



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Τεχνικογεωλογικές και Υδρογεωλογικές Συνθήκες και Προβλήματα στην  
Επέκταση της Γραμμής 2 του Μετρό (Τμήμα Αγ. Αντώνιος – Περιστέρι)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γαλανού Αικατερίνη

Χατζηπέτρου Ειρήνη

Επιβλέπων: Ρόζος Δημήτριος  
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Τεχνικογεωλογικές και Υδρογεωλογικές Συνθήκες και Προβλήματα στην  
Επέκταση της Γραμμής 2 του Μετρό (Τμήμα Αγ. Αντώνιος – Περιστέρι)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γαλανού Αικατερίνη

Χατζηπέτρου Ειρήνη

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 18/03/2010

Ρόζος Δημήτριος, Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.  
Κυρούσης Ιωάννης, Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.  
Νομικός Παύλος, Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Επιβλέπων: Ρόζος Δημήτριος  
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2010

## **ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε από τις φοιτήτριες Γαλανού Αικατερίνη του Ζαχαρία και Χατζηπέτρου Ειρήνη του Πέτρου με Αριθμούς Μητρώων 07104017 και 07104057 αντίστοιχα. Η εργασία αυτή έχει ως **Αντικείμενο** την επέκταση της Γραμμής 2 του ΜΕΤΡΟ από Άγιο Αντώνιο έως Περιστερί και ως **Σκοπό** τη παρουσίαση των γεωτεχνικών, τεχνικογεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών και προβλημάτων που συναντήθηκαν κατά τη διάρκεια της μελέτης και κατασκευής του έργου.

Την Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή αποτελούν οι κ.κ. Κυρούσης Ιωάννης, Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π., Νομικός Παύλος, Λέκτορας Ε.Μ.Π. και Ρόζος Δημήτριος, Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π., με επιβλέποντα καθηγητή τον κ. Ρόζο Δήμητριο.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον καθηγητή μας κ. Ρόζο Δημήτριο για την πολύτιμη βοήθεια που μας έδωσε έτσι ώστε να πραγματοποιήσουμε τη συγκεκριμένη εργασία. Ακόμη, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την εταιρία Αττικό Μετρό Α.Ε. για την παροχή πληροφοριών σχετικά με την επέκταση καθώς και τους μελετητές της Αττικό Μετρό οι οποίοι μας βοήθησαν να αποκωδικοποιήσουμε τις πληροφορίες που μας έδωσε η εταιρία. Τέλος, ευχαριστούμε τον επιβλέποντα Πολιτικό Μηχανικό της επέκτασης κ. Κώστα Κονδύλη για την παροχή φωτογραφικού υλικού καθώς και για τις πληροφορίες που μας έδωσε σχετικά με το έργο.

## ΣΥΝΟΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την επέκταση της Γραμμής 2 του Μετρό από το Σταθμό Αγίου Αντωνίου έως το Σταθμό Περιστερίου. Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η λεπτομερής ανάλυση των γεωτεχνικών, τεχνικογεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών που συναντήθηκαν κατά τη διάρκεια της μελέτης και κατασκευής του έργου. Ακόμα, η εργασία αυτή ασχολείται και με τα τυχόν προβλήματα που θα προέκυπταν κατά τη διάρκεια της κατασκευής καθώς και με τα μέτρα που πάρθηκαν ώστε να αποφευχθούν τα προβλήματα αυτά.

Πιο συγκεκριμένα, στην εργασία αναφέρονται οι γεωλογικές συνθήκες της περιοχής γύρω από την επέκταση. Οι συνθήκες αυτές προέκυψαν από γεωτρήσεις που έγιναν στην περιοχή γύρω από το έργο τόσο κατά τη διάρκεια της μελέτης για το συγκεκριμένο έργο όσο και από γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν παλαιότερα για άλλους σκοπούς. Ακολουθεί περιγραφή των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις των πιεζομέτρων που τοποθετήθηκαν στις γεωτρήσεις και προκύπτουν τα επίπεδα της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα στη περιοχή του έργου.

Στη συνέχεια, γίνεται παρουσίαση των γεωτεχνικών συνθηκών του έργου. Οι γεωτεχνικές συνθήκες προέκυψαν από δοκιμές, που εκτελέστηκαν από την Αττικό Μετρό Α.Ε., μέσα στις γεωτρήσεις και τα αποτελέσματα των δοκίμων αυτών βοήθησαν ώστε να ομαδοποιηθούν οι σχηματισμοί που απαρτίζουν το έργο, ανάλογα με τη γεωμηχανική τους συμπεριφορά, σε γεωλογικές ενότητες. Στη συνέχεια της εργασίας παρουσιάζονται οι παράμετροι διατμητικής αντοχής και παραμορφοσιμότητας των γεωλογικών ενοτήτων και γίνεται παρουσίαση των γεωτεχνικών προσομοιωμάτων κάθε τμήματος του έργου έτσι ώστε να γίνεται σαφές από ποιές γεωλογικές ενότητες απαρτίζεται κάθε ένα από αυτά.

Τα τελευταία κεφάλαια της εργασίας παρουσιάζουν τα μέτρα προσωρινής αντιστήριξης που πάρθηκαν για κάθε τμήμα του έργου καθώς και τον τρόπο κατασκευής τους. Γίνεται αναφορά σε προβλήματα που τυχόν θα προέκυπταν κατά τη διάρκεια της κατασκευής του έργου. Δίνονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων που

πραγματοποίησε η Αττικό Μετρό για την ποσοτικοποίηση των συγκεκριμένων προβλημάτων καθώς και τα μέτρα που προβλέφθηκαν για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών.

Τέλος, εξάγονται ορισμένα συμπεράσματα όπου αξιολογούνται οι γεωτεχνικές και οι υδρογεωλογικές συνθήκες που συναντήθηκαν, σχολιάζεται ο τρόπος αντιμετώπισης των τυχόν προβλημάτων και συγκρίνονται αυτά που προβλέφθηκαν στη μελέτη σε σχέση με αυτά που τελικά έγιναν κατά τη κατασκευή του έργου.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την παρουσίαση και την εμπειριστατωμένη ανάλυση των τεχνικογεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών που συναντήθηκαν κατά τη μελέτη και κατασκευή του έργου επέκτασης της Γραμμής 2 του Αττικού μετρό (τμήμα Αγ. Αντώνιος – Περιστέρι). Ακόμα, αναφέρεται στα μέτρα προσωρινής υποστήριξης και τη μεθοδολογία κατασκευής κάθε τμήματος του έργου, από το στάδιο των υπολογισμών έως αυτό της δομητικής παρακολούθησης της κατασκευής.

Για την υλοποίηση της συγκεκριμένης επέκτασης πραγματοποιήθηκαν εκτεταμένες γεωτεχνικές έρευνες και αξιολογήθηκε πλήθος στοιχείων με σκοπό να προσδιοριστεί το γεωλογικό και υδρογεωλογικό καθεστώς της ευρύτερης περιοχής. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είχαν σαν συνέπεια την ομαδοποίηση των σχηματισμών σε ομάδες με χαρακτηριστικές ιδιότητες (διαπερατότητα, διατμητική αντοχή, παραμορφωσιμότητα).

Στο δεύτερο κομμάτι της εργασίας παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα επιμέρους τμήματα του έργου και περιγράφεται λεπτομερώς το εφαρμοσθέν σύστημα προσωρινής υποστήριξης κάθε τμήματος, οι παραδοχές σχεδιασμού που ελήφθησαν υπόψη, η μεθοδολογία κατασκευής του, ενώ ειδικότερα για τη σήραγγα υπόγειας διάνοιξης γίνεται διαστασιολόγηση των μέτρων αυτών.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν δίνονται συγκεντρωτικά στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας.

## **ABSTRACT**

This dissertation engages in the presentation and thorough examination of the engineering geological and hydrogeological conditions met during the study and construction of the extension of Line 2 of Athens Metro (Ag. Antonios Station to Peristeri Station). Furthermore, it deals with the initial supporting measures applied and the construction methodology followed in each part of the project, from the point of analysis to that of geotechnical monitoring of the construction.

For the materialization of the examined project, extended geotechnical researches were conducted and numerous data was evaluated in order to determine the geological and hydrogeological status of the broader region. The information gathered resulted in the grouping of the rock and soil formations found, in categories with distinct characteristics (permeability, shear strength, distortion degree).

In the second part of this paper, a circumstantial account of each section of the project is made, while the initial supporting system, planning principles taken into consideration, construction sequence and especially support design of the double – track tunnel are all meticulously described.

Conclusions that were drawn sum up in the last chapter of the paper.

## Πίνακας Περιεχομένων

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	21
1.1	Η «ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.» και το έργο της (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ, 2007) .....	21
1.2	Μέθοδοι κατασκευής που χρησιμοποιεί το μετρό (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ, 2007).....	26
	<i>Εικόνα 1.4: Μηχάνημα σημειακής κοπής (Open Face Shield – OFS) (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ, 2007).....</i>	<i>27</i>
1.3	Η διάρκεια ζωής των έργων του μετρό Αθηνών (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ, 2007) .....	29
1.4	Τα έργα επέκτασης από Αγ. Αντώνιο έως Ανθούπολη (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ, 2007)	29
2	ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΕΡΕΥΝΑΣ (ΑΡΧΕΙΟ ΔΗΜΟΥ ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ).....	40
2.1	Ιστορία του Δήμου .....	40
2.2	Πληθυσμιακά Στοιχεία (site Δήμου Περιστερίου) .....	42
	<i>Εικόνα 2.4: Η θέση του Δήμου Περιστερίου στο Νομό Αττικής. (site Δήμου Περιστερίου) ..</i>	<i>42</i>
2.3	Σύντομη περιγραφή αρχαιολογικών ευρημάτων (Αρχείο Δήμου Περιστερίου) .....	43
2.4	Χρήσεις της περιοχής έρευνας (Αρχείο Δήμου Περιστερίου).....	43
	2.4.1 Λιγνιτωρυχεία Περιστερίου.....	43
	2.4.2 Γεωμετρία του κοιτάσματος.....	48
2.5	Σύγχρονες έρευνες στην περιοχή των παλαιών λιγνιτωρυχείων (Αττικό Μετρό, 2007)	50
3	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΠΟΥ ΥΠΑΡΧΟΥΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ (Εκθεση Μελέτης Γραφείου, Αττικό Μετρό, 2007) .....	53
3.1	Τερματικό Φρέαρ .....	53
3.2	Περιοχή Σταθμού ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ .....	53
3.3	Περιοχή Κατασκευής Σήραγγας.....	54
4	Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ (Εκθεση Μελέτης Γραφείου, Αττικό Μετρό, 2007).....	55
4.1	Μορφολογία περιοχής του έργου .....	55
4.2	Περιγραφή στενής περιοχής του έργου .....	56
5	ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΟΠΟΙΑΔΗΠΟΤΕ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΠΟΥ ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΩΣ ΝΑ ΕΙΧΑΝ ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΣΤΟ ΕΡΓΟ (Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Γεωτεχνικών Ερευνών, Αττικό Μετρό, 2007) .....	58
5.1	Γενικά .....	58
5.2	Τεκτονική .....	64
6	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007) .....	66

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ  
ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)



6.1	Υδρογραφικό δίκτυο.....	66
6.2	Υδρογεωλογικές συνθήκες.....	66
6.3	Μετρήσεις και δοκιμές στις ανορυχθείσες γεωτρήσεις.....	68
6.3.1	Διακύμανση στάθμης γεωτρήσεων.....	68
6.3.2	Στάθμη Πιεζομέτρων.....	72
6.3.3	Δοκιμές Air-Lift .....	74
6.3.4	Δοκιμές υδροπερατότητας Maag.....	75
6.3.5	Δοκιμές Εισπίεσης Lugeon.....	78
6.4	Συμπεράσματα από δοκιμές υδροπερατότητας για τους σχηματισμούς .....	91
6.4.1	Επιχώσεις.....	91
6.4.2	Κροκαλοπαγή .....	91
6.4.3	Αποσαθρωμένος ασβεστιτικός μεταψαμμίτης.....	92
6.4.4	Ισχυρός Ασβεστιτικός μεταψαμμίτης.....	92
6.4.5	Μεταψαμμίτης.....	93
6.4.6	Τεκτονικό Μεταψαμμιτικό Λατυποπαγές .....	95
6.4.7	Μεταϊλύλιθος - Αργιλικός σχιστόλιθος.....	95
6.4.8	Αποσαθρωμένη και υγιής μάργα .....	96
6.5	Υδροχημεία .....	105
7	ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ (Έκθεση Μελέτης Γραφείου, Αττικό Μετρό, 2007) .....	107
7.1	Σεισμική Επικινδυνότητα Εδάφους.....	107
7.2	Συντελεστής Σεισμικής Επιβάρυνσης .....	108
8	ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ .....	109
8.1	Αξιολογηθείσες Γεωτρήσεις για κάθε τμήμα του έργου .....	109
8.2	Γεωτεχνική ταξινόμηση των σχηματισμών που συναντήθηκαν.....	111
8.3	Παράμετροι διατμητικής αντοχής και παραμορφωσιμότητας σχηματισμών .....	113
8.4	Γεωτεχνικές ταξινομήσεις βραχομάζας (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	121
8.4.1	Εκτίμηση του δείκτη γεωλογικής αντοχής GSI.....	121
8.4.2	Ταξινόμηση κατά Bieniawski (Σύστημα RMR - 1989).....	124
8.4.3	Ταξινόμηση κατά Barton (Σύστημα Q - 1974).....	124
9	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ – ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗ (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007) .....	126
9.1	Υφισταμένη Κατάσταση .....	126
9.2	Συνοπτική Περιγραφή των Έργων .....	126
9.3	Κριτήρια Σχεδιασμού Προσωρινής Αντιστήριξης .....	130

9.4	Γενική Περιγραφή Συστήματος Προσωρινής Αντιστήριξης.....	131
9.4.1	Τμήμα Ανοικτής Εκσκαφής.....	131
9.4.2	Μέτωπο Εισόδου (C&C2).....	134
9.4.3	Μέτωπο Υπογείου .....	135
9.4.4	Φρέατα Αναλκυστήρων.....	138
9.5	Μεθοδολογία ανάλυσης και υπολογισμών.....	139
9.5.1	Ελαστοπλαστικές Αναλύσεις – Γενικά.....	139
9.5.2	Χαρακτηριστικά Διατμητικής Αντοχής και Παραμορφωσιμότητας .....	140
9.5.3	Βήματα Υπολογισμού .....	141
9.5.4	Αποτελέσματα Υπολογισμών.....	145
9.5.5	Αναλύσεις Ευστάθειας Μετώπου Σήραγγας Υπόγειου Τμήματος Σταθμού. ....	147
9.6	Μεθοδολογία Κατασκευής.....	148
9.6.1	Σταθμός .....	149
9.6.2	Μέτωπα εισόδου και υπογείου .....	150
9.6.3	Γεωτεχνική και Δομητική Παρακολούθηση.....	151
10	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ – ΤΜΗΜΑ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008) .....	157
10.1	Εισαγωγή.....	157
10.2	Σύστημα Υποστήριξης και Ακολουθία Κατασκευής .....	158
10.3	Παραδοχές Σχεδιασμού .....	183
10.3.1	Κανονισμοί.....	183
10.3.2	Φορτία .....	184
10.3.3	Υλικά.....	184
10.3.4	Επιτρεπόμενες παραμορφώσεις.....	185
10.4	Μεθοδολογία ανάλυσης & υπολογισμών.....	185
10.4.1	Ανάλυση.....	185
10.4.2	Θεώρηση αποστράγγισης.....	187
10.4.3	Προσδιορισμός των συντελεστών αποτόνωσης.....	188
10.4.4	Απευθείας εκσκαφή και εγκατάσταση κελύφους εκτοξευόμενου σκυροδέματος 190	
10.4.5	Φορτία επιφάνειας.....	190
10.4.6	Μεθοδολογία ελέγχων και διαστασιολόγησης.....	191
11	ΣΗΡΑΓΓΑ ΔΙΠΛΗΣ ΤΡΟΧΙΑΣ.....	195
11.1	Υφιστάμενη Κατάσταση (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) 195	

11.2	Συνοπτική περιγραφή των προβλεπομένων έργων ( <i>Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007</i> ) .....	195
11.3	Η Μέθοδος NATM ( <i>Αττικό Μετρό, 2007</i> ).....	196
11.4	Υδατοστεγανότητα ( <i>Αττικό μετρό 2007</i> ) .....	200
11.5	Σχεδιασμός προσωρινής αντιστήριξης ( <i>Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007</i> ) .....	201
11.5.1	Μεθοδολογία σχεδιασμού προσωρινής αντιστήριξης της σήραγγας .....	202
11.5.2	Κριτήρια Σχεδιασμού - Παραδοχές.....	203
11.5.3	Γεωμετρία υπόγειας εκσκαφής.....	204
11.5.4	Μηχανισμοί αστοχίας οροφής και παρειών.....	205
11.6	Επιλογή μέτρων άμεσης υποστήριξης ( <i>Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007</i> ) .....	205
11.7	Τυπικές διατομές άμεσης υποστήριξης σήραγγας ( <i>Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007</i> ) .....	206
11.7.1	Τυπική διατομή εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης I .....	207
11.7.2	Τυπική διατομή εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης II.....	208
11.7.3	Τυπική διατομή εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης III.....	208
11.8	Μεθοδολογία εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης ( <i>Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007</i> ) .....	210
11.8.1	Μεθοδολογία κατασκευής άμεσης υποστήριξης τυπικής διατομής I.....	211
11.8.2	Μεθοδολογία κατασκευής άμεσης υποστήριξης τυπικής διατομής II.....	212
11.8.3	Μεθοδολογία κατασκευής άμεσης υποστήριξης τυπικής διατομής III .....	215
11.9	Μέθοδος εκσκαφής στον θάλαμο πρόσβασης ( <i>Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007</i> ) .....	221
11.10	Μεθοδολογία κατασκευής σήραγγας διπλής τροχιάς από τον θάλαμο πρόσβασης ( <i>Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007</i> ).....	222
11.11	Πρόσθετα μέτρα άμεσης υποστήριξης ( <i>Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007</i> ) .....	224
11.11.1	Εφαρμογή πρόσθετων μέτρων άμεσης προσωρινής υποστήριξης τυπικής διατομής I	224
11.11.2	Εφαρμογή πρόσθετων μέτρων άμεσης προσωρινής υποστήριξης τυπικής διατομής II	225
11.11.3	Εφαρμογή πρόσθετων μέτρων άμεσης προσωρινής υποστήριξης τυπικής διατομής III.....	225
11.11.4	Εφαρμογή πρόσθετων μέτρων άμεσης προσωρινής υποστήριξης για τη Κατασκευή της σήραγγας διπλής τροχιάς από το θάλαμο πρόσβασης .....	226
11.12	Έλεγχος επάρκειας και διαστασιολόγηση επιμέρους κατασκευών ( <i>Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007</i> ) .....	226

