

6.2.10. Τομή Χ.Θ. 5+734



Σχήμα 6–11, Συσχέτιση της Πίεσης Μετώπου, της Δύναμης Ωθησης, της Ροπής της κεφαλής, της Ταχύτητας Προώθησης, του Υλικού Εκσκαφής και του Πρωτογενούς Ενέματος με τη Χιλιομετρική Θέση 5+734

Σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα η πίεση του μετώπου και η ροπή της κεφαλής καταγράφονται εντός των απαιτούμενων ορίων, όπως και το βάρος του υλικού εκσκαφής. Αντίθετα, η τιμή του πρωτογενούς ενέματος για το TBM2 είναι ιδιαίτερα υψηλή στη χιλιομετρική θέση της καθίζησης, όμως η μέση τιμή του για την περιοχή 5+720 έως 5+760 είναι αυξημένη και για τα δύο μηχανήματα. Επιπρόσθετα, η τιμή της δύναμης ωθήσεως είναι αρκετά πιο μεγάλη από την απαιτούμενη για το TBM2 ενώ η ταχύτητα προώθησης είναι ελαφρώς μειωμένη και για τα δύο TBM.

Επιπλέον, σύμφωνα με τα στοιχεία που προκύπτουν από τη γεωλογική μηκοτομή επικρατούν και εδώ τεταρτογενείς αποθέσεις. Εντοπίζεται κυρίως η γεωτεχνική ενότητα A1β και στο κάτω μέρος της εκσκαφής ένα μικρό ποσοστό της γεωτεχνικής ενότητας A1γ. Οι δυσμενείς γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν επηρεάζουν σημαντικά στην πρόκληση των επιφανειακών καθιζήσεων.

Επίλογος

Στη μεταπτυχιακή αυτή διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε μία ανάλυση των επιφανειακών καθιζήσεων που δύναται να προκληθούν κατά τη διάνοιξη δίδυμων αστικών σηράγγων. Συγκεκριμένα, η ανάλυση αυτή αφορά το ήδη κατασκευασμένο τμήμα του Μετρό Θεσσαλονίκης στο οποίο πραγματοποιήθηκε έλεγχος ώστε να βρεθούν οι περιοχές ενδιαφέροντος.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε μία καταγραφή των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών και των περιορισμών στα οποία απαιτείται να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή κατά το σχεδιασμό και την κατασκευή μίας αστικής σήραγγας, καθώς και στις προκλήσεις ενός τέτοιου έργου. Ειδικά, έγινε εκτενής αναφορά στα κύρια στοιχεία του Μετρό Θεσσαλονίκης. Συγκεκριμένα, αναλύθηκε η χάραξη του έργου, οι γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή της χάραξης και τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για τη διάνοιξη των σηράγγων. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε ειδική αναφορά στο πληροφοριακό σύστημα Kronos το οποίο χρησιμοποιείται από την Αττικό Μετρό για τη διαχείριση του συνόλου των δεδομένων, την ανάλυση και την οπτικοποίησή τους.

Στο κύριο μέρος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας έγινε ανάλυση όλου του τμήματος του Μετρό Θεσσαλονίκης το οποίο έχει διανοιχθεί, δηλαδή από το Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό έως το σταθμό Αναλήψεως. Η περιοχή αυτή χωρίστηκε σε εννέα επιμέρους τμήματα ώστε να πραγματοποιηθεί η ανάλυση των επιμέρους τμημάτων. Το καθένα από αυτά τα τμήματα ξεκινά από την αφετηρία τενός σταθμού και καταλήγει στην αφετηρία του επόμενου, δεδομένου ότι στο ήδη διανοιχθέν τμήμα περιλαμβάνονται δέκα σταθμοί.

Ύστερα, σε καθένα από αυτά τα τμήματα πραγματοποιήθηκε έλεγχος, με τη βοήθεια του πληροφοριακού συστήματος Kronos, ώστε να εντοπισθούν τα σημεία στα οποία βρίσκονται οι πιο έντονες καθιζήσεις, οι οποίες οφείλονταν αποκλειστικά στη διάνοιξη των δύο μηχανημάτων. Επιλέχθηκαν να αναλυθούν οι καθιζήσεις των οποίων οι επιφάνεια βρισκόταν ακριβώς πάνω και από τα δύο μηχανήματα διάνοιξης, ώστε όλα τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα των αναλύσεων να διαθέτουν τον ίδιο παρονομαστή. Συνολικά, έγινε ανάλυση πενήνταπέντε σημείων στα οποία παρατηρήθηκαν επιφανειακές καθιζήσεις άνω των τεσσάρων χιλιοστών, πολλά από τα οποία όμως απορρίφθηκαν δεν ανταποκρίνονταν στους αρχικούς περιορισμούς που είχαν τεθεί. Τελικά, αποφασίσθηκε να γίνει παρουσίαση των δέκα πιο έντονων χαρακτηριστικών τομών.

Για να πραγματοποιηθεί η ανάλυση των τομών πραγματοποιήθηκαν ορισμένες συγκεκριμένες διαδικασίες για κάθε τομή ξεχωριστά. Αρχικά, εντοπίστηκαν οι χωροσταθμικοί μετρητές που βρίσκονταν στη συγκεκριμένη χιλιομετρική θέση και δεν απήχαν περισσότερο από τριάντα μέτρα από τον κεντρικό άξονα των δύο σηράγγων. Ύστερα, με βάση τις τιμές των χωροσταθμικών μετρητών σχεδιάσθηκαν, από το πρόγραμμα Kronos οι αντίστοιχες ισοβαθείς καμπύλες. Στη συνέχεια καθορίστηκε η ακριβής θέση των χωροσταθμικών ορίζοντας ως άξονα αναφοράς τον νοητό κεντρικό άξονα μεταξύ των δύο σηράγγων, που απέχει ίση απόσταση από τα κέντρα τους. Για κάθε

χωροσταθμικό λήφθηκαν υπόψη τρεις τιμές, οι μετρήσεις που είχε καταγράψει λίγο πριν περάσει το TBM1, λίγο πριν περάσει το TBM2 και αρκετό καιρό αφού είχαν περάσει και τα δύο μηχανήματα.

Ο στόχος των παραπάνω διαδικασιών ήταν να σχεδιασθεί, με τη βοήθεια εμπειρικών μεθόδων, μία καμπύλη Gauss για κάθε χιλιομετρική θέση στην οποία είχε εντοπισθεί επιφανειακή καθίζηση και να υπολογισθεί η τιμή της μέγιστης καθίζησης. Επομένως, για κάθε τομή απεικονίσθηκε η καμπύλη της καθίζησης που προκλήθηκε από τη διέλευση του πρώτου TBM, η καμπύλη που προκλήθηκε από τη διέλευση του δεύτερου TBM και τέλος η συνολική καμπύλη που προέκυψε από τις καθιζήσεις που έδωσαν και τα δύο μηχανήματα. Με τη βοήθεια των αρχικών τιμών που δόθηκαν από τους χωροσταθμικούς μετρητές αλλά και των υπολογισμών που έγιναν για τον υπολογισμό της καμπύλης καθιζήσεων προέκυψαν αντίστοιχα και τιμές για το σημείο καμπής, τη γωνία επιρροής, την απώλεια όγκου του εδάφους, τη σχετική απώλεια του εδάφους και το γεωλογικό συντελεστή k .

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί ένας συνολικός έλεγχος των αιτιών που οδήγησαν στις επιφανειακές καθιζήσεις πραγματοποιήθηκε έλεγχος του ημερολογίου του έργου τις ημερομηνίες εκείνες όπου τα TBM βρίσκονταν στο σημείο που εντοπίστηκε η επιφανειακή καθίζηση. Επιπλέον, σχεδιάσθηκαν διαγράμματα συσχετισμού με στόχο τον καθορισμό της αιτίας που οδήγησε στην επιφανειακή καθίζηση σε κάθε χιλιομετρική θέση ξεχωριστά.

Όλα τα παραπάνω οδήγησαν σε διάφορες διαπιστώσεις σχετικά με τη λειτουργία των μηχανημάτων εξισορρόπησης της εδαφικής πίεσης στο έργο του Μετρό Θεσσαλονίκης. Αρχικά, εξαιτίας της έλλειψης γνώσης και συμφιλίωσης με το μηχάνημα κατά την αρχή του έργου, παρατηρήθηκαν διάφορα λάθη σχετικά με την ορθή διαχείριση και τον συντονισμό των βασικών λειτουργιών του μηχανήματος, αυτό είχε ως συνέπεια την πρόκληση επιφανειακών καθιζήσεων στα πρώτα μέτρα της διάνοιξης. Επιπλέον, από τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των συμπερασμάτων επιβεβαιώθηκε η διαπίστωση ότι η πίεση που ασκείται στο μέτωπο αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα για τη σωστή διάνοιξη και την ευστάθεια του μετώπου.

Παρατηρήθηκαν καθιζήσεις στην περιοχή της διάνοιξης και πλησίον αυτής οι οποίες δεν οφείλονταν στη διάνοιξη αλλά σε διάφορους εξωτερικούς παράγοντες, όπως είναι η κατασκευή διαφραγματικών τοίχων, η βλάβη αγωγών νερού κ.α. Επομένως, επιβεβαιώνεται ότι η επιλογή του μηχανήματος EPB ήταν η καταλληλότερη για τις συνθήκες που επικρατούσαν στη Θεσσαλονίκη, δεδομένου ότι επετεύχθη και η ελαχιστοποίηση των καθιζήσεων πλην ελαχίστων εξαιρέσεων. Μάλιστα, παρατηρήθηκε ότι σε ορισμένα σημεία το μηχάνημα πέτυχε πολύ γρήγορη προχώρηση. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι καθιζήσεις που μας απασχόλησαν βρίσκονταν κυρίως στην αρχή, όπου επικρατούσε η περίοδος της εκμάθησης του μηχανήματος και στο τέλος όπου οι γεωλογικές συνθήκες ήταν αρκετά δυσχερείς.

Συμπερασματικά, είναι πλέον κατανοητό ότι η χρήση ενός πληροφοριακού συστήματος όπως είναι το Kronos καθιστά πολύ πιο εύκολη και αποδοτική τη λειτουργία ενός έργου τέτοιας εμβέλειας. Πρόκειται για μία βάση δεδομένων η οποία είναι εξαιρετικά χρηστική και έχει τη δυνατότητα της συλλογής και τακτοποίησης όλων των δεδομένων που αφορούν το έργο.

Βιβλιογραφία

- Αλεξάνδρου Α., Σταυρή Ε., 2011. Προσαρμογή χάραξης της Γραμμής 4 του Μετρό σε κυκλική ώστε να εξυπηρετεί την Πολυτεχνειούπολη. Αθήνα, Ε.Μ.Π.
- Αναγνωστόπουλος Α. και Μιχάλης Η., Ιανουάριος 2004. Σημειώσεις Αντιστηρίξεων και Καθιζήσεων λόγω Εκσκαφών. Αθήνα, Ε.Μ.Π.
- Αττικό Μετρό., 2012. <http://www.ametro.gr/page/>
- Γεωργιάννου Β., 2000. Χρήση Γεωτεχνικών Οργάνων – Οργανομετρήσεις. Αθήνα
- Δημακόπουλος Α., 2010. Μελέτη των καθιζήσεων λόγω διάνοιξης δίδυμης σήραγγας μετρό Θεσσαλονίκης στο τμήμα Αγία Σοφία – Πανεπιστήμιο. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Αθήνα, Ε.Μ.Π.
- Καββαδάς Μ., Μάρτιος 2005. Σημειώσεις σχεδιασμού υπογείων έργων. Ε.Μ.Π.
- Καρλαύτης Μ., Λυμπέρης Κ., 2009. Συστήματα αστικών συγκοινωνιών: σχεδιασμός, κατασκευή, λειτουργία. Αθήνα.
- Κουκουτάς Σ., Τεχνικά στοιχεία Αττικό Μετρό
- Ρίζος Π., 2010. Καθιζήσεις λόγω της διάνοιξης δίδυμων σηράγγων του Μετρό Θεσσαλονίκης στο τμήμα Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός – Αγία Σοφία. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία . Αθήνα, Ε.Μ.Π.
- Σοφιανός Α., 2010. Τεχνικές διάνοιξης Σηράγγων. Αθήνα, Ε.Μ.Π.
- Σοφιανός Α., 2010. Υποστήριξη υπογείων έργων. Αθήνα, Ε.Μ.Π.
- Στοιχεία μελέτης του έργου της Θεσσαλονίκης: Κ/Ε ΓΕΩΓΝΩΣΗ Α.Ε. – ΓΕΩΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ Α.Ε.
- Στοιχεία μελετών του έργου της Θεσσαλονίκης: ΟΜΕΤΕ – ΕΔΑΦΟΣΤΑΤΙΚΗ – ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ
- Anagnostou G. & Kovári K. 1996. Face stability in slurry and EPB shield tunneling. Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground. London, 453-458.
- Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists, 2004. Electronic Transfer of Geotechnical and Geoenvironmental Data. Edition 3.1. Beckenham, United Kingdom.

- Barla G. & Pelizza S., 2000. TBM tunneling in difficult ground conditions. Politecnico di Torino, Italy .
- Fonseca A., Gomes A., 2011. A tunnel collapse on the construction in metro do Porto: Solutions for optimization of advance control parameters of a EPB TBM. Conference in structural failures. Szczecin, Miedzyzdroje.
- Bartak J., Hrdina I., Romancov G., Zlamal J., 2007. Underground Space the 4th Dimension of Metropolises. London, UK, Taylor & Francis
- Chmelina K., 2009. A Virtual Reality System for the Visualisation of Underground Construction Data. Proceedings of the II Int. Conference on Computational Methods in Tunnelling. Bochum, Germany.
- Chmelina K., 2009. Integrated Tunnel Monitoring and Surveying Supported by an Information System. Proceedings of the ITA – AITES World Tunnel Congress. Budapest, Hungary.
- Chmelina K., Krusche G., Hesina G., 2010. Integrated Tunnelling Data Management, Analysis and Visualization New IT Tools for Better Projects. Proceedings of World Tunnel Congress 2010. Vancouver, Canada.
- Gatti C. & Cassani G., 2007. Ground Loss Control in EPB TBM tunnel excavation. Underground Space - the 4th Dimension of Metropolises. Prague, Czech Republic.
- Geodata. 2012. <http://www.geodata.com/>
- Geodata. Kronos Client User Manual. Version 1.6.8.2
- Grasso P., 2008. Settlement in construction of urban underground works, solutions on settlement control. ITST Seminar. Hanoi, Vietnam.
- Greenwood J., 2003. Three-dimensional analysis of surface settlement in soft ground tunneling. Department of Civil and Environmental Engineering. Massachusetts Institute of Technology
- Guglielmetti Vittorio, Grasso Piergiorgio, Ashraf Mahtab, Shulin Xu. 2008. Mechanized tunnelling in urban areas, design methodology and construction control. London, UK, Taylor & Francis.
- Herrenknecht. 2012. <http://www.herrenknecht.com/>
- Knappett J. and Craig R. 2012. Craig's Soil Mechanics

Maidl B., Schmid L., Ritz W., Herrenknecht M., 2008. Hardrock Tunnel Boring Machines. Ernst & Sohn. Berlin, Germany.

Mair R., Taylor R. 1993. Subsurface settlement profiles above tunnels in clays. Geotechnique,43, 315-320.

Mair R., Taylor R. 1996. Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground. Balkema, Rotterdam, Brookfield.