11.12.1	Διαστασιολόγηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος.....	226
11.12.2	Διαστασιολόγηση αγκυρίων.....	228
11.12.3	Διαστασιολόγηση πεδילוδοκού έδρασης (Elephant Foot) .....	229
11.12.4	Διαστασιολόγηση δοκών προπορείας.....	234
11.12.5	Διαστασιολόγηση μικροπασσάλων .....	236
11.13	Έλεγχοι ευστάθειας (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .	242
11.13.1	Έλεγχος ευστάθειας σήραγγας με το πρόγραμμα ROCSUPPORT .....	242
11.13.2	Έλεγχος Ευστάθειας Μετώπου Σήραγγας.....	251
11.13.3	Ανάληση ευστάθειας σφηνών .....	256
11.14	Γεωτεχνική και δομητική παρακολούθηση της συμπεριφοράς της σήραγγας (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007).....	258
11.14.1	Περιγραφή οργάνων - συχνότητα μετρήσεων συστήματος ΓΔΠ.....	258
11.14.2	Σχέδιο αντιμετώπισης εκτάκτων καταστάσεων.....	260
11.14.3	Αξιοποίηση μετρήσεων στην περίμετρο της σήραγγας.....	261
11.14.4	Αξιοποίηση Μετρήσεων Στην Επιφάνεια .....	261
11.14.5	Καθορισμός Ορίων Επιφυλακής Και Συναγερμού.....	263
12	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	267
13	Βιβλιογραφία (αλφαβητικά) .....	270

### ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 6.1: Στάθμες υπόγειων νερών σε φρέατα (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007) .....	69
Πίνακας 6.2: Ημερήσιες στάθμες γεωτρήσεων (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007) .....	70
Πίνακας 6.3: Στάθμες πιεζομέτρων (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007) ...	73
Πίνακας 6.4: Στοιχεία επαναφοράς στάθμης με την διαδικασία air-lift (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007) .....	75
Πίνακας 6.5: Στοιχεία επαναφοράς στάθμης τύπου MAAG σε πιεζόμετρα (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007) .....	75
Πίνακας 6.6: Αποτελέσματα δοκιμών υδροπερατότητας τύπου MAAG (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007) .....	76
Πίνακας 6.7: Δοκιμές εισπίεσης LUGEON (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007) .....	79
Πίνακας 6.8 : Τιμές συντελεστή υδροπερατότητας για τα κροκαλοπαγή. (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007) .....	91
Πίνακας 6.9: Τιμές συντελεστή υδροπερατότητας για τον αποσαθρωμένο ασβεστίτικο μεταψαμμίτη. (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007) .....	92
Πίνακας 6.10 Τιμές συντελεστή υδροπερατότητας για τον ισχυρό ασβεστίτικο μεταψαμμίτη (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007) .....	93
Πίνακας 6.11: Τιμές συντελεστή υδροπερατότητας για τον μεταψαμμίτη. (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007) .....	94
Πίνακας 6.12: Τιμές συντελεστή υδροπερατότητας για το τεκτονικό μεταψαμμιτικό λατυποπαγές. (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007).....	95
Πίνακας 6.13: Τιμές συντελεστή υδροπερατότητας για τον μεταίλυόλιθο - αργιλικό σχιστόλιθο. (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007).....	96
Πίνακας 6.14 : Τιμές συντελεστή υδροπερατότητας για την αποσαθρωμένη μάργα (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007) .....	97
Πίνακας 6.15: Τιμές συντελεστή υδροπερατότητας για την υγιή μάργα (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007) .....	97
Πίνακας 6.16: Βάθος ορίων γεωλογικών σχηματισμών (Σήραγγα – Φρέαρ Πρόσβασης) (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007) .....	100
Πίνακας 6.17: Βάθος ορίων γεωλογικών σχηματισμών (Σταθμός Περιστερί) (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007) .....	100
Πίνακας 6.18: Βάθος ορίων γεωλογικών σχηματισμών (Σταθμός Περιστερί) (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007) .....	101
Πίνακας 6.19: Χαρακτηριστικές τιμές Υδροπερατότητας – Μεταβιβαστικότητας (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007) .....	102
Πίνακας 6.6.20: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων υδάτων για τον υπόγειο τμήμα του σταθμού. (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007).....	105
Πίνακας 6.6.21: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων υδάτων για τη σήραγγα διπλής τροχιάς. (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007) .....	105
Πίνακας 7.1.: Κατηγορίες σεισμικής επικινδυνότητας εδαφών. ....	107
Πίνακας 8.1: Στοιχεία αξιολογηθισών γεωτρήσεων για το υπόγειο τμήμα του σταθμού. (Ε.Γ.Α Υπόγειου Τμήματος Σταθμού, Αττικό Μετρό, 2007) .....	109

Πίνακας 8.2: Στοιχεία αξιολογηθεισών γεωτρήσεων για το τμήμα της σήραγγας διπλής τροχιάς. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007) .....	110
Πίνακας 8.3: Στοιχεία αξιολογηθεισών γεωτρήσεων για το τμήμα ανοικτής εκσκαφής του σταθμού. (Ε.Γ.Α Ανοικτής Εκσκαφής Σταθμού, Αττικό Μετρό, 2007).....	110
Πίνακας 8.4: Μήκη εφαρμογής γεωτεχνικών κατηγοριών κατά μήκος της σήραγγας συναρτήσεως του δείκτη γεωλογικής αντοχής (GSI) .....	123
Πίνακας 8.5: Μήκη εφαρμογής γεωτεχνικών κατηγοριών κατά μήκος της σήραγγας, συναρτήσεως των δεικτών GSI, RMR, Q.....	125
Πίνακας 9.1: Αποτελέσματα ελαστοπλαστικών αναλύσεων για το τμήμα του Σταθμού γειτονικά του Ι.Ν. Ευαγγελίστριας και του μετώπου εισόδου. (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007) .....	145
Πίνακας 9.2: Αποτελέσματα ελαστοπλαστικών αναλύσεων για τμήμα του Σταθμού γειτονικά του Ι.Ν. Ευαγγελίστριας και της περιοχής C&C προς το Δυτικό Φρέαρ. (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007) .....	145
Πίνακας 9.3: Αποτελέσματα ελαστοπλαστικών αναλύσεων για το τμήμα που αφορά στην παρειά που γειτονεύει με το Δημαρχείο και ορισμένους «ελεύθερους» πασσάλους (που δε φέρουν φορτία αντηρίδων). (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007) .....	145
Πίνακας 9.4: Αποτελέσματα ελαστοπλαστικών αναλύσεων για το τμήμα εισόδου (τεχνικό C&C2) (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007) .....	146
Πίνακας 9.5: Συχνότητα και διάρκεια μετρήσεων προγράμματος ΓΔΠ. (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007) .....	152
Πίνακας 9.6: Μέγιστες αναμενόμενες παραμορφώσεις σύμφωνα με τη μελέτη. (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007) .....	154
Πίνακας 9.7: Αποτελέσματα ελαστοπλαστικών αναλύσεων – Αντιστήριξη με αντηρίδες και αγκύρια. (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007) .....	155
Πίνακας 9.8: Αποτελέσματα ελαστοπλαστικών αναλύσεων – Αντιστήριξη με προεντεταμένα αγκύρια. (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007).....	155
Πίνακας 10.1: Περιοριστικές τιμές των παραμορφώσεων. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008) .....	185
Πίνακας 11.1: Βήμα εκσκαφής (σε m). (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007) .....	210
Πίνακας 11.2: Εντατικά μεγέθη στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007) .....	228
Πίνακας 11.3: Επιτρεπόμενη φέρουσα ικανότητα των αγκυρίων (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007) .....	229
Πίνακας 11.4: Μέγιστο κατανεμημένο φορτίο στη πεδילוδοκό με πλαίσια ανά 1.50 (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007) .....	233
Πίνακας 11.5: Μέγιστο κατανεμημένο φορτίο στη πεδילוδοκό με πλαίσια ανά 1.00 (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007) .....	233
Πίνακας 11.6: Μέγιστα εντατικά μεγέθη στην πεδילוδοκό. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007) .....	233

Πίνακας 11.7: Μέγιστα εντατικά μεγέθη στις δοκούς προπορείας (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	236
Πίνακας 11.8: Σημεία του διαγράμματος αλληλεπίδρασης (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	240
Πίνακας 11.9: Αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχομάζας - υποστήριξης για σήραγγα ακτίνας $R = 3.76$ m τυπική διατομή I- γεωτεχνικό προσομοίωμα Da1 & Da2. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	245
Πίνακας 11.10: Αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχομάζας - υποστήριξης για σήραγγα ακτίνας $R = 3.76$ m τυπική διατομή I- γεωτεχνικό προσομοίωμα Db. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	245
Πίνακας 11.11: Αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχομάζας - υποστήριξης για σήραγγα ακτίνας $R = 3.76$ m τυπική διατομή II- γεωτεχνικό προσομοίωμα Db. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	246
Πίνακας 11.12: Αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχομάζας - υποστήριξης για σήραγγα ακτίνας $R = 3.76$ m τυπική διατομή II- γεωτεχνικό προσομοίωμα Da2. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007).....	246
Πίνακας 11.13: Αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχομάζας - υποστήριξης για σήραγγα ακτίνας $R = 4.76$ m τυπική διατομή I- γεωτεχνικό προσομοίωμα Da1 & Da2. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	247
Πίνακας 11.14: Αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχομάζας - υποστήριξης για σήραγγα ακτίνας $R = 4.76$ m τυπική διατομή I- γεωτεχνικό προσομοίωμα Db. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	247
Πίνακας 11.15: Αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχομάζας - υποστήριξης για σήραγγα ακτίνας $R = 4.76$ m τυπική διατομή II- γεωτεχνικό προσομοίωμα Db. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	248
Πίνακας 11.16: Αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχομάζας - υποστήριξης για σήραγγα ακτίνας $R = 4.76$ m τυπική διατομή II- γεωτεχνικό προσομοίωμα Da2 (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007).....	248
Πίνακας 11.17: Αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχομάζας - υποστήριξης για σήραγγα ακτίνας $R = 4.66$ m τυπική διατομή III- γεωτεχνικό προσομοίωμα Da3, Dc1, Dc2 (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	250
Πίνακας 11.18: Αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχομάζας - υποστήριξης για σήραγγα ακτίνας $R = 5.51$ m τυπική διατομή III- γεωτεχνικό προσομοίωμα Da3, Dc1, Dc2 (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	250
Πίνακας 11.19: Τύποι οργάνων γεωτεχνικής & δομητικής παρακολούθησης (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	258
Πίνακας 11.20: Συχνότητα και διάρκεια μετρήσεων προγράμματος ΓΔΠ. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	260
Πίνακας 11.21: Τιμές αναμενόμενων μετατοπίσεων στην επιφάνεια (όρια αναφοράς). (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	263
Πίνακας 11.22: Τιμές των ορίων επιφυλακής και συναγερμού τυπική διατομή I. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	264

Πίνακας 11.23: Τιμές των ορίων επιφυλακής και συναγερμού τυπική διατομή II. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	265
Πίνακας 11.24: Τιμές των ορίων επιφυλακής και συναγερμού τυπική διατομή III. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	265
Πίνακας 11.25: Λήψη μέτρων έκτακτης ανάγκης σύμφωνα με τις τιμές ορίων) επιφυλακής. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	266
Πίνακας 11.26:Επιτρεπόμενη σύγκλιση. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	266



## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Χάρτης του Αττικού Μετρό. (site Αττικό μετρο) .....	23
Εικόνα 1.2: Χάρτης του Μετρό Θεσσαλονίκης. (site Αττικό μετρο).....	25
Εικόνα 1.3: Μηχάνημα ολομέτωπης κοπή(TBM). (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ, 2007).....	26
Εικόνα 1.4: Μηχάνημα σημειακής κοπής (Open Face Shield – OFS) (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ, 2007).....	27
Εικόνα 1.5: Γενική αεροφωτογραφία της περιοχής του έργου με την χάραξη της επέκτασης της Γραμμής 2. (Google Earth).....	31
Εικόνα 1.6: Αεροφωτογραφία της περιοχής κατασκευής του σταθμού ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ. (Google Earth).....	33
Εικόνα 1.7: Αεροφωτογραφία της περιοχής κατασκευής της σήραγγας από την αρχή έως το Φρέαρ Πρόσβασης. (Google Earth).....	34
Εικόνα 1.8: Αεροφωτογραφία της περιοχής κατασκευής της σήραγγας και του Φρέατος Πρόσβασης έως τον σταθμό ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ. (Google Earth).....	35
Εικόνα 1.9: Αεροφωτογραφία της περιοχής κατασκευής του σταθμού ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ. (Google Earth).....	38
Εικόνα 1.10: Αεροφωτογραφία της περιοχής κατασκευής του Τερματικού Φρέατος. (Google Earth).....	39
Εικόνα 2.1: Γενική άποψη του Δήμου Περιστερίου (1935). .....	40
Εικόνα 2.2: Γενική άποψη του Δήμου Περιστερίου (1935). .....	41
Εικόνα 2.3: Άποψη του πρώτου Δημαρχείου του Δήμου Περιστερίου. ....	41
Εικόνα 2.4: Η θέση του Δήμου Περιστερίου στο Νομό Αττικής. (site Δήμου Περιστερίου).....	42
Εικόνα 2.5: Σχέδιο υπόγειων εργασιών εξόρυξης στο λιγνιτωρυχείο του Περιστερίου το 1940 (Γ. Βορεάδης 1940) .....	44
Εικόνα 2.6: Σχέδιο ανοικτών υπόγειων εργασιών εξόρυξης στο λιγνιτωρυχείο του Περιστερίου κατά τον Ιανουάριο του 1949. (Τρικκαληνός, Μούσουλος, 1949).....	46
Εικόνα 2.7: Γεωλογικός και Τεκτονικός χάρτης των διαφόρων πατωμάτων και εγκάρσιες τομές του λιγνιτωρυχείου του Περιστερίου. (Τρικκαληνός, Μούσουλος, 1949). ....	47
Εικόνα 2.8: Σχέδιο των υπογείων στοών και απόλυτο υψόμετρο αυτών. (De Pian, 1949). ....	48
Εικόνα 2.9: Χάρτης ισοϋψών της οροφής του κυρίου λιγνιτικού ορίζοντα. ....	51
Εικόνα 5.1: Γεωλογικός χάρτης της νοτιοανατολικής Αττικής και γεωλογική τομή των σχηματισμών της περιοχής.....	59
Εικόνα 5.2: Γεωλογικός χάρτης περιοχής όπου διενεργήθηκε η μελέτη (ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ, Φύλλο ΑΘΗΝΑΙ – ΕΛΕΥΣΙΣ / ΙΓΜΕ 1986 – κλίμακα 1:50.000). ....	64
Εικόνα 8.1: γεωτεχνικό προσομοίωμα Db .....	117
Εικόνα 8.2: γεωτεχνικό προσομοίωμα Da1 .....	117
Εικόνα 8.3: γεωτεχνικό προσομοίωμα Da2.....	118
Εικόνα 8.4: γεωτεχνικό προσομοίωμα Da3.....	118
Εικόνα 8.5: γεωτεχνικό προσομοίωμα Dc1.....	119
Εικόνα 8.6: γεωτεχνικό προσομοίωμα Dc2.....	119
Εικόνα 8.7: Γεωτεχνικό προσομοίωμα για το υπόγειο τμήμα του σταθμού. ....	120

Εικόνα 8.8: Γεωτεχνικό προσομοίωμα για το τμήμα ανοικτής εκσκαφής του σταθμού. .....	121
Εικόνα 9.1: Αντηρίδα εδραζόμενη επί του έγχυτου κεφαλόδεσμου. Τα κενά πληρώνονται με πολυουραιθάνη (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό).....	132
Εικόνα 9.2: Τοποθέτηση τεσσάρων σειρών σωληνωτών αντηρίδων στο τμήμα της εκσκαφής που γειτνιάζει με τον Ι.Ν. Ευαγγελίστριας. Η πρώτη σειρά έχει τοποθετηθεί επί του κεφαλόδεσμου. (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό).....	133
Εικόνα 9.3: Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Διακρίνεται το δομικό πλέγμα. (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό) .....	138
Εικόνα 9.4: Αγκύρια και δομικό πλέγμα πριν την τοποθέτησή τους (στο φόντο ο Ι.Ν. Ευαγγελίστριας). (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό) .....	139
Εικόνα 10.1: Διαδικασία τοποθέτησης δοκών προπορείας στο θόλο του υπόγειου τμήματος του Σταθμού. (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό).....	164
Εικόνα 10.2: Τοποθετημένοι δοκοί προπορείας (forepoling) πριν την εκσκαφή του θόλου της σήραγγας υπογείου τμήματος του Σταθμού. (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό) .....	165
Εικόνα 10.3: Διάνοιξη 1 <sup>ης</sup> φάσης. (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό) .....	166
Εικόνα 10.4: Προσωρινό ενδιάμεσο τοίχωμα. Διακρίνονται οι ηλώσεις υαλοινών. (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό) .....	167
Εικόνα 10.5: Διάνοιξη 2 <sup>ης</sup> Φάσης. (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό) .....	167
Εικόνα 10.6: Εκσκαφή βαθμίδας (3 <sup>η</sup> Φάση). (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό) .	168
Εικόνα 10.7: Ολοκληρωμένη διατομή του υπόγειου τμήματος του Σταθμού. (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό) .....	176
Εικόνα 11.1: Οριζοντιογραφία περιοχής και θέσεις γεωτρήσεων Σήραγγας Διπλής Τροχιάς. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007) .....	195
Εικόνα 11.2: Μηχανικός εκσκαφέας. (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό) .....	198
Εικόνα 11.3: Σύστημα υδατοστεγάνωσης στη σήραγγα διπλής τροχιάς του έργου. (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό) .....	201
Εικόνα 11.4: Σύστημα προσωρινής αντιστήριξης (δομικό πλέγμα και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα). (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό).....	219
Εικόνα 11.5: Αγκύρια περιμετρικά του θόλου της σήραγγας διπλής τροχιάς. (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό) .....	219
Εικόνα 11.6: Διάταξη δομικού πλέγματος πριν την εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος. (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό) .....	220
Εικόνα 11.7: Τοποθέτηση πεδιλοδοκού (elephant foot). (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό) .....	220
Εικόνα 11.8: Δοκοί προπορείας (forepoling). (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό)	221
Εικόνα 11.9: Είσοδος από το φρέαρ πρόσβασης στη σήραγγα διπλής τροχιάς. (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό) .....	222

## ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Διαγραμματική απεικόνιση των τμημάτων του έργου επέκτασης από Αγ. Αντώνιο προς Ανθούπολη. ....	30
Σχήμα 6.1: Στάθμες Γεωτρήσεων – Σταθμός Περιστερί (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007) .....	104
Σχήμα 9.1: Οριζοντιογραφία Περιοχής Σταθμού ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ. Θέσεις Γεωτρήσεων Ανοικτού Ορύγματος του σταθμού. (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007) .....	128
Σχήμα 9.2.: Κάτοψη Πασσάλων Μετώπου Εισόδου C&C2. (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007) .....	129
Σχήμα 9.3: Κάτοψη Πασσάλων Μετώπου Εισόδου C&C2. (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007) .....	129
Σχήμα 9.4: Θέσεις εργοταξιακών γερανών. (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007) .....	144
Σχήμα 10.1: Οριζοντιογραφία του έργου. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008).....	160
Σχήμα 10.2: Κατά μήκος τομή του έργου. (Μελέτη Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008).....	161
Σχήμα 10.3: Διατομή τμήματος σταθμού υπόγειας διάνοιξης (μέση διατομή προσωρινής υποστήριξης) (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008) .....	162
Σχήμα 10.4: Γεωμετρικά στοιχεία ελάχιστης διατομής. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008) .....	169
Σχήμα 10.5: Γεωμετρικά στοιχεία μέγιστης διατομής. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008) .....	170
Σχήμα 10.6: Εγκάρσια τομή εκσκαφής κατά τη Φάση 1. Διακρίνονται τα μέτρα υποστήριξης. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008).....	171
Σχήμα 10.7: Κατά μήκος τομή της εκσκαφής κατά τη Φάση 1. Διακρίνονται τα μέτρα υποστήριξης. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008) .....	172
Σχήμα 10.8: Εγκάρσια τομή της εκσκαφής κατά τη Φάση 2. Διακρίνονται τα μέτρα υποστήριξης. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008).....	173
Σχήμα 10.9: Κατά μήκος τομή της εκσκαφής κατά τη Φάση 2. Διακρίνονται τα μέτρα υποστήριξης. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008).....	174
Σχήμα 10.10: Εγκάρσια τομή της εκσκαφής βαθμίδας (Φάση 3). Διακρίνονται τα μέτρα υποστήριξης. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008) .....	177
Σχήμα 10.11: Κατά μήκος τομή της εκσκαφής βαθμίδας (Φάση 3). Διακρίνονται τα μέτρα υποστήριξης. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008).....	178
Σχήμα 10.12: Εγκάρσια τομή της ολοκληρωμένης εκσκαφής (Φάση 4). Διακρίνονται τα μέτρα υποστήριξης. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008).....	179
Σχήμα 10.13: Κατά μήκος τομή της ολοκληρωμένης εκσκαφής (Φάση 4). Διακρίνονται τα μέτρα υποστήριξης. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008) .....	180
Σχήμα 10.14: Μετρήσεις διακύμανσης στάθμης υπογείου ύδατος (03-04-08). (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008) .....	189
Σχήμα 10.15: Διάγραμμα σύγκλισης – αποτόνωσης. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008) .....	192

Σχήμα 11.1: Τυπική διατομή της πεδילוδοκού έδρασης. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	231
Σχήμα 11.2: Απλοποιημένη διατομή της πεδילוδοκού έδρασης, στις θέσεις όπου υπάρχουν πλαίσια. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	232
Σχήμα 11.3: Στατικό μοντέλο και αρίθμηση των οπλισμών. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	232
Σχήμα 11.4: Ζεύγη Αξονικής-Ροπής από τους υπολογισμούς (προσαυξημένα κατά 40%). (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	237
Σχήμα 11.5: Κατασκευή Περιβάλλουσας (Από EC-4, EN 1994-1-1:2004) (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	240
Σχήμα 11.6: Περιβάλλουσα και Εντατικά Μεγέθη (Κατά EC-4) (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	241
Σχήμα 11.7: Έλεγχος ευστάθειας μετώπου με τη μέθοδο του πρίσματος. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	254
Σχήμα 11.8: Θέσεις Των Ακίδων Μέτρησης Των Παραμορφώσεων. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007) .....	261

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Η «ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.» και το έργο της (Αττικό Μετρό, 2007)

Η «Αττικό Μετρό Α.Ε.» (Α.Μ.Α.Ε.) είναι μια σύγχρονη εταιρεία δημοσίου συμφέροντος, με προσωπικό υψηλής επιστημονικής κατάρτισης, η οποία με υπεύθυνο σχεδιασμό και συστηματική δουλειά υλοποιεί την ανάπτυξη του δικτύου του Μετρό της Αθήνας. Οι επεκτάσεις του Μετρό της Αθήνας αποτελούν σήμερα το σημαντικότερο υπό εκτέλεση συγκοινωνιακό έργο στο Λεκανοπέδιο Αττικής. Η Γραμμή 2 (Άγ. Αντώνιος – Άγ. Δημήτριος), μήκους 11,8 χλμ με 14 Σταθμούς συνδέει τα δυτικά με τα νότια προάστια της πρωτεύουσας, εξυπηρετώντας καθημερινά περισσότερους από 350.000 επιβάτες. Η Γραμμή 3 (Αιγάλεω – Δουκ. Πλακεντίας – Αεροδρόμιο), μήκους 39,2 χλμ με 14 Σταθμούς (συν 4 σταθμούς σε κοινή χρήση με τον Προαστιακό), συνδέει το ιστορικό κέντρο της πόλης με τα βόρεια προάστια και το Αεροδρόμιο, εξυπηρετώντας 300.000 επιβάτες σε ημερήσια βάση.

Εκτός από την άνεση, την ταχύτητα και αξιοπιστία των δρομολογίων του, το Μετρό της Αθήνας φημίζεται για τα εντυπωσιακά αρχαιολογικά εκθέματα στους κεντρικούς Σταθμούς του δικτύου του, καθώς και για τα έργα τέχνης διακεκριμένων καλλιτεχνών σχεδόν σε όλους τους Σταθμούς των Γραμμών 2 και 3. Αξίζει να σημειωθεί ότι χάρις στην κατασκευή του Μετρό της Αθήνας πραγματοποιήθηκε συνολικά μέχρι σήμερα η μεγαλύτερη αρχαιολογική ανασκαφή στην Πρωτεύουσα (79.000 τ.μ.) η οποία έφερε στο φως περισσότερα από 50.000 αρχαιολογικά ευρήματα από την νεολιθική περίοδο έως την σύγχρονη εποχή.

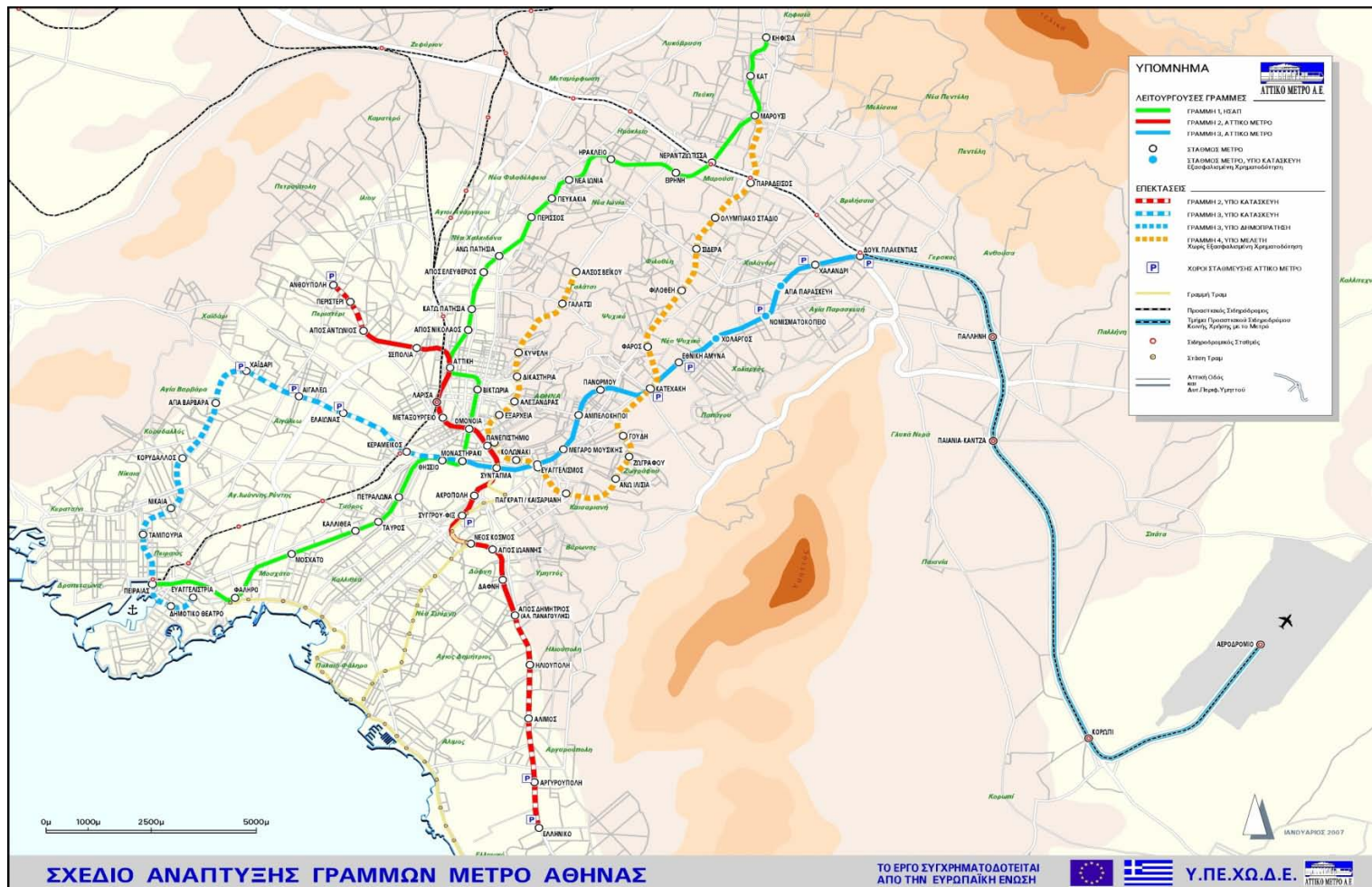
Μετά την επιτυχή ολοκλήρωση των επεκτάσεων που ήταν απαραίτητες για τους Ολυμπιακούς Αγώνες του 2004, η Αττικό Μετρό ΑΕ συνεχίζει την υλοποίηση ιδιαίτερα σημαντικών έργων με χρονοδιάγραμμα ολοκλήρωσης από το 2007 έως το 2010, με τα οποία οι υφιστάμενες Γραμμές του Μετρό επεκτείνονται συνολικά κατά 13 χλμ, 13 νέοι Σταθμοί εντάσσονται στο δίκτυο, ενώ παράλληλα πραγματοποιείται ουσιαστική βελτίωση του συστήματος για την εξυπηρέτηση ευρύτερων περιοχών με προσθήκη Σταθμών Μετεπιβίβασης από τα λεωφορεία και χώρων στάθμευσης για μετεπιβίβαση από τα ιδιωτικά μέσα (Park and Ride). Επίσης, στο πλαίσιο βελτίωσης

της παρεχόμενης εξυπηρέτησης προωθείται η εγκατάσταση κλιματιστικών σε όλους τους συρμούς της δεύτερης γενιάς. Συγκεκριμένα, σε εξέλιξη βρίσκεται η κατασκευή των επεκτάσεων:

- από το Αιγάλεω προς το Χαϊδάρι (1,5 χλμ με έναν Σταθμό),
- από τον Άγ.Δημήτριο προς το Ελληνικό (5,5 χλμ με 4 Σταθμούς),
- από τον Άγ.Αντώνιο προς την Ανθούπολη (1,5 χλμ με 2 νέους Σταθμούς),
- καθώς και η πλήρης ανάπτυξη της Γραμμής 3 με την προσθήκη των Σταθμών ΧΟΛΑΡΓΟΣ και ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.

Το κόστος των επεκτάσεων του Μετρό ανέρχεται συνολικά σε 1,4 δισ. € με χρηματοδότηση (επιδότηση) σε ποσοστό 50% από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Παράλληλα, η Αττικό Μετρό ΑΕ προχωρεί στην υλοποίηση νέων επεκτάσεων του δικτύου και στις 7 Ιουνίου 2006 δημοπράτησε την περαιτέρω επέκταση της Γραμμής 3 από το Χαϊδάρι μέχρι τον Πειραιά, την Ευαγγελίστρια, προκειμένου ο Δήμος Πειραιά να αποκτήσει 4 Σταθμούς Μετρό και να συνδεθεί με το Αεροδρόμιο. Πρόκειται για μια επέκταση συνολικού μήκους 8,2 χλμ. με 7 σύγχρονους Σταθμούς (προϋπολογισμού 570 εκ €), η οποία θα εξυπηρετήσει με τον πλέον αποτελεσματικό τρόπο τον Πειραιά, έναν από τους μεγαλύτερους Δήμους της χώρας.

Επίσης, το Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ) εξετάζει όλους τους πιθανούς τρόπους χρηματοδότησης για την κατασκευή μιας νέας Γραμμής, της Γραμμής 4, η οποία αναμένεται όχι μόνο να αλλάξει δραστικά τον συγκοινωνιακό χάρτη της Αθήνας αλλά και να αναβαθμίσει σημαντικά τη ζωή στο Λεκανοπέδιο. Πρόκειται για μια Γραμμή σε σχήμα U, μήκους 20,9 χλμ με 20 Σταθμούς (προϋπολογισμού 2,1 δισ. €), η οποία θα καλύψει την διαδρομή Άλσος Βεΐκου – Πανεπιστήμιο – Ευαγγελισμός – Άνω Ιλίσια – Κατεχάκη – Μαρούσι. Η νέα Γραμμή 4 θα εξυπηρετήσει πολλές πυκνοκατοικημένες περιοχές του Λεκανοπεδίου, ενώ η εκτιμώμενη επιβατική κίνησή της υπολογίζεται σε 400.000 επιβάτες ημερησίως. Στον χάρτη που ακολουθεί φαίνονται οι εν λειτουργία και οι υπό κατασκευή γραμμές και προεκτάσεις του μετρό της Αθήνας (**Εικόνα 1.1**).



Εικόνα 1.1: Χάρτης του Αττικού Μετρό. (site Αττικό μετρο)

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ (ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)

Ένα από τα πιο σημαντικά και εξίσου πολύπλοκα έργα της Αττικό Μετρό ΑΕ είναι η κατασκευή Μετρό στην Θεσσαλονίκη, στην δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Ελλάδος. Η Σύμβαση για την κατασκευή Μετρό μήκους 9,6 χλμ με 13 σύγχρονους Σταθμούς (προϋπολογισμού 1 δισ. €) υπογράφηκε στις 7 Απριλίου 2006 και οι κατασκευαστικές εργασίες του έργου βρίσκονται ήδη σε ανάπτυξη.

Με την εμπειρία, την τεχνογνωσία και την αποτελεσματικότητα της Αττικό Μετρό ΑΕ θεωρείται βέβαιο ότι το Μετρό της Θεσσαλονίκης θα είναι ακόμα καλύτερο από αυτό της Αθήνας, καθώς θα διαθέτει τα πλέον σύγχρονα συστήματα: δύο μονές ανεξάρτητες σήραγγες, σύστημα θυρών επί των αποβαθρών κάθε Σταθμού και 18 υπεραυτόματους συρμούς (χωρίς οδηγό) τελευταίας τεχνολογίας, πλήρως κλιματιζόμενους, κ.α.

Υπολογίζεται ότι το Μετρό της Θεσσαλονίκης θα εξυπηρετεί σε καθημερινή βάση περισσότερους από 250.000 επιβάτες. Παράλληλα, η Αττικό Μετρό ΑΕ ξεκίνησε και την μελέτη των επεκτάσεων του Μετρό προκειμένου σταδιακά να δημιουργηθεί ένα πλήρες δίκτυο στη Θεσσαλονίκη που θα εξυπηρετεί τις περισσότερες περιοχές της πόλης. Στόχος του ΥΠΕΧΩΔΕ και της Αττικό Μετρό ΑΕ είναι το Μετρό να φθάσει σε ολόενα και περισσότερες γειτονιές της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, τονώνοντας τις τοπικές οικονομίες, αλλάζοντας την εικόνα τους και κυρίως μειώνοντας τις αποστάσεις.

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 όχι μόνο καλύτερο από το Μετρό της Αθήνας, αλλά το πιο σύγχρονο Μετρό στην Ευρώπη. Στην **Εικόνα 1.2** παρουσιάζονται ο βασικός άξονας του Μετρό Θεσσαλονίκης και η πρώτη φάση των προβλεπομένων επεκτάσεων.





Εικόνα 1.2: Χάρτης του Μετρό Θεσσαλονίκης. (site Αττικό μετρο)

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)

## 1.2 Μέθοδοι κατασκευής που χρησιμοποιεί το μετρό (Αττικό Μετρό, 2007)

Το έργο του Μετρό της Αθήνας είναι εξ' ολοκλήρου υπόγειο. Με αυτό τον τρόπο εξυπηρετείται ο στόχος του, ο οποίος είναι η γρήγορη μετακίνηση των πολιτών στην ευρύτερη περιοχή της Πρωτεύουσας. Για την κατασκευή των υπόγειων σταθμών και σηράγγων του Μετρό, χρησιμοποιήθηκαν σύγχρονες μέθοδοι που εξασφάλισαν ασφαλή, έντεχνη και ταχεία αποπεράτωση του έργου. Οι μέθοδοι κατασκευής του έργου χρησιμοποιήθηκαν μεμονωμένα ή σε συνδυασμό όπου κρίθηκαν εφαρμόσιμες, πάντα σε συσχετισμό με το γεωλογικό παράγοντα και τις επί τόπου συνθήκες του περιβάλλοντος χώρου.

- Εκσκαφή με χρήση **μηχανήματος Ολομέτωπης Κοπής (Tunnel Boring Machine ή TBM)**. Χρησιμοποιήθηκε για τη διάνοιξη σηράγγων και συγκεκριμένα, το TBM1 (με το όνομα «ΙΑΣΟΝΑΣ») χρησιμοποιήθηκε στο τμήμα της Γραμμής 2 από τον Στ. Λαρίσης έως τον Στ. Αγ. Ιωάννη, ενώ το TBM2 (με το όνομα «ΠΕΡΣΕΦΟΝΗ») χρησιμοποιήθηκε στο τμήμα της Γραμμής 3 από το Στ. Κατεχάκη έως το Στ. Σύνταγμα (**Εικόνα 1.3**).



*Εικόνα 1.3: Μηχάνημα ολομέτωπης κοπή(TBM). (Αττικό Μετρό, 2007)*

• Εκσκαφή με χρήση **μηχανήματος Σημειακής Κοπής με Ανοικτή Ασπίδα (Open Face Shield)**. Χρησιμοποιήθηκε για τη διάνοιξη σηράγγων και συγκεκριμένα για την κατασκευή της σήραγγας Δάφνη – Αγ. Ιωάννης του Βασικού Έργου, μήκους 765 μ. και για το τμήμα Ανθούπολη – Περιστέρι της επέκτασης της Γραμμής 2, μήκους 910 m (**Εικόνα 1.4**).



**Εικόνα 1.4:** Μηχάνημα σημειακής κοπής (Open Face Shield – OFS) (Αττικό Μετρό, 2007)

- Εκσκαφή με χρήση **μηχανήματος Έξισορρόπησης Εδαφικής Πίεσης (Earth Pressure Balance)**. Χρησιμοποιήθηκε για τη διάνοιξη σηράγγων, και συγκεκριμένα για την κατασκευή της σήραγγας από τον Στ. Δ. Πλακεντίας έως το φρέαρ Ξάνθου, συνολικού μήκους 3.374 μ, της επέκτασης της Γραμμής 3 προς Δουκ. Πλακεντίας, ενώ πλέον «εργάζεται» στην κατασκευή της επέκτασης της Γραμμής 2 προς Ελληνικό.

- Χρήση **Συμβατικής μεθόδου εκσκαφής σηράγγων (NATM)**. Χρησιμοποιήθηκε για την εκσκαφή σηράγγων, σε εδάφη με φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά, καθώς και στην εκσκαφή ορισμένων σταθμών του Έργου, συγκεκριμένα των σταθμών Πανεπιστήμιο, Ακρόπολη, Αμπελόκηποι, Μοναστηράκι, Ομόνοια, καθώς και του βαθύτερου τμήματος του σταθμού Συντάγματος. Επίσης η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε και σε μεγάλα τμήματα των επεκτάσεων του δικτύου προς Δουκ. Πλακεντίας, προς Αγ. Δημήτριο, προς Αγ. Αντώνιο, προς Αιγάλεω, κλπ.