Mair R., Gunn M., O'Reilly M. 1981. Ground movements around shallow tunnels in soft clay. 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm ,Vol.1, 323-328.

Mair R., Taylor R., Burland J. 1996. Prediction of ground movements and assessment of risk of building damage due to bored tunneling. Int. Symp. on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground. London, Balkema Publ. Rotterdam,713-717.

Oteo C., Sagaseta C. 1982. Prediction of settlements due to underground openings. In R. Dungar, G. Pande, & J. Studer (Ed.). Numerical Models in Geomechanics. Zurich.

Shangguan Z., Shouju L., Maotian L., 2008. Determining optimal thrust force of EPB shield machine by analytical solution. Electronic Journal of Geotechnical Engineering.

Slinchenko D., 2009. Control of Ground Settlement in EPB Tunnelling. World Tunnel Congress. Budapest, Hungary.

Vlasov S., Makovsky L., Merkin, V., 2001. Accidents in Transportation and Subway Tunnels. Elex-KM Publications, 198.

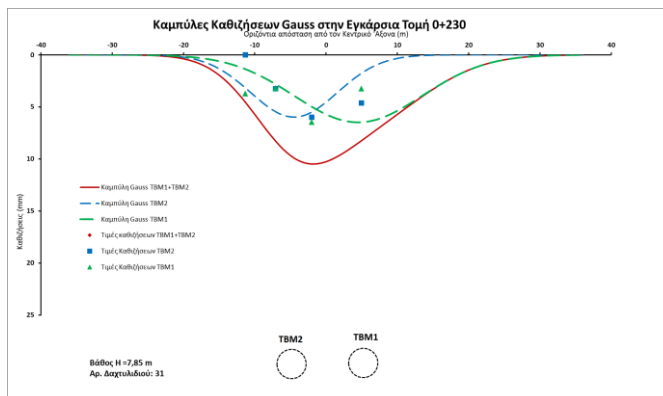
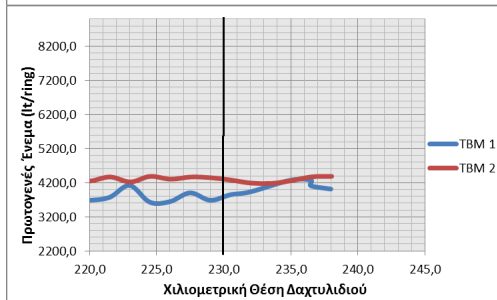
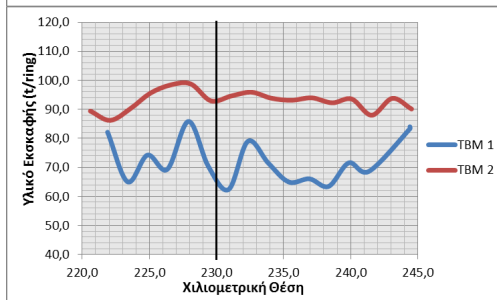
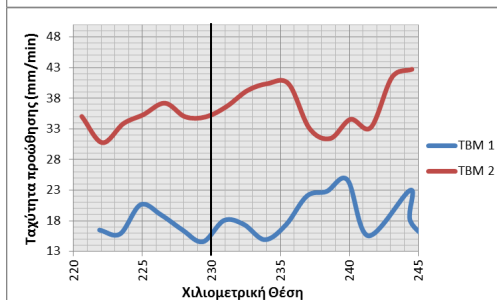
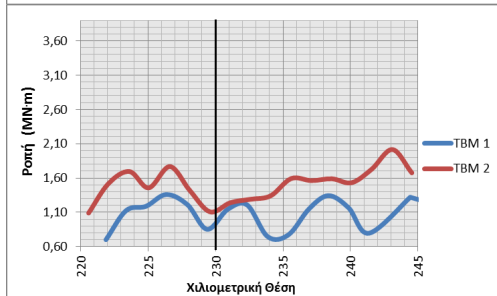
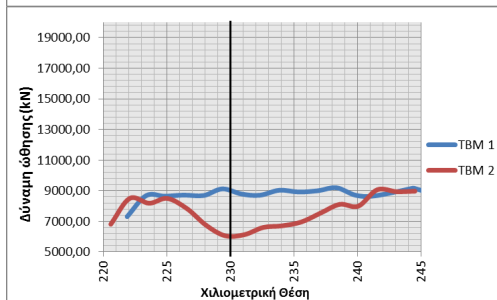
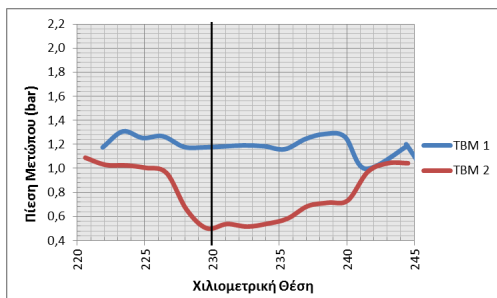
Wittke W., 2007. Stability Analysis and Design for Mechanized Tunneling. WBI GmbH. Aachen, Germany.

Παράρτημα

Λειτουργικές Παράμετροι EPB

	TBM1	TBM2
<i>Πίεση Μετώπου</i>	1,7 bar	1,7 bar
<i>Υλικό Εκσκαφής</i>	94,5 t	93,7 t
<i>Δύναμη ώθησης</i>	13000 KN	14300 KN
<i>Ροπή</i>	2,6 MNm	2,5 MNm
<i>Ταχύτητα Προώθησης</i>	27,1 mm/min	28,1 mm/min
<i>Πρωτογενές ένεμα</i>	4250 lt	4500 lt

Χ.Θ. 0+220 έως 0+245



Γεωλογικές Συνθήκες

Χαλαρές έως μέτρια πυκνές αργιλώδεις ΑΜΜΟΥΣ και χαλαρούς έως μέτρια πυκνούς αργιλώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ

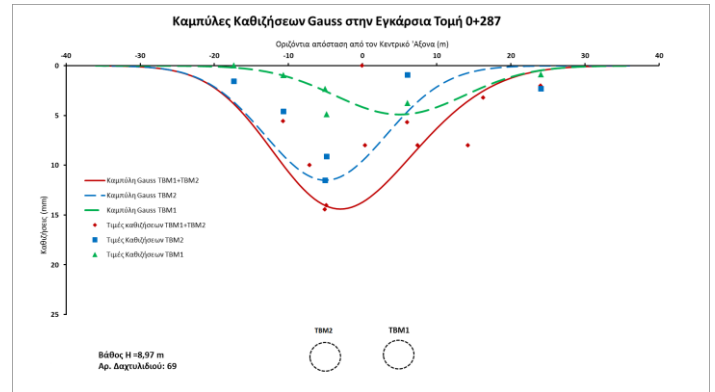
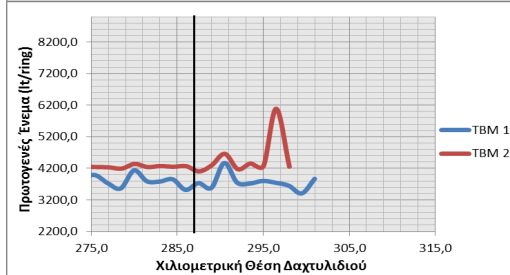
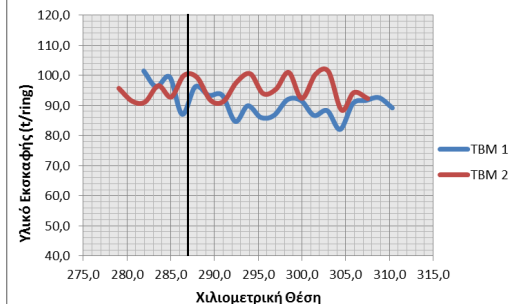
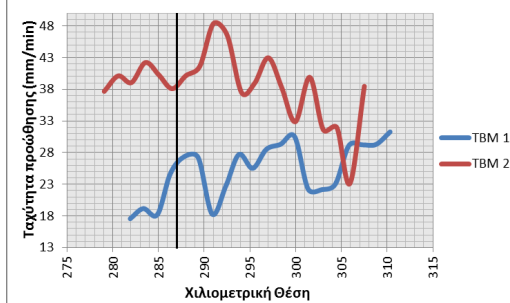
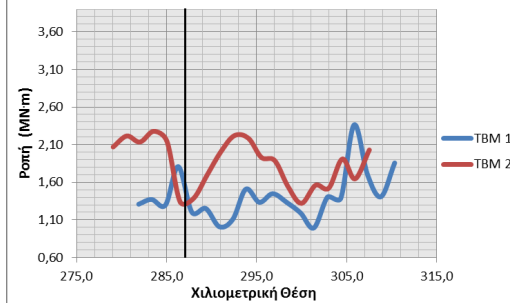
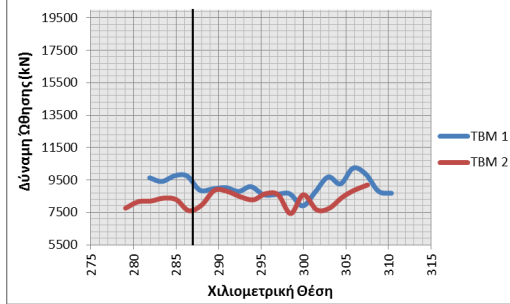
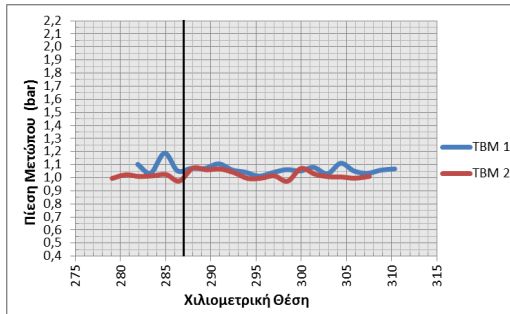
Παράμετροι

$\gamma =$	21,5 KN/m ³
$c =$	7,5 KPa
$\phi =$	33°
$H =$	7,85 m
$Hw =$	4,4 m

Τιμές Λειτουργικών Παραμέτρων

	TBM1		TBM2	
	Εύρος Τιμών	Μέση Τιμή	Εύρος Τιμών	Μέση Τιμή
Πίεση Μετώπου (bar)	1,0 έως 1,3	1,2	0,5 έως 1,05	0,7
Δύναμη Ώθησης (kN)	8600 έως 9300	8800	6000 έως 9100	7500
Ροπή (MNm)	0,7 έως 1,4	1,0	1,1 έως 2,0	1,5
Ταχύτητα Προώθησης (mm/min)	14 έως 25	19	30 έως 43	37
Υλικό Εκσκαφής (t/ring)	62 έως 86	70	88 έως 100	92
Πρωτογενές ένεμα (lt/ring)	3600 έως 4300	4000	4200 έως 4400	4300

X.Θ. 0+275 έως 315



Γεωλογικές Συνθήκες

Χαλαρές έως μέτρια πυκνές αργιλώδεις ΑΜΜΟΥΣ και χαλαρούς έως μέτρια πυκνούς αργιλώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ

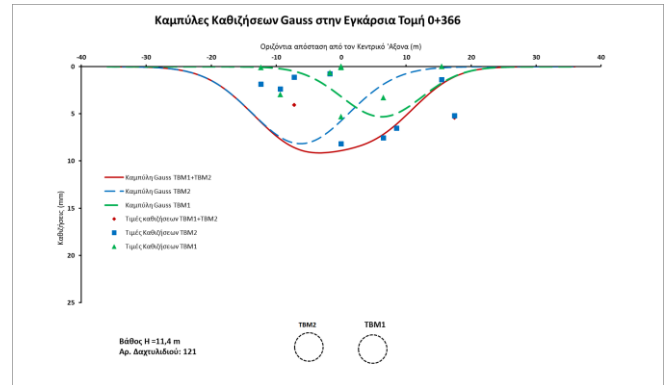
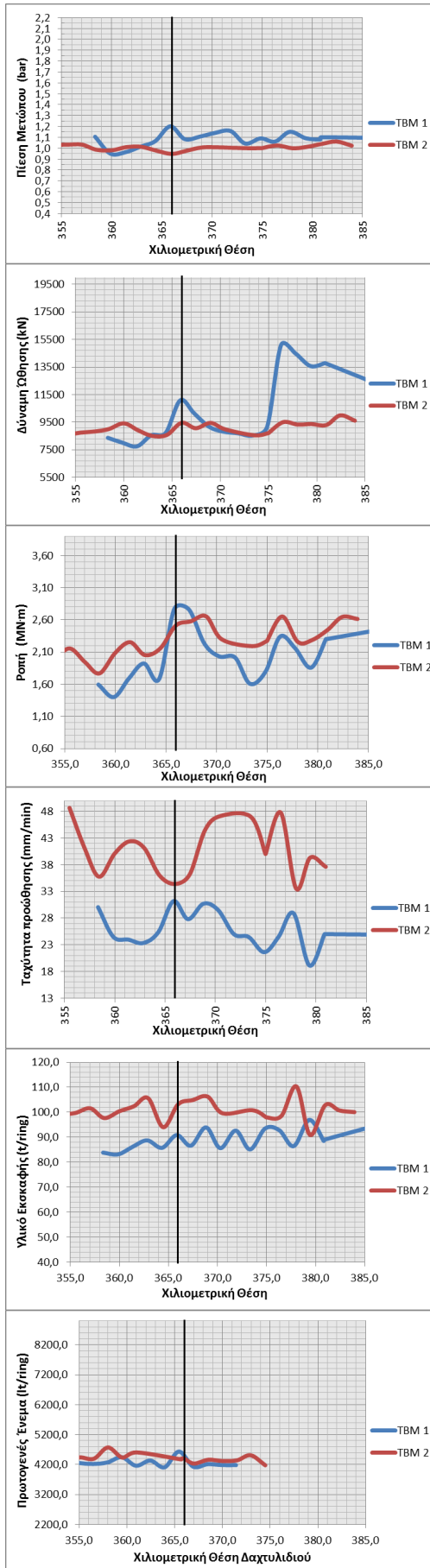
Παράμετροι

$\gamma =$	21,5 KN/m ³
$c =$	7,5 KPa
$\phi =$	33°
$H =$	9 m
$H_w =$	4 m

Τιμές Λειτουργικών Παραμέτρων

	TBM1		TBM2	
	Εύρος Τιμών	Μέση Τιμή	Εύρος Τιμών	Μέση Τιμή
Πίεση Μετώπου (bar)	1,0 έως 1,2	1,05	0,9 έως 1,1	1,0
Δύναμη Ωθησης (kN)	8000 έως 10400	9000	7400 έως 9200	8200
Ροπή (MNm)	1,0 έως 2,4	1,4	1,3 έως 2,3	1,8
Ταχύτητα Προώθησης (mm/min)	17 έως 32	25	23 έως 49	37
Υλικό Εκσκαφής (t/ring)	82 έως 102	90	88 έως 102	95
Πρωτογενές ένεμα (lt/ring)	3400 έως 4400	3800	4100 έως 4700	4400

X.Θ. 0+355 έως 385



Γεωλογικές Συνθήκες

Χαλαρές έως μέτρια πυκνές αργιλώδεις ΑΜΜΟΥΣ και χαλαρούς έως μέτρια πυκνούς αργιλώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ

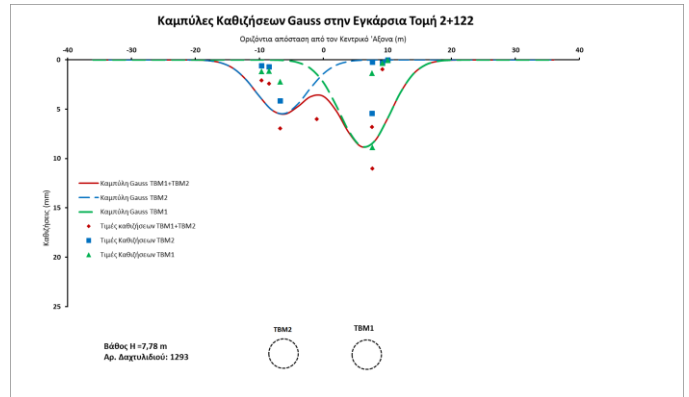
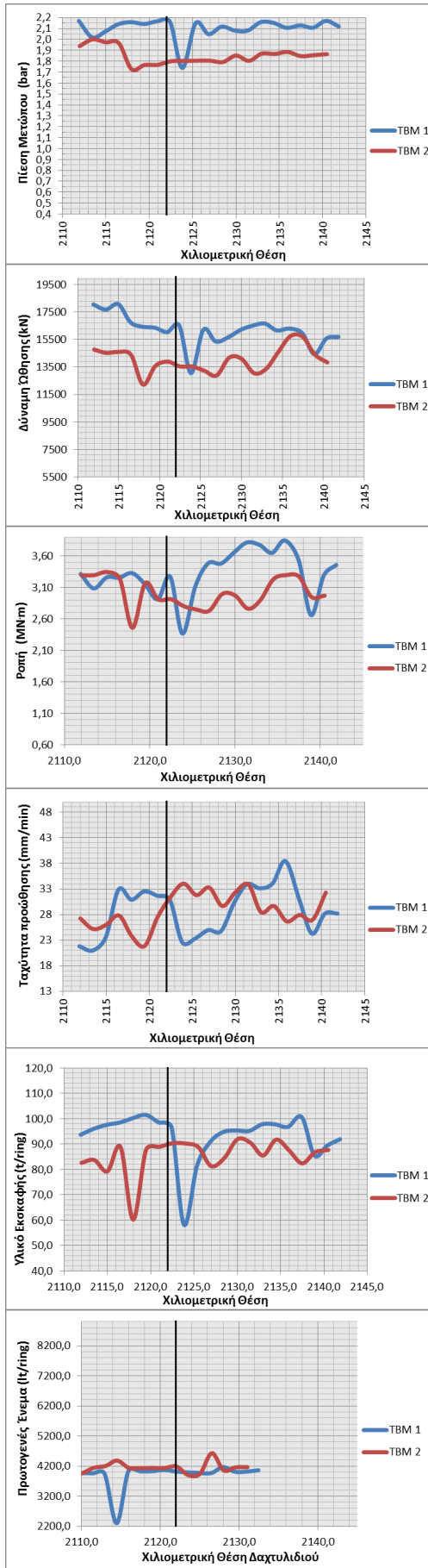
Παράμετροι

$\gamma =$	21,5 KN/m ³
$c =$	7,5 KPa
$\varphi =$	33°
$H =$	11,5 m
$H_w =$	4 m

Τιμές Λειτουργικών Παραμέτρων

	TBM1		TBM2	
	Εύρος Τιμών	Μέση Τιμή	Εύρος Τιμών	Μέση Τιμή
Πίεση Μετώπου (bar)	0,9 έως 1,2	1,1	0,9 έως 1,1	1,0
Δύναμη Ωθησης (kN)	7500 έως 15500	11500	8000 έως 9500	9000
Ροπή (MNm)	1,4 έως 2,8	2,1	1,8 έως 2,7	2,2
Ταχύτητα Προώθησης (mm/min)	19 έως 31	25	33 έως 49	41
Υλικό Εκσκαφής (t/ring)	82 έως 94	90	90 έως 110	100
Πρωτογενές ένεμα (t/ring)	4100 έως 4400	4300	4200 έως 4800	4400

Χ.Θ. 2+110 έως 2+145



Γεωλογικές Συνθήκες

Ερυθρές Άργιλοι (αντοχή σε θλίψη: 300 – 600kPa)

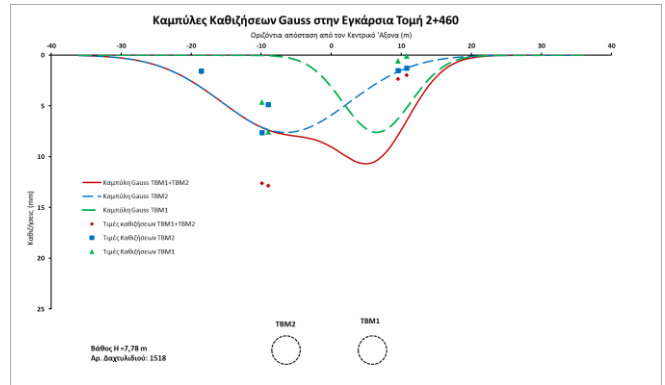
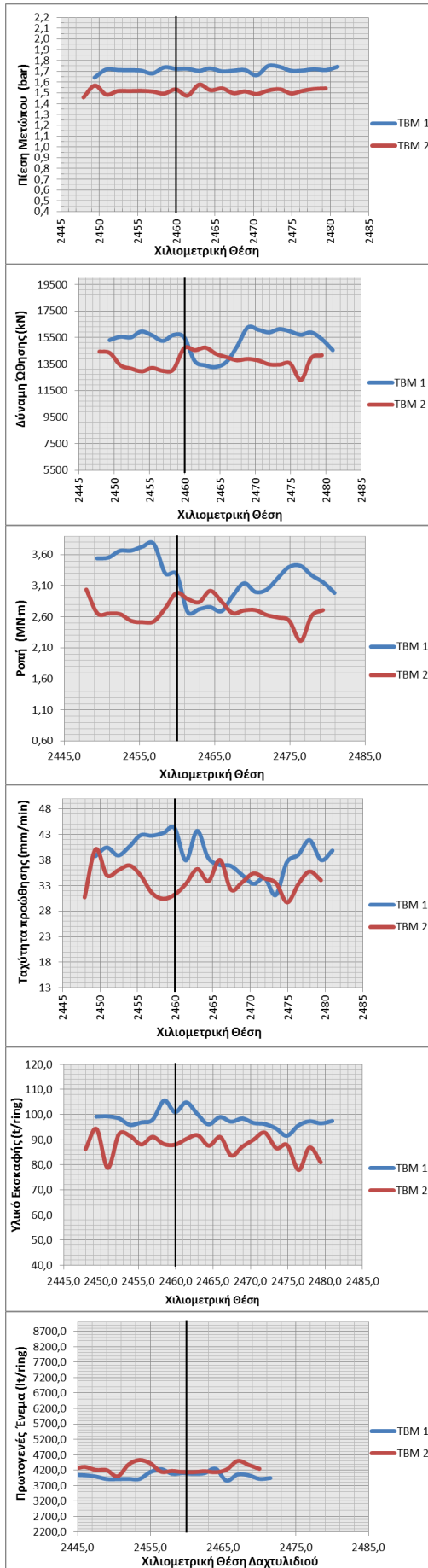
Παράμετροι

$\gamma =$	21,5 KN/m ³
$c =$	150KPa
$\phi =$	27°
$H =$	24,5 m
$H_w =$	5,6 m

Τιμές Λειτουργικών Παραμέτρων

	TBM1		TBM2	
	Εύρος Τιμών	Μέση Τιμή	Εύρος Τιμών	Μέση Τιμή
Πίεση Μετώπου (bar)	1,7 έως 2,2	2,0	1,7 έως 2,0	1,9
Δύναμη Ωθησης (kN)	13000 έως 18000	16000	12000 έως 16000	14000
Ροπή (MNm)	2,4 έως 3,8	3,2	2,5 έως 3,3	2,9
Ταχύτητα Προώθησης (mm/min)	22 έως 38	29	22 έως 34	28
Υλικό Εκσκαφής (t/ring)	60 έως 100	95	60 έως 90	85
Πρωτογενές ένεμα (lt/ring)	3500 έως 4200	4200	3800 έως 4600	4200