- Χρήση **μεθόδου Ανοικτού Ορύγματος (Cut and Cover)**. Χρησιμοποιήθηκε κατεξοχήν για την εκσκαφή των σταθμών του Έργου, καθώς και σε ελάχιστες περιπτώσεις, για την εκσκαφή σηράγγων σε σημεία που παρουσιάστηκαν προβλήματα λόγω των πτωχών μηχανικών χαρακτηριστικών του εδάφους. Πολλά τμήματα του δικτύου του Μετρό της Αθήνας κατασκευάστηκαν με τη μέθοδο αυτή, όπως οι Σταθμοί: Σεπόλια, Αττική, Λάρισα, Μεταξουργείο, Συγγρού - Φιξ, Ν. Κόσμος, Αγ. Ιωάννης, Δάφνη της Γραμμής 2 καθώς και Εθν. Άμυνα, Κατεχάκη, Πανόρμου, Μέγαρο Μουσικής, Ευαγγελισμός, Σύνταγμα (ο σταθμός της Γραμμής 2 που είναι σε μικρότερο βάθος), καθώς και τα τμήματα σηράγγων μεταξύ των σταθμών Αττική - Λάρισα και Κατεχάκη - Εθν. Άμυνα. Επίσης, στις επεκτάσεις του δικτύου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος αυτή, όπως στους σταθμούς Αγ. Δημήτριος και Αγ. Αντώνιος, στους σταθμούς Χαλάνδρι και Δ. Πλακεντίας, καθώς και σε τμήμα της σήραγγας Δάφνη - Αγ. Δημήτριος.

- Χρήση **μεθόδου Επικάλυψης - Εκσκαφής (Cover and Cut)**. Πρόκειται για παραλλαγή της μεθόδου Ανοικτού Ορύγματος και χρησιμοποιήθηκε μόνο στον Σταθμό του Συντάγματος (της Γραμμής 2), λόγω της ιδιαιτερότητας της περιοχής.

### **1.3 Η διάρκεια ζωής των έργων του μετρό Αθηνών (Αττικό Μετρό, 2007)**

Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι η διάρκεια ζωής των κατασκευών του Μετρό προδιαγράφεται σε 100 έτη. Η ανθεκτικότητα των μονίμων επενδύσεων σιηράγγων και σταθμών σχετίζεται με τη κατηγορία του σκυροδέματος (αντοχή), τη σύνθεση του (ποσοστό νερού/τσιμέντου, τύπος τσιμέντου, πρόσμεικτα), το σχηματισμό ρωγμών και το πάχος επικάλυψης του οπλισμού.

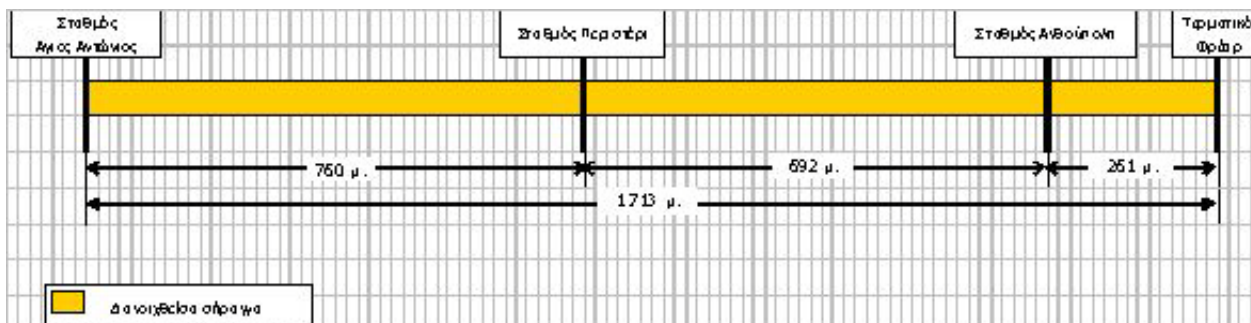
Για τις συνθήκες περιβάλλοντος γίνεται ιδιαίτερη εκτίμηση. Η παρουσία δραστικών στοιχείων (χλωρίδια, θειικά) στο υπόγειο νερό ελέγχεται και λαμβάνεται υπόψη στη μελέτη της σύνθεσης του σκυροδέματος και στη διαστασιολόγηση των φορέων. Η συνθήκη "υγρό έξω / ξηρό μέσα" οδηγεί σε διήθηση και συγκέντρωση στο εσωτερικό της κατασκευής των επιβλαβών αυτών στοιχείων με άμεσο κίνδυνο διάβρωσης του οπλισμού. Μέτρα προστασίας σε τέτοιες περιπτώσεις είναι η χαμηλή διαπερατότητα του σκυροδέματος, ο περιορισμός της ρηγμάτωσης και η υδατοστεγανότητα. Σημειώνεται ότι τα υλικά που χρησιμοποιούνται στο Μετρό (ράβδοι οπλισμού, σκυρόδεμα, υδαστεγανώσεις, αγκύρια, κλπ) πρέπει να είναι σύμφωνα με τις Προδιαγραφές και τα πλέον εξελιγμένα διεθνή πρότυπα, ο δε εκάστοτε Ανάδοχος είναι υποχρεωμένος πριν την προσκόμιση τους στα εργοτάξια να υποβάλει προς έλεγχο όλα τα σχετικά πιστοποιητικά, τις δοκιμές συμμόρφωσης, τις σχετικές μελέτες σύνθεσης, το σύστημα ποιοτικού ελέγχου, κ.λπ.

### **1.4 Τα έργα επέκτασης από Αγ. Αντώνιο έως Ανθούπολη (Αττικό Μετρό, 2007)**

Στις 11 Απριλίου του 2006 ολοκληρώθηκε ο διαγωνισμός για την επέκταση της Γραμμής 2 από τον Αγ. Αντώνιο προς την Ανθούπολη (μήκους περίπου 1,5 χλμ.) με δύο νέους Σταθμούς: ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ και ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ (πρώην ΘΗΒΩΝ) και τον Σεπτέμβριο του ίδιου έτους ξεκίνησαν οι κατασκευαστικές εργασίες. Στο **Σχήμα 1.1** δίδονται παραστατικά τα τμήματα της επέκτασης.

Με την επέκταση αυτή, ο μεγαλύτερος δήμος της Δυτικής Αθήνας, ο Δήμος Περιστερίου, θα διαθέτει πλέον τρεις σταθμούς ΜΕΤΡΟ (Αγ. Αντώνιος, Περιστερί,

Ανθούπολη) που προβλέπεται – βάσει των μελετών – να εξυπηρετούν συνολικά 75.000 άτομα ημερησίως.



*Σχήμα 1.1: Διαγραμματική απεικόνιση των τμημάτων του έργου επέκτασης από Αγ. Αντώνιο προς Ανθούπολη.*

Αξίζει να σημειωθεί ότι η απόσταση Ανθούπολη – Σύνταγμα θα διανύεται μόλις σε 11 λεπτά ενώ σήμερα τα επιβατικά αυτοκίνητα, σε ώρες αιχμής, κάνουν τουλάχιστον 45 λεπτά. Στην **Εικόνα 1.5** φαίνεται η χάραξη της συγκεκριμένης επέκτασης.



*Εικόνα 1.5: Γενική αεροφωτογραφία της περιοχής του έργου με την χάραξη της επέκτασης της Γραμμής 2. (Google Earth)*

Ειδικότερα, σε ό,τι αφορά τους νέους σταθμούς:

- Ο Σταθμός ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ κατασκευάστηκε κυρίως με τη μέθοδο του ανοικτού ορύγματος στη Λεωφόρο Παναγή Τσαλδάρη στο ύψος του Δημαρχείου Περιστερίου. Ποσοστό περίπου 30% του Σταθμού κατασκευάστηκε με την μέθοδο της υπόγειας διάνοιξης προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η όχληση στην κυκλοφορία των οχημάτων καθώς στο συγκεκριμένο σημείο υπάρχει διασταύρωση 6 δρόμων. Επισημαίνεται ότι στην νότια πλευρά του Σταθμού θα πραγματοποιηθούν όλες οι απαραίτητες κατασκευές για την σύνδεση μελλοντικά με γειτονικό υπόγειο χώρο στάθμευσης. Ο Σταθμός ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ τελικά αποτελείται από 3 επίπεδα με ίδιο περίπου περίγραμμα συνολικής επιφάνειας 11.000 τμ. Στην **Εικόνα 1.6** φαίνεται η περιοχή κατασκευής του Σταθμού Περιστερίου.

- Ο Σταθμός ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ κατασκευάστηκε με την μέθοδο του ανοικτού ορύγματος υπογείως της οδού Αναπαύσεως ανάμεσα στις οδούς Δωδεκανήσου και

Θηβών. Η νέα θέση του Σταθμού ήταν αποτέλεσμα των γεωτεχνικών ερευνών στην περιοχή της παλαιάς του θέσης, απέναντι από το γήπεδο του Αγίου Ιερόθεου, όπου διαπιστώθηκε ότι το έδαφος είναι εντελώς ακατάλληλο. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960 περίπου λειτουργούσαν στην ευρύτερη περιοχή λιγνιτορυχεία με αποτέλεσμα τη διάνοιξη υπόγειων στοών. Μετά το πέρας των εκμεταλλεύσεων ορισμένες από τις στοές είχαν υποστεί λιθογόμωση ενώ κάποιες είχαν παραμείνει απλήρωτες. Συνεπώς, η κατασκευή του Σταθμού στη θέση αυτή εγκυμονούσε σοβαρούς κινδύνους, τόσο για το ίδιο το έργο, όσο και για τις παρακείμενες κατοικίες, ενώ δεν θα επέτρεπε και την περαιτέρω επέκταση της Γραμμής 2 προς Κηπούπολη, Πετρούπολη και Ίλιον.

Για τους παραπάνω λόγους, το ΥΠΕΧΩΔΕ αποφάσισε να μετατοπίσει τελικώς τον Σταθμό ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ κατά 350 περίπου μέτρα νοτιότερα (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ, 2006). Η κατασκευή πραγματοποιήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε σε επόμενη φάση να είναι δυνατή η επέκταση της Γραμμής 2 τόσο προς την περιοχή του Αγίου Ιερόθεου, όσο και προς την Πετρούπολη και τα Λιόσια.

Η κατασκευή των δύο Σταθμών του Μετρό αναμένεται να αναβαθμίσει αισθητικά την περιοχή του Δήμου Περιστερίου, τόσο με την υψηλή αισθητική των Σταθμών, όσο και με τις αναπλάσεις που θα πραγματοποιηθούν στον επιφανειακό χώρο των Σταθμών.

Αξίζει δε να σημειωθεί ότι η εργολαβία περιλαμβάνει την ενοποίηση της κεντρικής Πλατείας του Περιστερίου (Πλατεία Δημοκρατίας) με κατάλληλη διαμόρφωση (εκτροπή) της Λεωφόρου Παναγή Τσαλδάρη. Επίσης, η Αττικό Μετρό Α.Ε. εξετάζει σε συνεργασία με το Δήμο Περιστερίου τη δυνατότητα κατασκευής χώρου στάθμευσης ΙΧ πλησίον του Σταθμού ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ.

Η επέκταση ΑΓ.ΑΝΤΩΝΙΟΣ έως ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ **απαρτίζεται από τα ακόλουθα τμήματα (Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Γεωτεχνικών Ερευνών, 2007):**





*Εικόνα 1.6: Αεροφωτογραφία της περιοχής κατασκευής του σταθμού ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ. (Google Earth)*

### **Σήραγγα Υπόγειας Διάνοιξης με Συμβατικά Μηχανικά Μέσα**

Η σήραγγα αυτή είναι διατομής διπλής τροχιάς και συνδέει το σημερινό πέρας της Γραμμής 2 (περιοχή Φρέατος Φλέμιγκ), που σήμερα βρίσκεται σε λειτουργία, με την αρχή του Σταθμού Περιστερί. Η κατασκευή της σήραγγας έγινε από δύο μέτωπα από το Φρέαρ Πρόσβασης με υπόγεια διάνοιξη με συμβατικά μέσα. Στην **Εικόνα 1.7** φαίνεται η περιοχή κατασκευής της σήραγγας από την αρχή έως το Φρέαρ Πρόσβασης.

Σημειώνεται ότι η διάνοιξη της σήραγγας έγινε στο τμήμα από την Χ.Θ. 1 + 392,50 έως την Χ.Θ. 1 + 680,29, ενώ οι εργασίες σκυροδέτησης της μόνιμης επένδυσής της στο τμήμα από την Χ.Θ. 1 + 378,10 έως την Χ.Θ. 1 + 680,29.



*Εικόνα 1.7: Αεροφωτογραφία της περιοχής κατασκευής της σήραγγας από την αρχή έως το Φρέαρ Πρόσβασης. (Google Earth)*

### **Φρέαρ και Σήραγγα Πρόσβασης**

Για την επιτάχυνση των εργασιών κατασκευής της σήραγγας υπόγεια διάνοιξης προβλέπονταν η κατασκευή φρέατος πρόσβασης στην περιοχή του δημοτικού πάρκου, που περιβάλλεται από τις οδούς Κ. Βάρναλη, 25ης Μαρτίου και από την Λεωφόρο Παναγή Τσαλδάρη (μεταξύ των Χ.Θ. 1 + 547,61 και 1 + 559,46 της Γραμμής 2). Επίσης κατασκευάστηκε μικρού μήκους σήραγγα (Χ.Θ. 1+553,97), η οποία χρησιμοποιήθηκε ως πρόσβαση για την κατασκευή της κύριας σήραγγας συμβατικής υπόγειας διάνοιξης. Το μέγιστο βάθος εκσκαφής του φρέατος (πυθμένας), βρίσκεται περί τα 23.00 m χαμηλότερα από το σημερινό παραοριζόντιο φυσικό έδαφος στην περιοχή του πάρκου. Το σχήμα του είναι ορθογωνικό.

Στην **Εικόνα 1.8** φαίνεται η περιοχή κατασκευής της σήραγγας και του φρέατος πρόσβασης .



*Εικόνα 1.8: Αεροφωτογραφία της περιοχής κατασκευής της σήραγγας και του Φρέατος Πρόσβασης έως τον σταθμό ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ. (Google Earth)*

### **Ανατολικό Φρέαρ Αερισμού Σταθμού Περιστερί**

Το Ανατολικό Φρέαρ Αερισμού - Εκτόνωσης έχει διαστάσεις 29,00 m x 10,50 m, περίπου, στην Χ.Θ. 1 + 612,65 της Γραμμής 2, στην δυτική πλευρά της σήραγγας και αποτελείται από δύο (2) διακριτές και στατικά ανεξάρτητες υποκατασκευές.

### **Σταθμός Περιστερί**

Ο Σταθμός Περιστερί εκτείνεται από την Χ.Θ. 1 + 681,29 έως την Χ.Θ. 1 + 791,29. Χωροθετείται σε κεντρική περιοχή του Δήμου Περιστερίου, στην πλατεία Δημοκρατίας, όπου υπάρχει ο Ναός Ευαγγελιστρίας και το Δημαρχείο. Η Είσοδος - Έξοδος 2 ευρίσκεται στην απέναντι πλευρά της παράκαμψης της Λεωφόρου Π. Τσαλδάρη στο ρεύμα προς την οδό Θηβών (στην περιοχή των εργατικών πολυκατοικιών) και οδηγεί επίσης στο μεσοπάτωμα του σταθμού, μέσω υπόγειας διάβασης (που θα κατασκευασθεί με την μέθοδο ανοικτού ορύγματος) κάτω από τη μελλοντική παράκαμψη της Λεωφόρου Π. Τσαλδάρη.

*ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ  
ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)*

Συνεπώς, η κατασκευή της Εισόδου - Εξόδου 2 προηγήθηκε της παράκαμψης της Λεωφόρου Παναγή Τσαλδάρη. Ο μόνιμος φορέας του Σταθμού Περιστερί έχει μήκος περίπου 112 m. Το βάθος του φτάνει περίπου στα 25 m. Το μεγαλύτερο τμήμα του σταθμού, μήκους 67 m περίπου, κατασκευάστηκε με την μέθοδο ανοικτού ορύγματος (E&E), ενώ το υπόλοιπο τμήμα, που συνδέεται με τη σήραγγα επέκτασης της Γραμμής 2 προς το Φρέαρ Φλέμινγκ, μήκους 45 m περίπου, κατασκευάστηκε με υπόγεια διάνοιξη με συμβατικά μέσα και αποτελείται από την κύρια σήραγγα και δύο στοές κλιμακοστασίων εκατέρωθεν, οι οποίες κατασκευάστηκαν, επίσης, με υπόγεια εκσκαφή με συμβατικά μέσα και συνδέουν το επίπεδο αποβάθρων με το επίπεδο ακύρωσης εισιτηρίων.

### **Σήραγγα Ανοικτής Εκσκαφής**

Το τμήμα της σήραγγας από τον Σταθμό Περιστερί (Χ.Θ. 1 + 792,890) έως το Δυτικό Φρέαρ Αερισμού του σταθμού (Χ.Θ 1 + 819,186), μήκους 26 m περίπου, είναι διατομής διπλής τροχιάς και κατασκευάστηκε με την μέθοδο του ανοικτού ορύγματος (Εκσκαφή & Επανεπίχωση).

Η σήραγγα αυτή κατασκευάστηκε σε θέση που ευρίσκεται υπό την Λεωφόρο Π. Τσαλδάρη, έχοντας εκατέρωθεν αυτού το υπό κατασκευή κτίριο του Δημαρχείου Περιστερίου και τον Ναό Ευαγγελιστριάς. Πριν από την έναρξη των εργασιών κατασκευής της, έγιναν οι απαραίτητες κυκλοφοριακές παρακάμψεις, με διοχέτευση της κυκλοφορίας της Λεωφόρου Π. Τσαλδάρη περιμετρικά και βορείως του Ι.Ν. Ευαγγελιστριάς. Η παράκαμψη είναι μόνιμη, προκειμένου να ενοποιηθεί ο χώρος της Πλατείας Δημοκρατίας και ο περιβάλλον τον Ναό. Κατά μήκος της σήραγγας και άνωθεν αυτής κατασκευάζονται η δυτική είσοδος - έξοδος του Σταθμού Περιστερί και το φρέαρ απαγωγής αερισμού του σταθμού.

### **Δυτικό Φρέαρ Αερισμού Σταθμού Περιστερί**

Το Δυτικό Φρέαρ Αερισμού - Εκτόνωσης κατασκευάστηκε στην Χ.Θ. 1 + 836.58 (θέση του κέντρου του) της Γραμμής 2 και λειτούργησε, σε πρώτο στάδιο, ως φρέαρ ανάσυρσης της κεφαλής μηχανήματος διάνοιξης σιδηρόδρομων τύπου OFS (Open FaceShield), η οποία έχει παραμείνει εντός του εδάφους, στο τέλος της ήδη

κατασκευασμένης σήραγγας από προηγούμενη εργολαβία της ΑΜ. Το φρέαρ έχει κυκλική διατομή κάτοψης, με εσωτερική διάμετρο 22,00 m, συνολικό ύψος 24,00 m περίπου (ολόκληρο υπό την επιφάνεια του εδάφους) και κατασκευάστηκε με την μέθοδο του ανοικτού ορύγματος. Η οροφή του φρέατος ευρίσκεται 2,60 m κάτω από την τελική στάθμη του πεζοδρομίου, ενώ ο πυθμένας του εδράζεται 21,12 m χαμηλότερα.