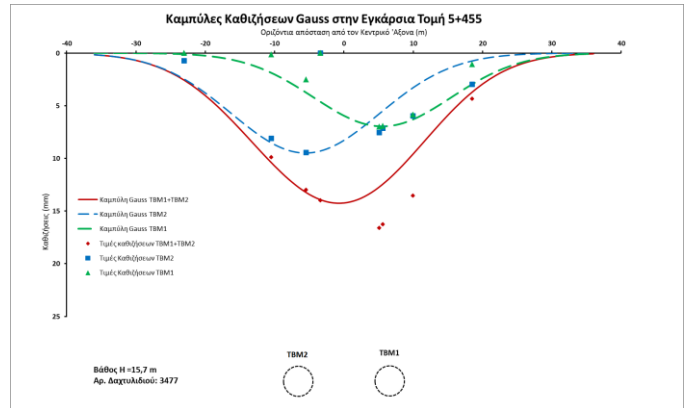
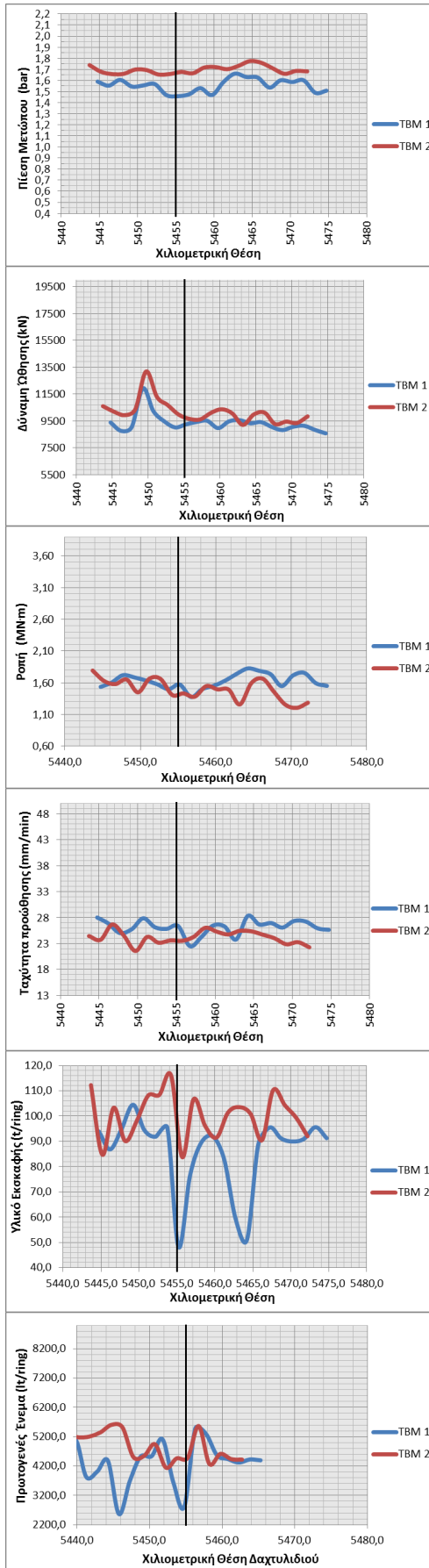
Χ.Θ. 2+445 έως 2+485



Γεωλογικές Συνθήκες	
Ερυθρές Άργιλοι (αντοχή σε θλίψη: 300 – 600kPa)	
Παράμετροι	
$\gamma =$	21,5 KN/m ³
$c =$	110KPa
$\varphi =$	27 ^ο
$H =$	20,1 m
$H_w =$	5 m

Τιμές Λειτουργικών Παραμέτρων				
	TBM1		TBM2	
	Εύρος Τιμών	Μέση Τιμή	Εύρος Τιμών	Μέση Τιμή
Πίεση Μετώπου (bar)	1,65 έως 1,75	1,7	1,45 έως 1,55	1,5
Δύναμη Ωθησης (kN)	13000 έως 16000	14000	12000 έως 15000	13500
Ροπή (MNm)	2,6 έως 3,8	3,2	2,2 έως 3,0	2,6
Ταχύτητα Προώθησης (mm/min)	30 έως 45	38	30 έως 40	35
Υλικό Εκσκαφής (t/ring)	92 έως 106	95	78 έως 94	85
Πρωτογενές ένεμα (lt/ring)	3900 έως 4200	4000	4100 έως 4500	4200

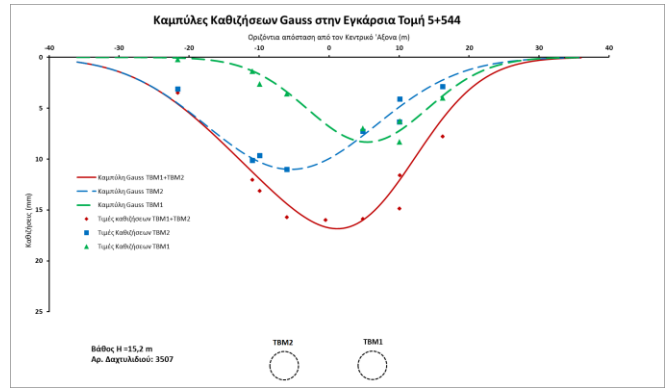
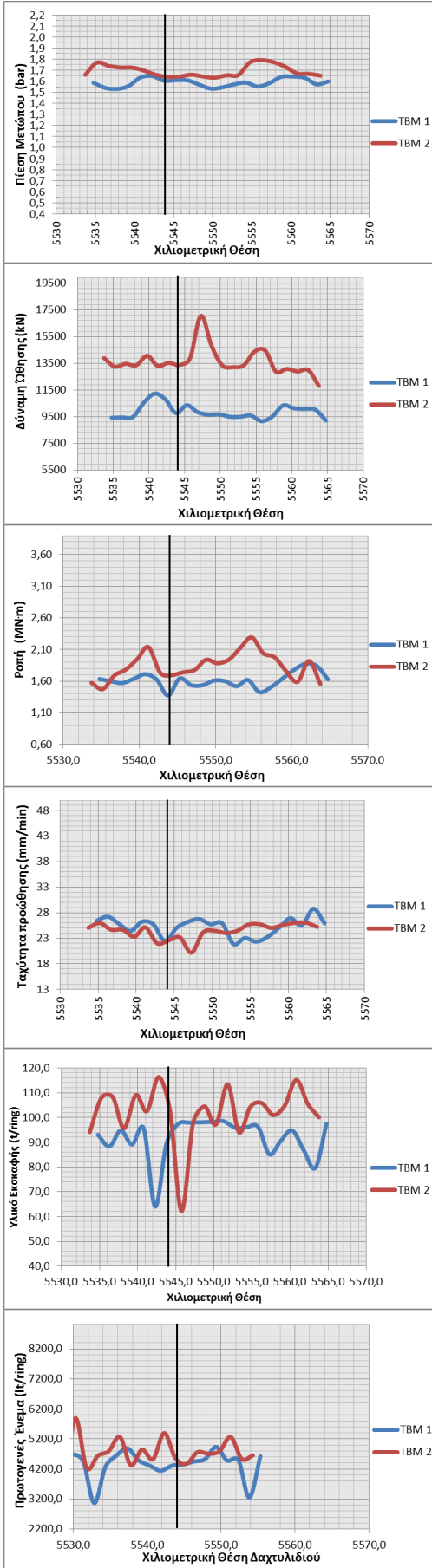
Χ.Θ. 5+440 έως 5+480



Γεωλογικές Συνθήκες	
Στιφρή έως άκαμπτη αμμώδη ΑΡΓΙΛΟ & στιφρό έως πολύ στιφρό κατά τόπους άκαμπτο ασβεστολιθικό ΑΡΓΙΛΟ με ενδιάμεση έως υψηλή πλαστικότητα	
Παράμετροι	
$\gamma =$	20,5 KN/m ³
$c =$	15 KPa
$\phi =$	26°
$H =$	15,8 m
$H_w =$	6 m

Τιμές Λειτουργικών Παραμέτρων				
	TBM1		TBM2	
	Εύρος Τιμών	Μέση Τιμή	Εύρος Τιμών	Μέση Τιμή
Πίεση Μετώπου (bar)	1,5 έως 1,6	1,55	1,6 έως 1,8	1,7
Δύναμη Ωθησης (kN)	9000 έως 12000	9500	9000 έως 13000	10500
Ροπή (MNm)	1,4 έως 1,8	1,6	1,2 έως 1,8	1,5
Ταχύτητα Προώθησης (mm/min)	23 έως 28	26	22 έως 26	24
Υλικό Εκσκαφής(t/ring)	50 έως 100	85	80 έως 115	100
Πρωτογενές ένεμα (t/ring)	3000 έως 5000	4000	4000 έως 5500	5000

Χ.Θ. 5+530 έως 5+570



Γεωλογικές Συνθήκες

Μέσης πυκνότητας αργιλώδη ΑΜΜΟ με χαλίκια και από ίδια πυκνότητας αργιλώδη / ιλυώδη ΧΑΛΙΚΙΑ με άμμο & στιφρή έως άκαμπτη αμμώδη ΑΡΓΙΛΟ

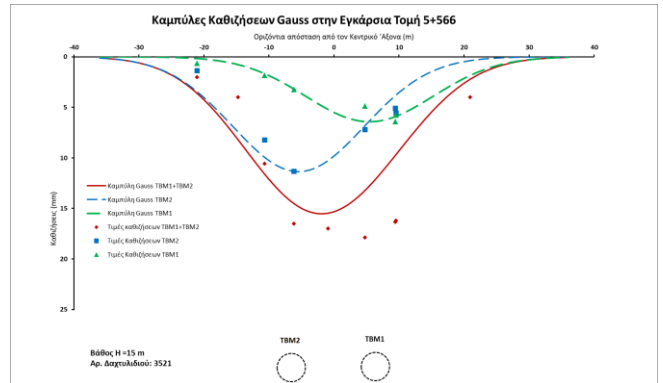
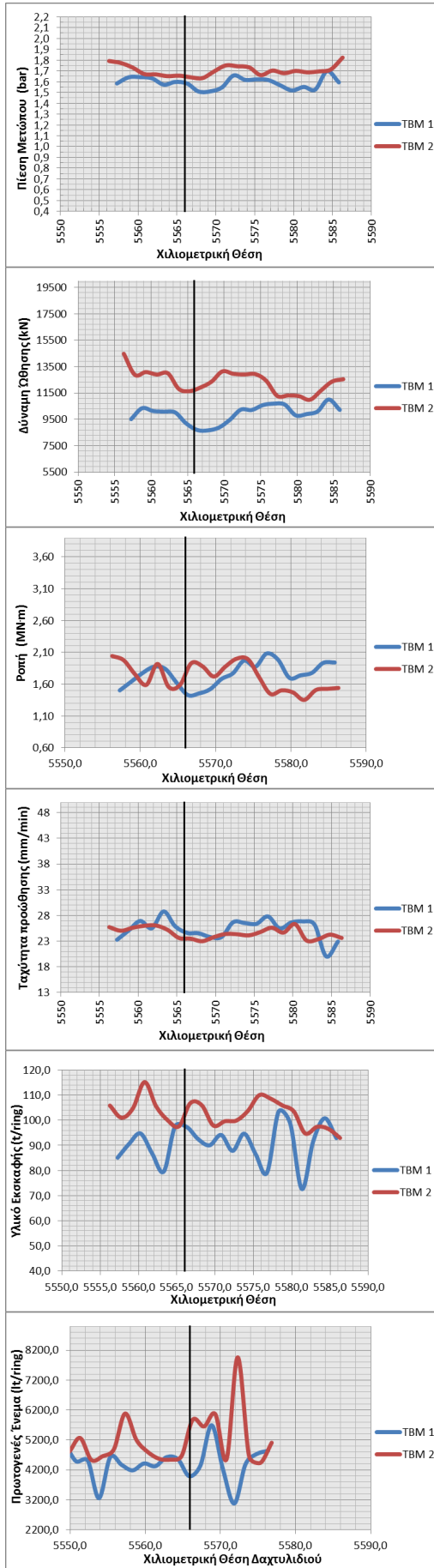
Παράμετροι

$\gamma =$	22,5 KN/m ³
$c =$	9 KPa
$\phi =$	30,5°
$H =$	15,17 m
$H_w =$	6,8 m

Τιμές Λειτουργικών Παραμέτρων

	TBM1		TBM2	
	Εύρος Τιμών	Μέση Τιμή	Εύρος Τιμών	Μέση Τιμή
Πίεση Μετώπου (bar)	1,5 έως 1,65	1,6	1,6 έως 1,8	1,7
Δύναμη Ωθησης (kN)	9000 έως 11000	10000	12000 έως 16000	14000
Ροπή (MNm)	1,4 έως 1,9	1,6	1,5 έως 2,2	1,9
Ταχύτητα Προώθησης (mm/min)	22 έως 29	25	22 έως 26	24
Υλικό Εκσκαφής (t/ring)	60 έως 100	90	60 έως 110	100
Πρωτογενές ένεμα (lt/ring)	3500 έως 5000	4300	4200 έως 5300	4800

Χ.Θ. 5+550 έως 5+590



Γεωλογικές Συνθήκες

Μέσης πυκνότητας αργιλώδη ΑΜΜΟ με χαλίκια και από ίδιας πυκνότητας αργιλώδη / ιλυώδη ΧΑΛΙΚΙΑ με άμμο & σιφρή έως άκαμπτη αμμώδη ΑΡΓΙΛΟ

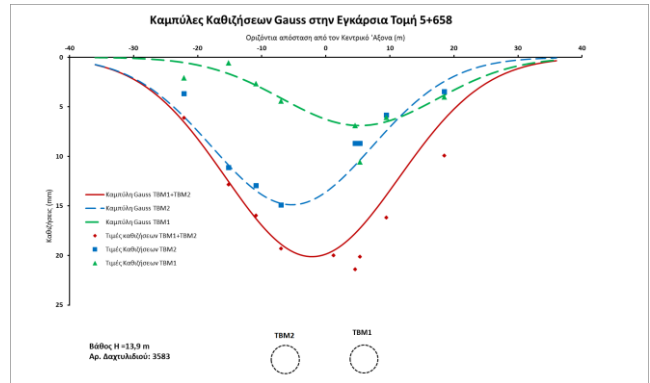
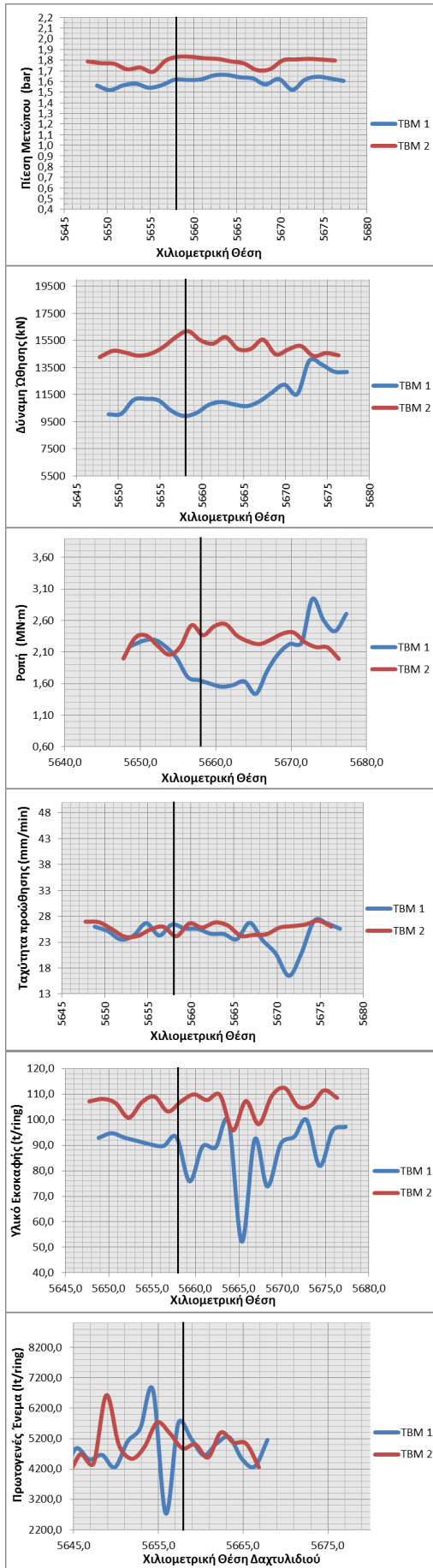
Παράμετροι