### **Σταθμός Ανθούπολη**

Ο Σταθμός Ανθούπολη αποτελεί τον δεύτερο σταθμό που κατασκευάστηκε στην παρούσα φάση και αποτελεί, προς το παρόν, τερματικό σταθμό της επέκτασης της Γραμμής 2. Ο σταθμός κατασκευάστηκε κατά μήκος της οδού Αναπαύσεως (προέκταση της Λεωφόρου Π. Τσαλδάρη) σε θέση αμέσως μετά την διασταύρωση με την Λεωφόρο Θηβών. Το συνολικό μήκος του σταθμού είναι 147 m περίπου (από την Χ.Θ. 2 + 342,89 έως την Χ.Θ. 2 + 490,29), αυξημένο κατά 37 m, έναντι του τυπικού μήκους 110 m, δεδομένου ότι εντός αυτού ενσωματώνονται και τα δυο Φρέατα Αερισμού (Αποτόνωσης) του.

Στην θέση αυτή καταλήγει, ήδη κατασκευασμένη από άλλον Ανάδοχο, η σήραγγα διπλής γραμμής, που διανοίχτηκε, με μηχανήμα OFS, από το Τερματικό Φρέαρ (Φρέαρ Εκκίνησης) στην περιοχή του Αγίου Ιεροθέου (Χ.Θ. – 2 + 751) έως την Χ.Θ. 1 + 840, πλησίον του Σταθμού Περιστερί. Στο μήκος κατασκευής του σταθμού έπρεπε να καθαιρεθεί η υφιστάμενη σήραγγα, λαμβάνοντας όλα τα κατάλληλα μέτρα ασφαλείας τόσο για την εκτέλεση των εργασιών όσο και για την διατήρηση των εκατέρωθεν τμημάτων της σήραγγας που θα παραμείνουν.

Η αρχή του σταθμού τοποθετείται αμέσως μετά τη διασταύρωση με τη Λεωφόρο Θηβών (με κατεύθυνση προς Ανθούπολη). Στη βόρεια πλευρά διαμορφώνεται πλευρική αίθρια διεύρυνση τραπεζοειδούς μορφής. Το βάθος εκσκαφής που απαιτήθηκε για την κατασκευή ήταν περίπου 20 m για το κεντρικό τμήμα του σταθμού και 17 m για την περιοχή διεύρυνσης στην βόρεια πλευρά.

Στην **Εικόνα 1.9** φαίνεται η περιοχή κατασκευής του Σταθμού Ανθούπολης.

## Τερματικό Φρέαρ

Το Τερματικό Φρέαρ κατασκευάσθηκε στο πέρας της ήδη κατασκευασμένης σήραγγας OFS στην Χ.Θ. 2 + 757,70 (άξονας φρέατος) της Γραμμής 2. Στην θέση αυτή υπήρχε, επιχωμένο, όρυγμα πολύ μεγαλύτερων διαστάσεων, με προσωρινή αντιστήριξη, που είχε κατασκευασθεί ως φρέαρ εκκίνησης του μηχανήματος OFS στα πλαίσια προηγούμενης εργολαβίας της ΑΜ και εντός αυτού θα κατασκευασθεί το Τερματικό Φρέαρ. Το φρέαρ έχει συνολικό ύψος 23,00 m περίπου, ολόκληρο υπό την επιφάνεια του εδάφους. Η άνω πλάκα του (οροφή φρέατος) ευρίσκεται 1,80 m κάτω από την τελική στάθμη του πεζοδρομίου, ενώ η βάση - πυθμένας του φρέατος εδράζεται 21,08 m χαμηλότερα. Στην **Εικόνα 1.10** φαίνεται η περιοχή κατασκευής του τερματικού φρέατος.



**Εικόνα 1.9:** Αεροφωτογραφία της περιοχής κατασκευής του σταθμού ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ. (Google Earth)



*Εικόνα 1.10: Αεροφωτογραφία της περιοχής κατασκευής του Τερματικού Φρέατος. (Google Earth)*

## 2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΕΡΕΥΝΑΣ *(Έκθεση Μελέτης*

*Γραφείου, Αττικό Μετρό, 2007)*

### 2.1 Ιστορία του Δήμου

Στις 18-01-1934 το Περιστερί αποσπάστηκε από το Δήμο Αθηναίων, στον οποίο ανήκε, και αναγνωρίστηκε ως Δήμος λόγω του μεγάλου πληθυσμού του, ενώ στις 11-02-1934 διεξήχθησαν οι πρώτες δημοτικές εκλογές. Στο Δήμο εκείνης της εποχής προσαρτήθηκαν οι οικισμοί Περιστερί, Χρυσασλίδα, Άνω και Κάτω Γερμανικά, Κτιστά και ο συνοικισμός Ποντίων, Αρμενίων.



*Εικόνα 2.1: Γενική άποψη του Δήμου Περιστερίου (1935).*

Όμως η ιστορία του Περιστερίου, ξεκινά πολύ παλιά. Ευρήματα πιστοποιούν την ανθρώπινη παρουσία πριν από 25 αιώνες. Το φανερώνει η μεγάλη συγκομιδή αρχαίων ευρημάτων, σαρκοφάγων, αγγείων, μαρμάρινων επιτύμβιων πλακών, αρχαίων νομισμάτων, κτερισμάτων.



Στις **Εικόνες 2.1, 2.2** και **2.3** παρουσιάζονται περιοχές του Δήμου Περιστερίου κατά τη δεκαετία του 1940.



**Εικόνα 2.2:** Γενική άποψη του Δήμου Περιστερίου (1935). (Έκθεση Μελέτης Γραφείου, Αττικό Μετρό, 2007)



**Εικόνα 2.3:** Άποψη του πρώτου Δημαρχείου του Δήμου Περιστερίου. (Έκθεση Μελέτης Γραφείου, Αττικό Μετρό, 2007)

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ  
ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)

## 2.2 Πληθυσμιακά Στοιχεία (site Δήμου Περιστερίου)

Το Περιστερί είναι ο 4<sup>ος</sup> Δήμος της χώρας σε πληθυσμό και αποτελεί τον μητροπολιτικό Δήμο της Δυτικής Αθήνας. Συνορεύει με τους Δήμους Ιλίου (βόρεια), Αθηναίων (ανατολικά), Αιγάλεω (νότια), Χαϊδαρίου (δυτικά) και Πετρούπολης (βορειοδυτικά). Η θέση του Δήμου Περιστερίου φαίνεται στην **Εικόνα 2.4**.



*Εικόνα 2.4: Η θέση του Δήμου Περιστερίου στο Νομό Αττικής. (site Δήμου Περιστερίου)*

Η επίσημη απογραφή της Στατιστικής Υπηρεσίας το 2001 εκτιμά τον πληθυσμό του σε 146.743 δημότες με σύνολο κατοικιών 60.519, ενώ τα στατιστικά

δελτία καταναλωτών της ΔΕΗ εκτιμούν πληθυσμό πλέον των 250.000 κατοίκων.  
(Ε.Σ.Υ.Ε., 2001)

Ο Δήμος Περιστερίου διαθέτει συνολική έκταση 11.000 στρεμμάτων, από τα οποία η νομοθετημένη έκταση καλύπτει τα 9.770 στρέμματα. Η έκταση αυτή παρουσιάζει εικόνα αδιάκοπης πυκνοδόμησης, με μόνη εξαίρεση το σημερινό Δημοτικό Άλσος (κοντά στο Εκθεσιακό Κέντρο), έκτασης 850 στρεμμάτων.

Με την αναθεώρηση του Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου προβλέπεται η επέκταση των ορίων του Δήμου κατά 2,000 στρέμματα, η χωροθέτηση δημοτικών διαμερισμάτων, η επέκταση προστασίας Ποικίλου Όρους και η καθιέρωση τουριστικής και εμπορικής ζώνης.

### **2.3 Σύντομη περιγραφή αρχαιολογικών ευρημάτων** *(Εκθεση Μελέτης Γραφείου, Αττικό Μετρό, 2007)*

Τόσο κατά την εκσκαφή της σήραγγας διπλής τροχιάς όσο και κατά την ανόρυξη των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, που εκτελέστηκαν στην περιοχή, δεν απαντήθηκαν αρχαιολογικά ευρήματα. Επίσης, στην περιοχή του Τερματικού Φρέατος, όπου πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη ανοικτή εκσκαφή, δεν παρατηρήθηκαν ίχνη αρχαιολογικών ευρημάτων.

### **2.4 Χρήσεις της περιοχής έρευνας** *(Εκθεση Μελέτης Γραφείου, Αττικό Μετρό, 2007)*

Κατά μήκος του έργου δεν υφίστανται ανοιχτά λατομεία, επιχώσεις ή εγκαταστάσεις εκτεταμένων βιομηχανικών χρήσεων. Στην περιοχή όμως του πέρατος του σταθμού της Ανθούπολης και του Τερματικού φρέατος υφίστανται εγκαταλελειμμένες υποδομές παλαιών εκμεταλλεύσεων λιγνίτη. Οι υποδομές αυτές περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.

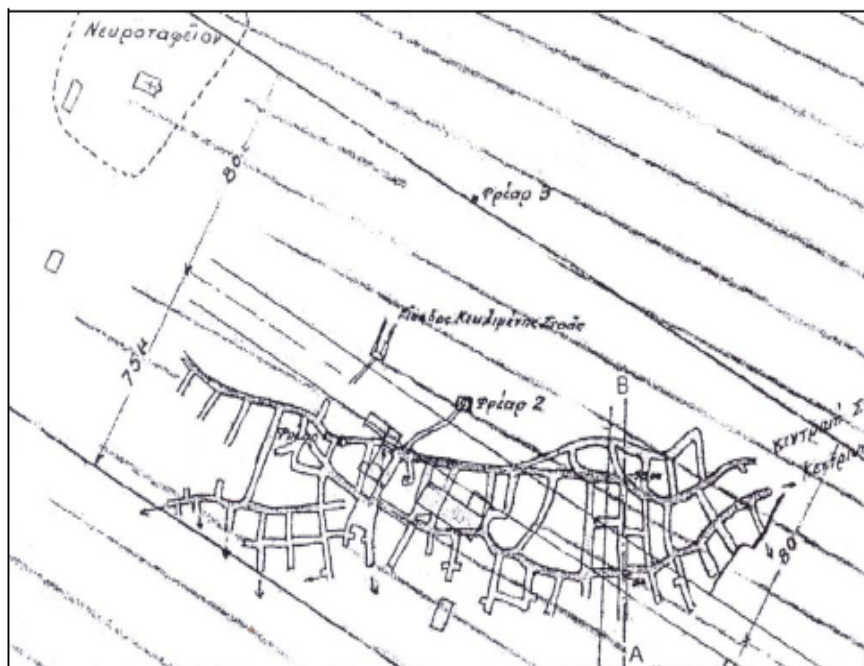
#### **2.4.1 Λιγνιτωρυχεία Περιστερίου**

Περίοδος πριν το 1949

Για την περίοδο μέχρι και τον 2<sup>ο</sup> Παγκόσμιο Πόλεμο, οι εργασίες εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων του λιγνιτωρυχείου του Περιστερίου γίνονταν στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης, περί της οδού Αγίου Βασιλείου (νότια και νοτιοδυτικά του γηπέδου του Αγίου Ιερόθεου) και καμία υπόγεια νοτιοδυτικά του γηπέδου του Αγίου Ιερόθεου) και καμία υπόγεια εκμετάλλευση δεν είχε πραγματοποιηθεί προς βορρά.

Η εκμετάλλευση γινόταν στους ανώτερους λιγνιτικούς ορίζοντες, δηλαδή αυτούς που βρίσκονταν πιο κοντά στην επιφάνεια, και έρευνες για αναζήτηση και άλλων κοιτασμάτων σε μεγαλύτερα βάθη δεν γίνονταν. Ο τρόπος εκμετάλλευσης ήταν τέτοιος (μερική εξόρυξη) που σημαντικό μέρος του κοιτάσματος έμεινε ανεκμετάλλευτο και όπως παρατηρεί ο **Βορεάδης (1940)** είχε «χαρακτήρα προσωρινής εκμεταλλεύσεως».

Η εκμετάλλευση του κοιτάσματος γινόταν από δυο επιμήκεις, σχεδόν οριζόντιες στοές με μήκος 250 m και σε βάθος περί τα 55 m (**Εικόνα 2.5**).



**Εικόνα 2.5:** Σχέδιο υπόγειων εργασιών εξόρυξης στο λιγνιτωρυχείο του Περιστερίου το 1940  
(Γ. Βορεάδης 1940)

Η προσπέλαση των στοών γινόταν από δυο κατακόρυφα φρέατα. Οι στοές αυτές, που διανοίχθηκαν κατά τη διεύθυνση του κοιτάσματος, συνδέονταν με εγκάρσιες στοές που ακολουθούσαν την κλίση του κοιτάσματος. Αντίθετα με τη φορά κλίσης του κοιτάσματος γινόταν η εξόρυξή του ώστε το επίπεδο όρυξης να ανέρχεται σταδιακά προς νότο και να μην παρεμποδίζουν τις εργασίες τα υπόγεια ύδατα. Το νότιο μέτωπο εξόρυξης ήταν στο πιο αβαθές τμήμα σε βάθος 37 m.

Οι στοές ορύξεως διανοίγονταν εξ ολοκλήρου εντός του κοιτάσματος και είχαν ύψος 2,4 – 2,6 m. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι πληροφορίες από χάρτες της εποχής, σχετικά με τη γεωμετρία των στοών, ενέχουν κάποια αβεβαιότητα ως προς την ακρίβειά τους.

Η ποσότητα του κοιτάσματος είχε εκτιμηθεί στους 86.250 ton και η αποληφθείσα ποσότητα στους 20.000 ton (οι στοές κατελάμβαναν το 1/3 της εκμεταλλεύσιμης περιοχής και με συντελεστή ανάκτησης 33%), γεγονός που δείχνει το μέγεθος των υπογείων στοών με βάση τη μέθοδο εκμετάλλευσής. Η υπόλοιπη ποσότητα του λιγνίτη δεν εξορυσσόταν αφού σύμφωνα με την μέθοδο εκμετάλλευσης μεταξύ των στοών παρέμεναν άθικτες σοβαρές ποσότητες λιγνίτη ώστε να μην εξαντλείται κατακόρυφα το κοιτάσμα και να αποφεύγεται το μεγάλο ύψος των στοών (Βορεάδης, 1940).

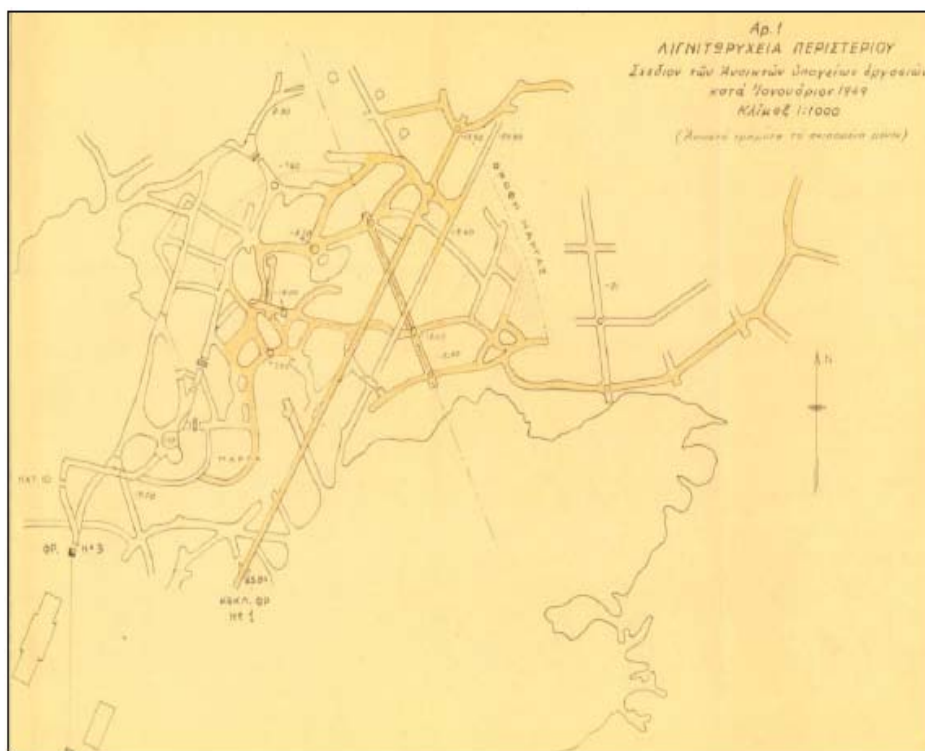
Οι υπόγειες εργασίες φαίνεται ότι εντατικοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της κατοχής, όταν η εκμετάλλευση γινόταν από τους Γερμανούς. Σε γενικές γραμμές, λόγω της μη συστηματικής εκμετάλλευσης κατά την περίοδο αυτή, δεν υπήρχαν ακριβή στοιχεία για την εξάπλωση και ανάπτυξη των υπογείων στοών. Ενδεχομένως να αφαιρέθηκε και κοιτάσμα κατά ληστρικό τρόπο από τους στύλους που είχαν αφεθεί. Κάτι τέτοιο θα έχει επιφέρει περαιτέρω «αδυνάτισμα» του υπογείου χώρου.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τον Ιούνιο του 1942 εκδηλώθηκε πυρκαγιά σε τμήμα των στοών, που σύμφωνα με μελέτη του Ι.Γ.Μ.Ε., επεκτάθηκε κυρίως στο ΝΔ τμήμα των εργασιών (Ι.Γ.Μ.Ε., 1998). Η πυρκαγιά έχει προφανώς προκαλέσει αύξηση των κενών, η έκταση της οποίας δε μπορεί να είναι ακριβώς γνωστή.

Περίοδος μεταξύ 1949-1959

Κατά τα τέλη της δεκαετίας του 1940 έγινε μία προσπάθεια εντατικοποίησης της εκμετάλλευσης. Το 1949 δημοσιεύεται η μελέτη των Τρικκαληνού-Μούσουλου (Εικόνες 2.6 και 2.7) και το 1950 του De Rian (Εικόνα 2.8). Και οι δύο μελέτες ανατέθηκαν από την Α.Ε. Λιγνιτωρυχεία Αττικής και αναφέρονται στην εξάπλωση του κοιτάσματος, στις δυνατότητες εκμετάλλευσης και σε τεχνικές επέκτασης της εκμετάλλευσης.

Η υπόγεια εκμετάλλευση γινόταν σε 4 επίπεδα (-8, -13, -15, -21) και το δίκτυο στοών είχε συνολικό μήκος περίπου 1 km (Τρικκαληνός-Μούσουλος, 1949). Οι στοές ακολουθούσαν το ανώτερο μέρος του λιγνιτικού ορίζοντα ο οποίος σε αυτό το τμήμα είχε πάχος περίπου 5 m από τα οποία 3,75 m περίπου ήταν λιγνίτης και 1,25 m αργιλικές ενστρώσεις. Την περίοδο αυτή γίνεται εξόρυξη και στο βόρειο τμήμα της περιοχής με τη λειτουργία του φρέατος Αγίας Βαρβάρας.

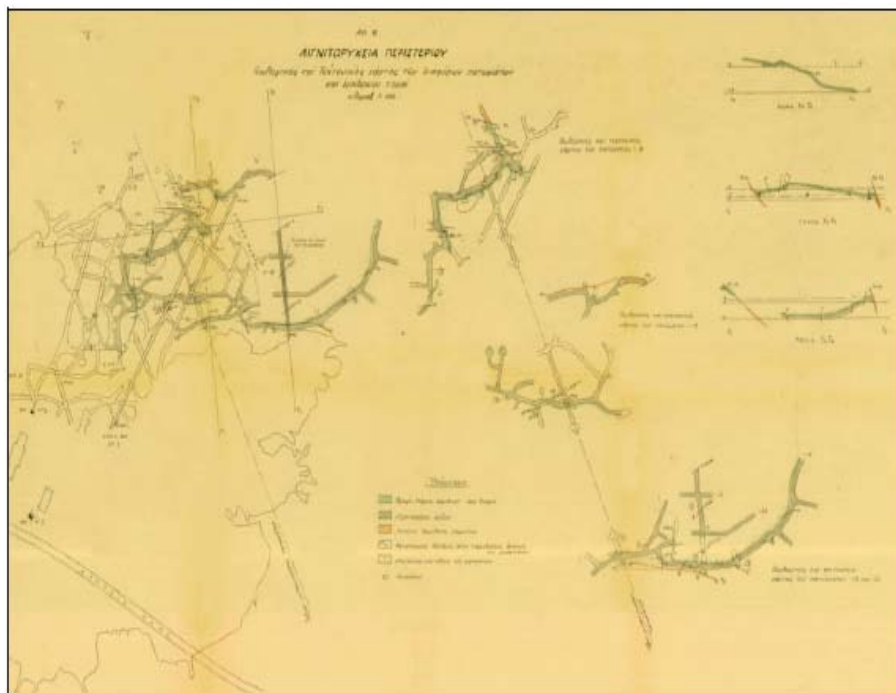


**Εικόνα 2.6:** Σχέδιο ανοικτών υπόγειων εργασιών εξόρυξης στο λιγνιτωρυχείο του Περιστερίου κατά τον Ιανουάριο του 1949. (Τρικκαληνός, Μούσουλος, 1949)

Η εξόρυξη εντατικοποιήθηκε και ακολουθήθηκε και η μέθοδος του επιμήκους μετώπου με λιθογόμωση ή ελεγχόμενη κατακρήμνιση της οροφής. Η αρχική μέθοδος εκμεταλλεύσεως δεν φαίνεται να είναι σαφής. Σε μερικά τμήματα εφαρμόσθηκε η μέθοδος των θαλάμων και στύλων με εγκατάλειψη των τελευταίων, ενώ σε άλλα τμήματα πραγματοποιήθηκε αφαίρεση των στύλων και η κατακρήμνιση της οροφής. (Ι.Γ.Μ.Ε., 1999)

Κατά το 1958, όπως αναφέρεται από το Ι.Γ.Μ.Ε. (1999), επιτροπή συσταθείσα για τον σκοπό αυτό αποφαινεται ότι δεν είναι δυνατή πλέον η συνύπαρξη οικισμών και ορυχείων και έτσι αποφασίζεται να εφαρμοστεί ένα πρόγραμμα λιθογομώσεων των στοών το οποίο και ολοκληρώνεται τον Ιανουάριο του 1959.

Με το πέρας των εργασιών λιθογόμωσης, η επιτροπή διαχώρισε το λιγνιτωρυχείο σε τρεις τομείς. Στον πρώτο τομέα, σε βάθος από την επιφάνεια 47 – 70 m, που έχει κατακλυσθεί από νερά από τον Μάιο του 1956, στον δεύτερο τομέα, σε βάθος 32 – 47 m, με μερική λιθογόμωση και μερική κατακρήμνιση των στοών του και στον τρίτο τομέα σε βάθος 20 – 32 m, όπου όλα τα έργα έχουν λιθογομωθεί χωρίς

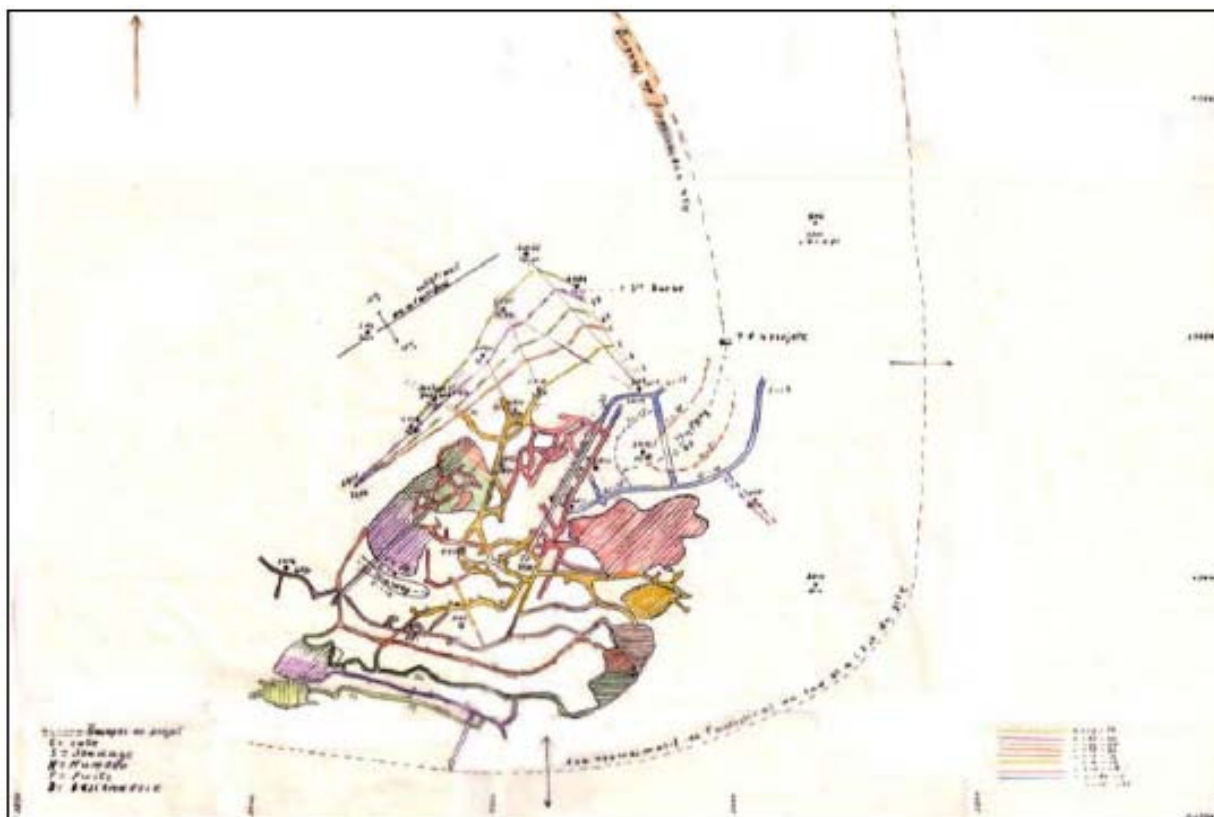


**Εικόνα 2.7:** Γεωλογικός και Τεκτονικός χάρτης των διαφόρων πατωμάτων και εγκάρσιες τομές του λιγνιτωρυχείου του Περιστερίου. (Τρικκαληγός, Μούσουλος, 1949).

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ  
ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)

πίεση. Η λιθογόμωση αυτή βοήθησε στο να αποφευχθεί εκτεταμένη εδαφική υποχώρηση. Η ακριβής περιοχή στην οποία έχει γίνει πλήρωση των υπογείων στοών και η πληρότητα των εργασιών πλήρωσης δεν είναι δυνατόν να είναι γνωστή με ακρίβεια.

Επόμενη επιτροπή στις 07-06-1959 καταλήγει πράγματι στο συμπέρασμα ότι η λιθογόμωση έχει σε γενικές γραμμές επιτύχει στο να υποστηρίξει «όσον το δυνατόν καλύτερον» την οροφή των στοών χωρίς όμως να αποκλείει την πιθανότητα καταπτώσεων ή πυρκαγιών λόγω αυταναφλέξεως.



*Εικόνα 2.8: Σχέδιο των υπογείων στοών και απόλυτο υψόμετρο αυτών. (De Pian, 1949).*

#### 2.4.2 Γεωμετρία του κοιτάσματος

Όσον αφορά στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης, ο **Βορεάδης (1940)** αναφέρει ότι εκμετάλλευση γινόταν στο κοιτάσμα του λιγνίτη σε βάθος 50 m το οποίο και ήταν το πρώτο από την επιφάνεια του λιγνιτωρυχείου Περιστερίου με διεύθυνση ANA-ΔΒΔ και μικρή κλίση  $14^{\circ}$ - $16^{\circ}$  προς τα Β-ΒΑ. Σε όλη την έκταση των



υπόγειων εργασιών στο λιγνιτωρυχείο το πάχος του υπό εκμετάλλευση κοιτάσματος ήταν σταθερό και κατά θέσεις υπερέβαινε τα 4 m.

Οι **Τρικκαληνός, Μούσουλος (1949)** σημειώνουν ότι συνολικά στην περιοχή των υπόγειων εργασιών παρατηρήθηκαν 48 μεταπτώσεις (από ρήγματα). Κατά μήκος μιας κεκλιμένης στοάς παρατηρήθηκαν 14 μεταπτώσεις που όλες εκτός από μία έχουν προκαλέσει μικρή μετακίνηση των στρωμάτων. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από την παρουσία δυο διασταυρωμένων συστημάτων διαρρήξεων με διεύθυνση B75A και B75Δ αντίστοιχα. Τα στρώματα γενικώς έχουν διεύθυνση σχεδόν ανατολή προς δύση και παρουσιάζουν επιπλέον ελαφρά πτύχωση.

Ο **De Pian (1949)** αναφέρει ότι το πάχος του κυρίου στρώματος ξεπέρνα κατά θέσεις τα 7 – 8 m με μέση τιμή 2,5 – 3 m. Η γεωμετρία του λιγνιτικού κοιτάσματος έχει διερευνηθεί από τις υπόγειες εργασίες και τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις του λιγνιτωρυχείου σε ζώνη μήκους 1 km (από Βορρά προς Νότο) και πλάτους 600 m. Οι γεωτρήσεις αυτές (SN) παρουσιάζονται και στην εργασία των Τρικκαληνού - Μούσουλου και δίνουν στοιχεία μόνο για τους λιγνιτικούς ορίζοντες και όχι για τους άλλους γεωλογικούς σχηματισμούς. Η λιγνιτοφόρος λεκάνη είναι επιμηκυσμένη σε διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ, είναι ανοιχτή προς Βορρά και περιβάλλεται στα νότια (στην περιοχή Άλσους του δήμου) και στα ανατολικά (στην περιοχή των οδών Αριστοφάνους και Αροανίας) από αντικλινική δομή.

Στην περιοχή παρατηρούνται δυο αντικλινικές και μια συγκλινική δομή του κοιτάσματος (**Εικόνα 2.9**). Στο ΒΔ τμήμα εμφανίζεται η μια αντικλινική δομή με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ (στη γραμμή που ορίζουν οι γεωτρήσεις SN17, SN18, SN19, SN4/12, SN20, SN21, SN22 και SN24) και το λιγνιτικό κοιτάσμα προς ΝΑ έχει κλίση 45% (22ο) προς ΝΑ ενώ προς τα ΒΔ η κλίση είναι μόλις 15% (8,5°). Η δεύτερη αντικλινική δομή, που όπως προαναφέρθηκε οριοθετεί τη λιγνιτοφόρο λεκάνη, έχει διεύθυνση αρχικά σχεδόν Β-Ν, στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης, και σχεδόν Α-Δ στο νότιο τμήμα της. Στο ΒΑ τμήμα (μεταξύ των γεωτρήσεων SN1 και SN31) εμφανίζεται η τεκτονική δομή τύπου σύγκλινου ΒΒΑ διεύθυνσης που περιορίζεται από δυο σημαντικά ρήγματα, βόρεια και νότια αυτής.

Ο De Rian θεωρεί ότι το βαθύτερο σημείο του κύριου στρώματος λιγνίτη βρίσκεται στα -22 απόλυτο υψόμετρο στην περιοχή του συγκλίνου. Στη διεύθυνση του συγκλίνου αναπτύσσονται οι εργασίες στα επίπεδα -15 και -21. Σημειώνει ότι στα 8 m κάτω από τον κύριο λιγνιτικό ορίζοντα εμφανίζεται δεύτερο στρώμα λιγνίτη μέσου πάχους 4 m.

## 2.5 Σύγχρονες έρευνες στην περιοχή των παλαιών λιγνιτωρυχείων

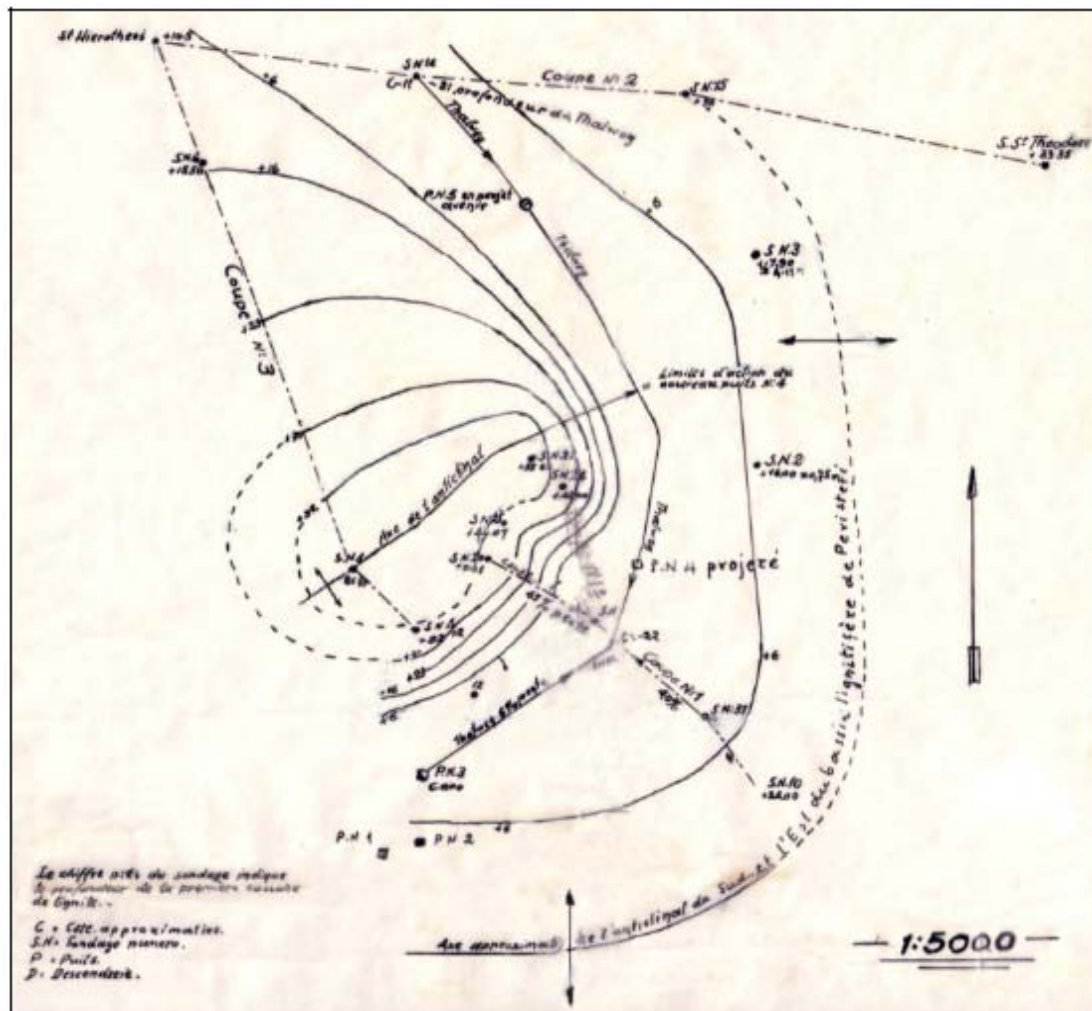
(*Εκθεση Μελέτης Γραφείου, Αττικό Μετρό, 2007*)

Το 1999 το Ι.Γ.Μ.Ε. ύστερα από σχετική ανάθεση του Δήμου Περιστερίου πραγματοποίησε γεωτεχνική έρευνα στο Περιστέρι (Ανθούπολη) που αργότερα μετεξέληξε σε «μικροζωνική». Σημειώνεται εδώ ότι, σύμφωνα και με το πόρισμα της Επιτροπής το 1958, ο χρόνος που απαιτείται για την πλήρη ηρεμία των εδαφών στην περιοχή δεν είναι δυνατόν να προσεγγιστεί υπολογιστικά, αφού πρόκειται για συνάρτηση με πολλές μεταβλητές, όπως η γεωμηχανική συμπεριφορά των εμπλεκόμενων γεωλογικών σχηματισμών, η υδροφορία της περιοχής, ο τρόπος απόληψης του λιγνίτη, τα κενά της εκμετάλλευσης, τα βάθη των εκσκαφών, η υποστήριξη της οροφής, ο χρόνος ζωής των υλικών υποστήριξης στις εκάστοτε συνθήκες, η λιθογόμωση ή όχι των κενών της εκμετάλλευσης, κλπ. (ΙΓΜΕ, 2008)

Πράγματι, από τις επιτόπιες παρατηρήσεις στα πλαίσια της μελέτης του Ι.Γ.Μ.Ε. (1999), προκύπτει εμφανώς ότι υπάρχουν περιοχές στις οποίες έχει επέλθει σχετική ηρεμία από πλευράς εδαφικών υποχωρήσεων, ενώ σε άλλες τα φαινόμενα συνεχίζονται ακόμα και σήμερα. Επομένως, ακόμα και σήμερα σαράντα (40) περίπου χρόνια μετά την διακοπή των εργασιών εκμετάλλευσης του λιγνίτη στην περιοχή, δεν φαίνεται ότι εξέλειπε οριστικά ο κίνδυνος από τη δραστηριότητα αυτή.

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

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



Εικόνα 2.9: Χάρτης ισοϋψών της οροφής του κυρίου λιγνιτικού ορίζοντα.

Η γεώτρηση ΤΗΡ18 ήταν δειγματοληπτική και ανορύχθηκε μέχρι βάθους 54.00. Από την επιφάνεια έως το βάθος των 31,00 m διατρήθηκε μαργαϊκός ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ σε εναλλαγές με αργιλώδη ΜΑΡΓΑ. Στη συνέχεια από τα 31.00 m έως τα 38,00 m αργιλώδης ΜΑΡΓΑ με ψαμμιτικές ενδιαστρώσεις. Από τα 38.00 m έως τα 49,00 m κυανότεφρη αργιλώδης ΜΑΡΓΑ με ενδιαστρώσεις λιγνίτη. Τέλος, από τα 49,00 m έως τα 54.00 m ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ και ΜΑΡΜΑΡΑ σε εναλλαγές. Δηλαδή οι πρώτοι λιγνιτικοί ορίζοντες εμφανίζονται σε βάθος που ξεπερνά τα 38.00

m. Οι ορίζοντες αυτοί δεν ήταν εκμεταλλεύσιμοι σε αυτό το βάθος, καθώς δεν συναντήθηκε κάποια υπόγειο άνοιγμα κατά την διάτρηση της γεώτρησης στην συγκεκριμένη θέση.