$\gamma =$	22,5 KN/m ³
$c =$	7KPa
$\phi =$	32°
$H =$	15 m
$Hw =$	6,8 m

Τιμές Λειτουργικών Παραμέτρων

	TBM1		TBM2	
	Εύρος Τιμών	Μέση Τιμή	Εύρος Τιμών	Μέση Τιμή
Πίεση Μετώπου (bar)	1,5 έως 1,7	1,6	1,6 έως 1,8	1,7
Δύναμη Ωθησης (kN)	9000 έως 11000	10000	11000 έως 14000	12000
Ροπή (MNm)	1,4 έως 2,0	1,8	1,4 έως 2,0	1,7
Ταχύτητα Προώθησης (mm/min)	22 έως 28	26	23 έως 26	24
Υλικό Εκσκαφής (t/ring)	80 έως 100	90	95 έως 110	105
Πρωτογενές ένεμα (t/ring)	3000 έως 5500	4100	4500 έως 7000	5100

Χ.Θ. 5+645 έως 5+680



Γεωλογικές Συνθήκες

Μέσης πυκνότητας αργιλώδη ΑΜΜΟ με χαλίκια και από ίδιας πυκνότητας αργιλώδη / ιλυώδη ΧΑΛΙΚΙΑ με άμμο & στιφρή έως άκαμπτη αμμώδη ΑΡΓΙΛΟ

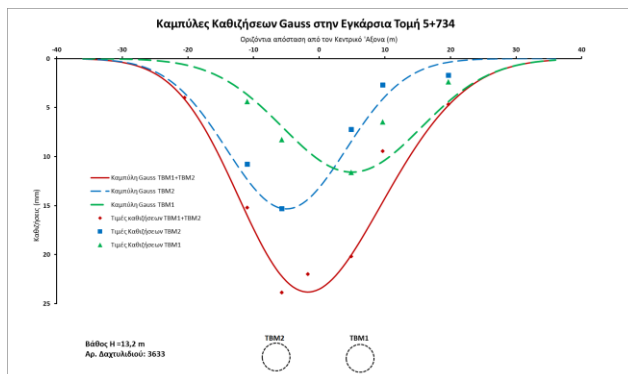
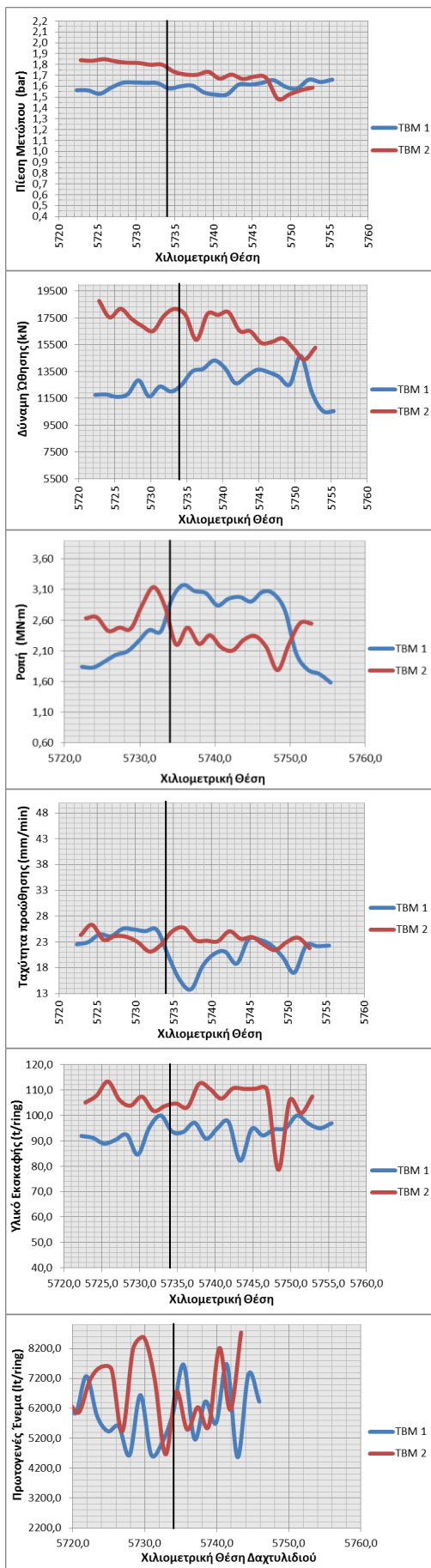
Παράμετροι

$\gamma =$	22,5 KN/m ³
$c =$	8KPa
$\phi =$	31°
$H =$	13,92 m
$Hw =$	7,2 m

Τιμές Λειτουργικών Παραμέτρων

	TBM1		TBM2	
	Εύρος Τιμών	Μέση Τιμή	Εύρος Τιμών	Μέση Τιμή
Πίεση Μετώπου (bar)	1,5 έως 1,65	1,6	1,7 έως 1,8	1,75
Δύναμη Ωθησης (kN)	10000 έως 14000	11000	14000 έως 16000	15000
Ροπή (MNm)	1,5 έως 2,7	2,1	2,0 έως 2,5	2,3
Ταχύτητα Προώθησης (mm/min)	19 έως 27	25	24 έως 27	26
Υλικό Εκσκαφής (t/ring)	70 έως 100	85	90 έως 110	105
Πρωτογενές ένεμα (lt/ring)	4000 έως 6000	5000	4500 έως 6000	5000

Χ.Θ. 5+720 έως 5+760



Γεωλογικές Συνθήκες

Μέσης πυκνότητας αργιλώδη ΑΜΜΟ με χαλίκια και από ίδιας πυκνότητας αργιλώδη / ιλυώδη ΧΑΛΙΚΙΑ με άμμο & σιφρή έως άκαμπτη αμμώδη ΑΡΓΙΛΟ

Παράμετροι

$\gamma =$	23 KN/m ³
$c =$	5 KPa
$\phi =$	33°
$H =$	13,19 m
$Hw =$	7,2 m

Τιμές Λειτουργικών Παραμέτρων

	TBM1		TBM2	
	Εύρος Τιμών	Μέση Τιμή	Εύρος Τιμών	Μέση Τιμή
Πίεση Μετώπου (bar)	1,5 έως 1,7	1,6	1,5 έως 1,8	1,7
Δύναμη Ωθσης (kN)	11000 έως 14000	13000	14000 έως 18000	17000
Ροπή (MNm)	1,8 έως 3,1	2,5	1,9 έως 3,0	2,4
Ταχύτητα Προώθησης (mm/min)	16 έως 26	22	21 έως 26	23
Υλικό Εκσκαφής (t/ring)	80 έως 100	90	80 έως 110	100
Πρωτογενές ένεμα (kWh/ring)	4500 έως 7500	6500	5000 έως 8000	7000