Η γεώτρηση THP1 διέτρησε από την επιφάνεια έως το βάθος των 22.30 m μαργαϊκό ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟ σε εναλλαγές με αργιλώδη ΜΑΡΓΑ. Στη συνέχεια από τα 22.30 m έως τα 86.10 m αργιλική ΜΑΡΓΑ με ψαμμιτικές ενδιαστρώσεις. Από τα 86.10 m έως τα 88.10 m ΣΤΟΑ παλαιού λιγνιτωρυχείου. Από τα 88.10 m έως τα 91.80 m ΛΙΓΝΙΤΗ σε εναλλαγές με αργιλική και αμμώδη ΜΑΡΓΑ. Τέλος, από τα 91.80 m έως τα 100.80 m ΛΙΓΝΙΤΗ.

Η καταστροφική γεώτρηση THP1-A, ανορύχθηκε έως το βάθος των 99,00 m και διάτρησε στοά ορυχείου σε βάθος από 87,00 m έως 88,00 m. Η καταστροφική γεώτρηση THP13 ανορύχθηκε έως το βάθος των 100,50 m και διάτρησε στοά ορυχείου σε βάθος από 77,00 m έως 79,50 m. Η καταστροφική γεώτρηση THP15 ανορύχθηκε μέχρι βάθους 108 m και δεν συνάντησε καμία στοά.

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

Συγκεκριμένα, στοές παλαιών λιγνιτωρυχείων απαντώνται στη Γεώτρηση THP1 από τα 86,10 m έως τα 88,10 m, στη Γεώτρηση THP1A από τα 87,00 m έως τα 88,00 m, στη Γεώτρηση THP3 από τα 78,40 m έως τα 80,90 m, στη Γεώτρηση THP4 από τα 66,40 m έως τα 69,00 m και στη Γεώτρηση THP13 από 77,00 m έως 79,50 m.

### **3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΠΟΥ ΥΠΑΡΧΟΥΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ** (*Έκθεση Μελέτης Γραφείου, Αττικό Μετρό, 2007*)

Τα στοιχεία σχετικά με τα υπόγεια δίκτυα Ο.Κ.Ω. αναφέρονται στα αντίστοιχα σχέδια των σχετικών οργανισμών. Τα βάθη των δικτύων, όσον αφορά στη Δ.Ε.Η. και στον Ο.Τ.Ε., δεν ξεπερνούν τα 2 m και αυτά των υδρευτικών και αποχετευτικών αγωγών τα 5 m.

#### **3.1 Τερματικό Φρέαρ**

Στην θέση κατασκευής του Τερματικού Φρέατος δεν απαντώνται δίκτυα Ο.Κ.Ω., καθώς αυτό διαμορφώθηκε σε ήδη κατασκευασμένο και επιχωμένο όρυγμα πολύ μεγαλύτερων διαστάσεων (το οποίο φέρει προσωρινή αντιστήριξη και είχε χρησιμοποιηθεί ως φρέαρ εκκίνησης του μηχανήματος OFS στα πλαίσια προηγούμενης εργολαβίας της Α.Μ.). Το Τερματικό Φρέαρ θα έχει συνολικό ύψος 23,00 m περίπου.

#### **3.2 Περιοχή Σταθμού ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ**

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

Κατά μήκος της οδού Ρούσβελτ διέρχεται αγωγός ύδρευσης ο οποίος συνδέεται με τον κεντρικό αγωγό επί της Λεωφ. Παναγή Τσαλδάρη.

Κατά μήκος της Λεωφ. Παναγή Τσαλδάρη διέρχεται καταργημένος αγωγός ομβρίων παράλληλα στον άξονα του έργου. Βρίσκεται δεξιά από τον άξονα του έργου και απέχει από 6,20 έως 7,70 m.

Επίσης υφίσταται ο εν λειτουργίας αγωγός ομβρίων σε απόσταση 4,20 έως 6,20 m δεξιά από τον άξονα του έργου.

Ακόμα, διέρχεται ο κεντρικός αγωγός αποχέτευσης, παράλληλα και σε απόσταση 5,20 m δεξιά από τον άξονα της σήραγγας.

Κατά μήκος της Λ. Παναγή Τσαλδάρη διέρχεται δίκτυο της Δ.Ε.Η. σε απόσταση μικρότερη των 2,20 m δεξιά από τον άξονα της σήραγγας και γραμμή Ο.Τ.Ε. σε απόσταση μικρότερη του 1 m δεξιά από τον άξονα του έργου.

Από την οδό Ρούσβελτ διασταυρώνεται αγωγός ύδρευσης με τον κεντρικό της Λ. Παναγή Τσαλδάρη.

Από την οδό Βεάκη διέρχεται επίσης δίκτυο Δ.Ε.Η. και Ο.Τ.Ε. το οποίο διασταυρώνεται με τα κεντρικά της Π. Τσαλδάρη στην συμβολή των οδών.

Τέλος από την οδό Αισώπου διέρχονται δίκτυα Δ.Ε.Η. και Ο.Τ.Ε. καθώς και αγωγοί ύδρευσης και αποχέτευσης οι οποίοι διασταυρώνονται με τους αντίστοιχους κεντρικούς αγωγούς της Λ. Παναγή Τσαλδάρη.

### **3.3 Περιοχή Κατασκευής Σήραγγας**

Λόγω έλλειψης στοιχείων για το τμήμα από την αρχή της επέκτασης έως και το φρέαρ πρόσβασης θεωρήθηκε ότι τα δίκτυα ΟΚΩ της Π. Τσαλδάρη συνεχίζονταν και σε αυτό το τμήμα με την ίδια διάταξη όπως αυτής του σταθμού Περιστερίου. Η διάταξή τους δεν ήταν ιδιαίτερης σημασίας για το έργο, καθώς σε αυτό το τμήμα θα κατασκευαζόταν η σήραγγα. Ούτε η κατασκευή του φρέατος πρόσβασης ενεπλάκη με τα υφιστάμενα δίκτυα Ο.Κ.Ω

## 4 Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ (Έκθεση Μελέτης Γραφείου, Αττικό

Μετρό, 2007)

Η περιοχή του έργου μορφολογικά εντάσσεται στο λεκανοπέδιο των Αθηνών. Το λεκανοπέδιο της Αθήνας έχει σχήμα επίμηκες με άξονα διεύθυνσης ΒΑ – ΝΔ και καλύπτει το κεντρικό τμήμα του νομού Αττικής. Ορίζεται στα νοτιοανατολικά από τη νότια απόληξη του Υμηττού (ακρωτήριο «Ζωστήρ»), στα βόρεια, βορειοδυτικά και δυτικά από την οροσειρά της Πάρνηθας και το όρος Αιγάλεω, με δυτική κατάληξη το ακρωτήριο Περάματος και ανατολικά από τον Υμηττό και τον αυχένα Σταυρού – Γαργητού.

Το μήκος του είναι 22 km και το μέσο πλάτος του 11 km περίπου. Μορφολογικά χωρίζεται σε ανατολικό και δυτικό τμήμα από μία σειρά λόφων που αναπτύσσονται πλησίον του κεντρικού του άξονα. Η σειρά αυτή απαρτίζεται από τα Τουρκοβούνια, τον Λυκαβηττό, την Ακρόπολη και τον λόφο του Φιλοπάππου. Το δυτικό τμήμα, όπου βρίσκεται και η περιοχή του έργου, αποστραγγίζεται από τον Κηφισό ποταμό, ο οποίος πηγάζει από τον αυχένα του Μπογιατίου και εκβάλλει στον όρμο του Φαλήρου (Ι.Γ.Μ.Ε., 1978).

### 4.1 Μορφολογία περιοχής του έργου

Το ανάγλυφο της περιοχής είναι ομαλό με ήπιες κλίσεις πρνανών γενικής διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ. Λοφώδεις εξάρσεις παρατηρούνται σε θέσεις ανάδυσης του γεωλογικού υποβάθρου. Ο κύριος ορεινός όγκος (Όρος Αιγάλεω) βρίσκεται σε απόσταση 3,0 km, περίπου, από την περιοχή του έργου, με υψόμετρο που ανέρχεται στα 450 m και ανάπτυγμα ΝΔ – ΒΑ διεύθυνσης. Το υψόμετρο στη θέση του σταθμού «ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ» κυμαίνεται μεταξύ + 64,00 m και + 56,50 m. Το χαμηλότερο υψομετρικά μορφολογικό στοιχείο της περιοχής είναι ο Κηφισός Ποταμός, ο οποίος, στο «ύψος» της οδού Παναγή Τσαλδάρη, έχει υψόμετρο περί τα + 44,00 m (Ι.Γ.Μ.Ε., 1978).

## 4.2 Περιγραφή στενής περιοχής του έργου

Η επέκταση της Γραμμής 2 σχεδιάστηκε να διέρχεται κάτω από το κατάστρωμα της Λ. Παναγή Τσαλδάρη, η οποία μετονομάζεται σε οδό Αναπαύσεως μετά την διασταύρωσή της με την Λ. Θηβών, περί τη Χ.Θ. 2+330 του έργου. Η σήραγγα από τη Χ.Θ. 1+829,70 (πριν το Δυτικό Φρέαρ Περιστερίου) έως τη Χ.Θ. 2+750 (είσοδος του Τερματικού Φρέατος) ήταν ήδη κατασκευασμένη.

Το δομημένο περιβάλλον στην περιοχή του έργου χαρακτηρίζεται από χαμηλά κτίρια δύο έως τριών ορόφων, με εξαίρεση ένα πενταόροφο κτίριο στην περιοχή του σταθμού ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ περί τη Χ.Θ. 2+360. Χαρακτηριστικό των σχετικά καλών συνθηκών, από την άποψη του δομημένου περιβάλλοντος, είναι η ύπαρξη μεγάλων ακάλυπτων περιοχών εκατέρωθεν του άξονα της γραμμής της επέκτασης.

Δεξιά του άξονα (όπως αυξάνει η χιλιομέτρηση), από την έναρξη της επέκτασης έως και τη Χ.Θ. 1+600 δεν υπάρχουν κτίρια, εκτός από αυτό στην συμβολή των οδών Πίνδου και Κ. Βάρναλη. Επίσης από τη Χ.Θ. 1+700 έως τη Χ.Θ. 1+850, εκατέρωθεν του άξονα υφίστανται ακάλυπτοι χώροι (δεξιά του άξονα το πάρκο του Ι. Ν. Ευαγγελιστρίας και αριστερά αυτού η πλατεία Δημοκρατίας). Παράλληλα, όμως, στην συγκεκριμένη περιοχή ευρίσκονται τα δύο σημαντικότερα κτίρια που συναντώνται κατά μήκος του άξονα του έργου: ο Ι. Ν. Ευαγγελιστρίας, στα αριστερά και το νέο Δημαρχείο, στα δεξιά. Η περιοχή δεξιά του άξονα του έργου από την διασταύρωση της Λ. Θηβών με τον οδό Αναπαύσεως, στο σταθμό «ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ», έως και τη Χ.Θ. 2+439, είναι διαμορφωμένη σε πάρκο.

Περί τη Χ.Θ. 2+400 της γραμμής, στα αριστερά, υπάρχει πρατήριο καυσίμων. Στην συγκεκριμένη θέση δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή κατά την κατασκευή του σταθμού, λόγω της ύπαρξης των υπογείων εγκαταστάσεων του πρατηρίου για την αποφυγή διαρροών καυσίμων. Στη θέση της οριστικής κατασκευής του Τερματικού Φρέατος υφίστατο ήδη εκσκαφθέν και επανεπιχωμένο φρέαρ, το οποίο είχε χρησιμοποιηθεί για την εκκίνηση του μηχανήματος OFS στα πλαίσια προηγούμενης εργολαβίας της Α.Μ.



Ολόκληρη η περιοχή της συγκεκριμένης επέκτασης του ΜΕΤΡΟ χαρακτηρίζεται από έντονη κυκλοφορία οχημάτων και πεζών καθ' όλη την διάρκεια του 24ώρου. Τα παρακείμενα της λεωφόρου κτίρια χρησιμοποιούνται, κυρίως, ως καταστήματα, γραφεία και χώροι μαζικής εξυπηρέτησης του κοινού και, λιγότερο, ως κατοικίες.

## **5 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΟΠΟΙΑΔΗΠΟΤΕ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΠΟΥ ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΩΣ ΝΑ ΕΙΧΑΝ ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΣΤΟ ΕΡΓΟ** *(Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Γεωτεχνικών Ερευνών, Αττικό Μετρό, 2007)*

### **5.1 Γενικά**

Η γεωλογική δομή του λεκανοπεδίου της Αθήνας παρουσιάζει πολυπλοκότητα όσον αφορά στο γεωτεκτονικό της πλαίσιο (βλέπε **Σχήμα 5.1.**).

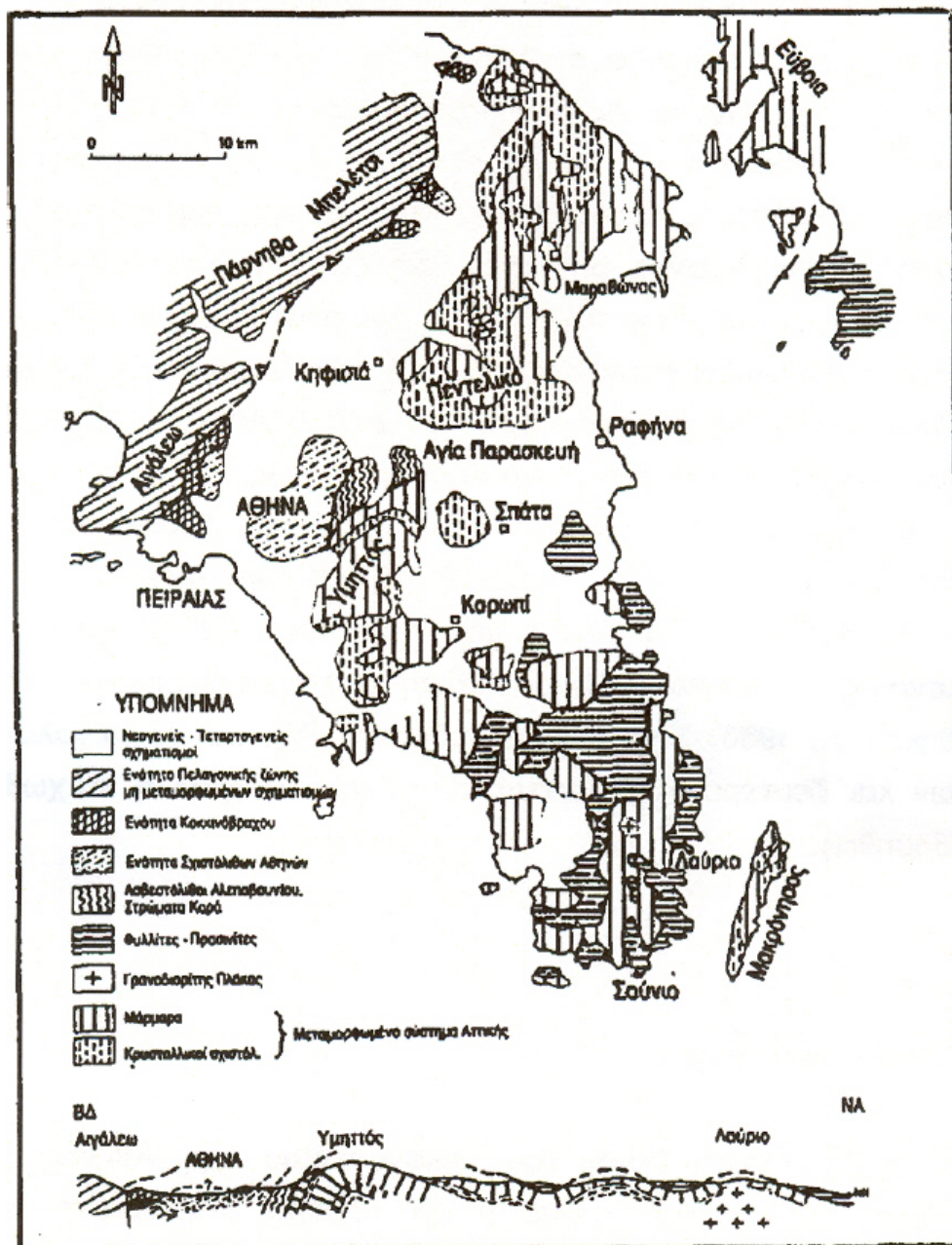
Το βορειοδυτικό του τμήμα καταλαμβάνεται από τους ορεινούς όγκους του Αιγάλεω και της Πάρνηθας, που συνίστανται σχεδόν εξ ολοκλήρου από ίζηματογενείς ανθρακικούς μη μεταμορφωμένους σχηματισμούς. Οι σχηματισμοί αυτοί ανήκουν στην Πελαγονική γεωτεκτονική ζώνη.

Το βορειοανατολικό και το νοτιοανατολικό τμήμα καταλαμβάνεται από τους ορεινούς όγκους της Πεντέλης και του Υμηττού, αντίστοιχα, που συνίστανται από μεταμορφωμένους σχηματισμούς. Οι σχηματισμοί αυτοί ανήκουν στην Αττικοκυκλαδική Μεταμορφωμένη Μάζα – Υποπελαγονική γεωτεκτονική ζώνη.

Το βορειοδυτικό τμήμα του λεκανοπεδίου των Αθηνών παρουσιάζει την παρακάτω στρωματογραφική διάρθρωση (**Ι.Γ.Μ.Ε., 1978**):

- Στη βάση υφίσταται το ελαφρά μεταμορφωμένο Νεοπαλαιοζωϊκό υπόβαθρο μετακλαστικών σχηματισμών με ανθρακικές ενστρώσεις.
- Ακολουθούν ανθρακικά πετρώματα Τριαδικής – Ιουρασικής ηλικίας, με μέγιστο πάχος περί τα 700 m. Στους ανωτέρω σχηματισμούς έχουν αποθεθεί οφιολιθικά πετρώματα λόγω παλαιοαλπικών πτυχώσεων.

- Τέλος, η στρωματογραφική στήλη συνεχίζεται με τους επικλυσιγενείς ασβεστόλιθους του Μέσου – Ανώτερου Κρητιδικού, που έχουν αποθεθεί ασύμφωνα στους προηγούμενους σχηματισμούς, με πάχος που ανέρχεται σε 300 m.



Εικόνα 5.1: Γεωλογικός χάρτης της νοτιοανατολικής Αττικής και γεωλογική τομή των σχηματισμών της περιοχής.

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ  
ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)

Η στρωματογραφική στήλη του όρους Αιγάλεω είναι η ακόλουθη (**Δούνας & Γαϊτανάκης, 1981**):

- Νεοπαλαιοζωϊκό – Μ. Τριαδικό: Τεφροπράσινοι αργιλικοί σχιστόλιθοι, ψαμμίτες, βασικά εκρηξιγενή και κροκαλοπαγή με ενστρώσεις και φακούς μελανότεφρων ασβεστολίθων
- Μ. Τριαδικό – Κ. Ιουρασικό: Ανοιχτότεφροι, μεσο-παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι – δολομίτες, που αποτελούν τον κύριο όγκο του όρους.
- Κενομάνιο – Σενώνιο: Επικλυσιγενείς, λεπτοστρωματώδεις ή μεσο-παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι, που κατά θέσεις καλύπτουν τα βωξιτικά και σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα.

Η στρωματογραφική διάρθρωση του βορειοανατολικού και νοτιοανατολικού τμήματος του λεκανοπεδίου, από τους παλαιότερους προς του νεότερους σχηματισμούς, είναι η ακόλουθη (**Lepsius, 1893**):

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

Επάνω σε αυτά τα στρώματα επικάθονται ασυμφώνως ο «Κατώτερος Ασβεστόλιθος» και τα «Στρώματα Καρά», Κατωκρητιδικής και Ιουρασικής ηλικίας, που εμφανίζονται στους βόρειους και δυτικούς πρόποδες του Υμηττού. Στη συνέχεια τοποθετούνται, επίσης με ασυμφωνία, οι «Σχιστόλιθοι των Αθηνών» και ο «Ανώτερος Ασβεστόλιθος του Λυκαβηττού», Κρητιδικής ηλικίας.

#### Περιοχή Ενδιαφέροντος

Η ευρύτερη περιοχή συνιστά την ιζηματογενή λεκάνη του Περιστερίου – Καλογρέζας (ή και τις ανατολικές παρυφές αυτής), της οποίας το γεωλογικό υπόβαθρο συνίσταται από τους «Σχιστόλιθους των Αθηνών». Μεγάλα τμήματα του συστήματος των σχιστόλιθων καλύπτονται από μικρού έως μεγάλου πάχους, νεότερης ηλικίας σχηματισμών του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς.

Αναλυτικά, οι σχηματισμοί που συναντώνται στη ευρύτερη του έργου περιοχή είναι :

- Οι Ασβεστόλιθοι του όρους Αιγάλεω. Τοποθετούνται βόρεια και βορειοδυτικά της θέσης του έργου, με λευκό έως τεφρό χρώμα και είναι συμπαγείς και ανακρυσταλλωμένοι.
- Οι Σχιστόλιθοι των Αθηνών. Αποτελούν το άμεσο υπόβαθρο της περιοχής του έργου. Συνίστανται από τεφρούς, κυανότεφρους ή υποπράσινους αργιλικούς και ψαμμιτικούς σχιστολίθους ασβεστιτικούς ψαμμίτες και γραουβάκες, με ενστρώσεις ασβεστόλιθων και σχιστωδών μαργών και με μικρά σώματα εκρηξιγενών πετρωμάτων, κυρίως σπιλιτών. Νοτιοδυτικά της υπό μελέτη περιοχής παρατηρείται ανάδυση των σχιστόλιθων στην επιφάνεια του εδάφους.
- Τα Νεογενή ιζήματα. Έχουν σημαντική επιφανειακή εμφάνιση δυτικά της θέσης του έργου. Συνίστανται από εναλλασσόμενα στρώματα, λιμναίας φάσης, μαργών, αργίλων και ψαμμιτών με παρεμβολές κροκαλοπαγών και κοιτάσματα λιγνιτών. Προς τα πάνω εξελίσσονται σε χερσαίους σχηματισμούς, κυρίως από ερυθροπηλούς και κροκαλοπαγή. Επικάθονται των Αθηναϊκών Σχιστόλιθων.
- Τεταρτογενείς αποθέσεις. Ριπίδια χειμάρρων, πλευρικά κορήματα και προσχωσιγενή υλικά κοιλάδων, αποτελούμενα από ασβεστολιθικά

λατυποκροκαλοπαγή, ισχυρώς συγκολλημένα από ψαμμιτομαργαϊκό συνδετικό υλικό.

- Αλλουβιακές αποθέσεις χαλαρών αργιλοαμμωδών υλικών με κροκαλολατύπες και ερυθρογή.

Οι τεταρτογενείς και αλλουβιακές αποθέσεις συναντώνται επιφανειακά σε όλη την έκταση του έργου με διάφορα πάχη σχηματισμών. Στην **Εικόνα 5.2** απεικονίζεται η γεωλογική δομή της περιοχής που περιγράφεται.

Η γεωλογική δομή της εγγύς περιοχής του έργου προκύπτει, πέρα από την επιφανειακή παρατήρηση, από την αξιολόγηση των στοιχείων των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων καθώς και από τις παρατηρήσεις κατά την διάρκεια κατασκευής της σήραγγας (με OFS) έως τη Χ.Θ. 1+829, ως ακολούθως:

- Σε όλο σχεδόν το μήκος της επέκτασης της Γραμμής 2 απαντήθηκαν επιφανειακά ανθρωπογενείς αποθέσεις. Οι αποθέσεις αυτές ήταν αναμεμιγμένες με τις ολοκαινικές αλλουβιακές προσχώσεις, δημιουργώντας ένα ενιαίο στρώμα, με πάχος κυμαινόμενο από 2,00 m έως 3,50 m, σύμφωνα με τα αποτελέσματα γεωτρήσεων. Αποτελούν, κυρίως, λεπτομερείς προσχώσεις, οι οποίες συνίστανται σε αμμώδεις αργίλους και αργιλώδεις χάλικες. Το επιφανειακό όριο αυτών των σχηματισμών με τις αδρομερείς προσχώσεις του βόρειου τομέα βρίσκεται περί τη Χ.Θ. 2+100 και αποτελεί σημαντικό στοιχείο για την υδρογεωλογία της περιοχής.
- Υποκείμενος σχηματισμός, χωρίς όμως επιφανειακή εμφάνιση στην περιοχή του έργου, είναι το Νεογενές. Συνίσταται από καστανά έως καστανέρυθρα ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή και λατυποπαγή, μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένα, τα οποία, κατά θέσεις, απαντώνται με την μορφή «αμμοχαλικών». Το πάχος του σχηματισμού στις γεωτρήσεις δεν ξεπερνά τα 6,00 m, ενώ συναντώνται μέχρι βάθους 7,20 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.
- Το υπόβαθρο της περιοχής αποτελεί ο σχηματισμός του «Αθηναϊκού Σχιστόλιθου». Ο «Αθηναϊκός Σχιστόλιθος» αποτελεί ένα πολύπλοκο σύστημα πετρωμάτων, το οποίο συνίσταται σε φλυσχοειδή ιζήματα τεφρών, καστανοπράσινων και φαιοπράσινων αργιλικών και ψαμμιτικών σχιστολίθων με παρεμβολές και

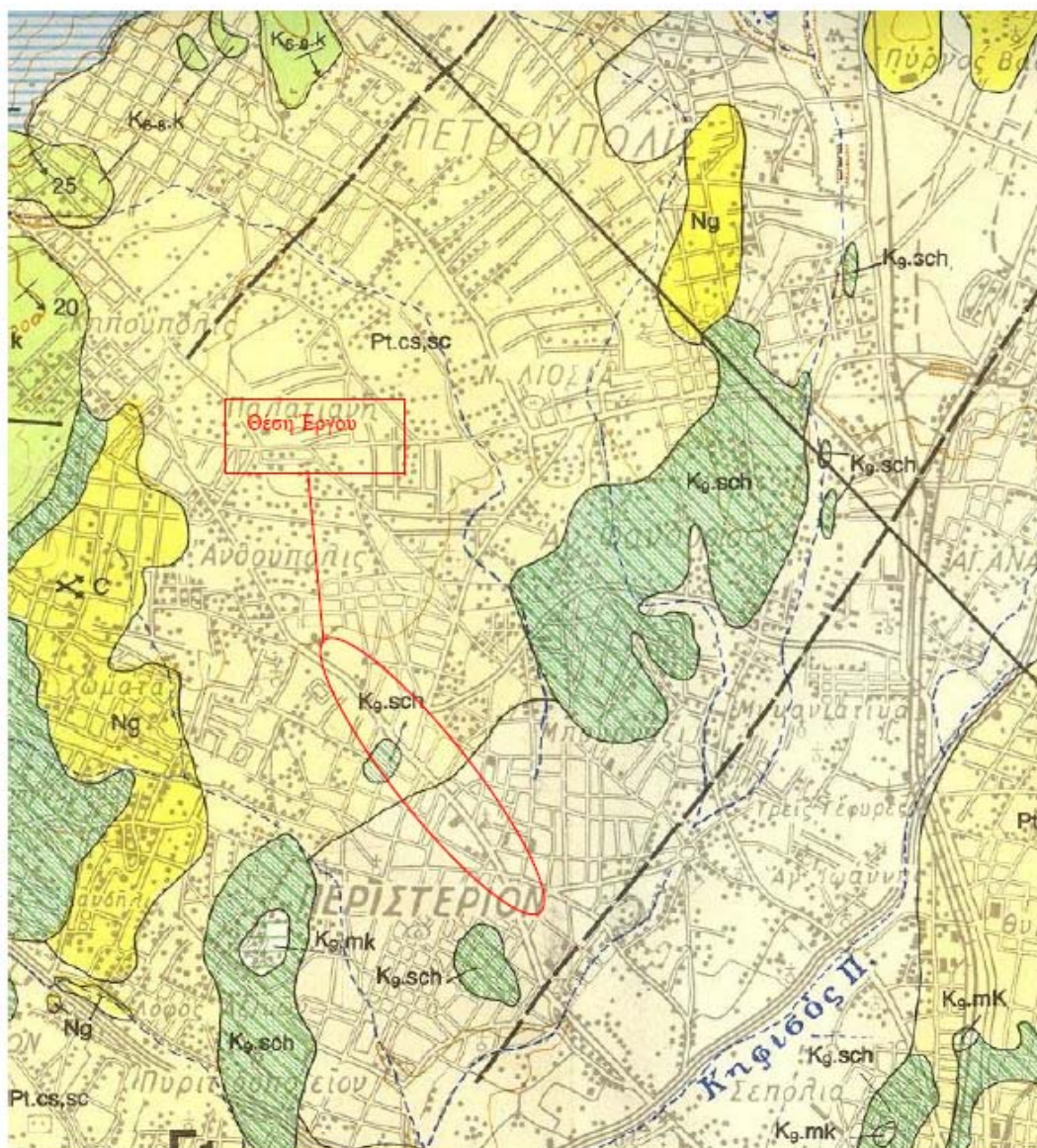
περιστρώσεις ασβεστιτικών ψαμμιτών, ασβεστολίθων και σχιστοδών μαργών με μικρά σώματα εκρηξιγενών πετρωμάτων, κυρίως σπηλιτών. Στην περιοχή του έργου εμφανίζεται με δύο μορφές:

- ο Η πρώτη μορφή συνίσταται από καστανοπράσινο αργιλικό σχιστόλιθο, μέτρια έως έντονα κερματισμένο και αποσαθρωμένο, σε εναλλαγές με τεφρό συμπαγή ελαφρά αποσαθρωμένο ασβεστόλιθο, με κυρίαρχο σχηματισμό τον σχιστόλιθο. Ο σχηματισμός απαντάται σε αυτή τη μορφή από τη αρχή της επέκτασης της Γραμμής 2 έως τη Χ.Θ. 2+477 στον σταθμό ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ, όπου στα δυτικά του βυθίζεται τεκτονικά κάτω από τους υπερκείμενους Νεογενείς σχηματισμούς.
- ο Η δεύτερη μορφή συνίσταται από εναλλαγές καστανοπράσινου, έντονα αποσαθρωμένου αργιλικού σχιστόλιθου με τεφρό συμπαγή, έως ελαφρά κερματισμένο και αποσαθρωμένο ασβεστόλιθο, με κυρίαρχη, όμως, την ασβεστολιθική φάση. Ο σχηματισμός απαντάται στην περιοχή του φρέατος πρόσβασης (Χ.Θ. 1+538 έως Χ.Θ. 1+600). Επίσης απαντάται από την αρχή του σταθμού ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ έως τη Χ.Θ. 2+390.
- Από τη 2+406 εμφανίζονται οι Νεογενείς μαργαϊκοί σχηματισμοί. Από τη Χ.Θ. 2+450 καταλαμβάνουν πλήρως το εύρος της σήραγγας. Συνίστανται, κυρίως, από αμμώδεις μάργες σε εναλλαγές με μαργαϊκούς ασβεστόλιθους.

Γενικά, η περιοχή του έργου καλύπτεται, επιφανειακά, από τις ολοκαινικές αλλουβιακές αποθέσεις (αναμεμιγμένες με επιχωματώσεις). Επιφανειακές εξάρσεις του «Αθηναϊκού Σχιστόλιθου» συναντώνται νοτιοδυτικά σε απόσταση περί τα 250 m, δυτικά σε απόσταση περί τα 900 m και στα βορειοανατολικά της θέσης του έργου σε απόσταση 800 m.

Περί τη Χ.Θ. 2+100 της χάραξη, οι πλειστοκαινικοί αδρομερείς σχηματισμοί προσχωσιγενών υλικών, οι οποίοι συνίστανται σε κροκάλες και λατύπες, με φακοειδείς ενστρώσεις καστανέρυθρου αμμώδους αργιλομαργαϊκού υλικού, εφάπτονται, επιφανειακά με τις λεπτομερέστερες ολοκαινικές αλλουβιακές αποθέσεις. Η διεύθυνση της επαφής των επιφανειακών αυτών σχηματισμών είναι «κάθετη» ως προς τον άξονα του έργου.

Στην περιοχή του Τερματικού Φρέατος αναπτύσσονται μέσα στα νεογενή λιγνιτικοί ορίζοντες σε βάθη που ξεπερνούν τα 60 m.



*Εικόνα 5.2: Γεωλογικός χάρτης περιοχής όπου διενεργήθηκε η μελέτη (ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ, Φύλλο ΑΘΗΝΑΙ – ΕΛΕΥΣΙΣ / ΓΓΜΕ 1986 – κλίμακα 1:50.000).*

## 5.2 Τεκτονική

Από τεκτονική άποψη στην περιοχή του όρους Αιγάλεω αξιοσημείωτες είναι οι αλληπάλλληλες εφιππεύσεις, ενώ οι κύριες διευθύνσεις ρηγματώσεων είναι ΒΑΑ – ΝΔΔ και ΒΔ-ΝΑ. Το ίδιο το όρος Αιγάλεω αποτελεί αντίκλινο με διεύθυνση άξονα

*ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ  
ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)*



ΒΑ – ΝΔ. Το λεκανοπέδιο των Αθηνών, με διεύθυνση ΒΑ – ΝΔ, αποτελεί τεκτονική τάφρο και σε αυτήν ρέει ο Κηφισός ποταμός, τα δε περιφερειακά ρήγματά της τοποθετούνται χρονικά από Άνω Μειόκαινο έως το Πλειόκαινο (**ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ, 1998**).

Οι κύριες διευθύνσεις των τεκτονικών στοιχείων στην ευρύτερη περιοχή είναι ΒΑ – ΝΔ. Ιδιαίτερης σημασίας τεκτονική δομή αποτελεί το πιθανό ρήγμα που απεικονίζεται στο γεωλογικό χάρτη (**Σχήμα 5.2.**). Η διεύθυνσή του είναι παράλληλη με την κοίτη του ρέματος της Πικροδάφνης (ΝΔ – ΒΑ) και σε απόσταση περί τα 150 m βορειότερα από αυτό, ευρίσκεται δε περί τα 500 m νότια από τη θέση του Σταθμού «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» και τέμνει, σχεδόν κάθετα, τον άξονα της γραμμής του ΜΕΤΡΟ, πολύ κοντά στον σταθμό ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ.

## 6 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟ

### ΚΑΘΕΣΤΩΣ (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007)

#### 6.1 Υδρογραφικό δίκτυο

Στο υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής κυριαρχεί ο Κηφισός Ποταμός, ο οποίος αποτελεί τον κύριο και τελικό αποδέκτη όλων των υπολοίπων ρεμάτων. Επίσης, σημαντικό υδρογραφικό στοιχείο αποτελεί το ρέμα της Πικροδάφνης, το οποίο, μαζί με τον Κηφισό, έχουν διαμορφώσει ένα ευρύ αλλουβιακό πεδίο με διεύθυνση ΒΑ – ΝΔ που καλύπτει την περιοχή του έργου. Το ρέμα της Πικροδάφνης διέρχεται κάθετα τον άξονα του ΜΕΤΡΟ, κοντά στο σταθμό (νοτιότερα) του ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΥ.

Στα ανάντη της περιοχής που εξετάζεται υφίστανται δεκάδες κλάδοι μικρής τάξης, οι οποίοι αποδίδονται στην κατείδυση του νερού στους χαλαρούς σχηματισμούς, με αποτέλεσμα τη δημιουργία επιφανειακών υδροφορέων. Οι περισσότεροι από αυτούς έχουν επιχωθεί ή αντικατασταθεί με οχετούς και επιχωθεί στα πλαίσια της οικιστικής ανάπτυξης της περιοχής.

Στον γεωλογικό χάρτη της περιοχής διακρίνεται, επίσης, ρέμα αγνώστου ονομασίας, το οποίο πηγάζει από τις υπώρειες του όρους Αιγάλεω και διέρχεται από τα Νέα Λιόσια σε απόσταση περί τα 750 m από την θέση του σταθμού ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ εντός των ολοκαινικών αλλουβιακών αποθέσεων, τροφοδοτώντας, έτσι τους επιφανειακούς υδροφόρους ορίζοντες (βλέπε **Εικόνα 5.2**).

#### 6.2 Υδρογεωλογικές συνθήκες

Η υδρογεωλογική συμπεριφορά των λιθολογικών σχηματισμών που δομούν την περιοχή μελέτης έχει ως εξής:

- Οι ανθρωπογενείς και ολοκαινικές αποθέσεις παρουσιάζουν μέτρια έως υψηλή υδροπερατότητα λόγω της αδρομερούς, κυρίως, φύσης τους σε συνδυασμό με την χαμηλή τους πυκνότητα.
- Τα νεογενή κροκαλοπαγή, λόγω ύπαρξης ρηγματώσεων και ασθενέστερης συγκόλλησης των υλικών τους, παρουσιάζουν υψηλό δευτερογενές πορώδες,

με αποτέλεσμα να επιτρέπουν την κυκλοφορία του υπόγειου νερού μέσα από τη μάζα τους.

- Ο σχηματισμός του «Αθηναϊκού Σχιστολίθου», λόγω της μεγάλης ετερογένειάς του, παρουσιάζει ανομοιόμορφη υδρογεωλογική συμπεριφορά. Γενικά, θεωρείται αδιαπέρατος, ιδιαίτερα στη φάση του αργιλικού σχιστολίθου. Οι ενδιάμεσες όμως φάσεις του με αργιλικό και ψαμμιτικό σχιστόλιθο καθώς και η αμιγώς ψαμμιτική του φάση αναπτύσσουν δευτερογενές πορώδες και συνεπώς μικρή έως μέτρια υδροπερατότητα. Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση εναλλαγών του με ασβεστολίθους.
- Οι μάργες είναι επίσης αδιαπέρατος σχηματισμός και μόνο σε θέσεις ψαμμιτικής σύστασης και κροκαλοπαγών είναι δυνατή η κυκλοφορία υδάτων.

Παράγοντες που επηρεάζουν τις υδραυλικές ιδιότητες ενός σχηματισμού είναι ο βαθμός αποσάθρωσης και κερματισμού, η πτύχωση των στρωμάτων και η ύπαρξη ρηγμάτων, η εγγύτητα σε ρέματα και ποταμούς, η γενικότερη διαμόρφωση της λεκάνης απορροής καθώς και η οικιστική ανάπτυξη, η οποία συντελεί σε μειωμένη κατείσδυση, αυξημένη επιφανειακή απορροή και σε εμπλουτισμό των υδροφορέων μέσω διοχέτευσης αστικών και βιομηχανικών λυμάτων στο υπέδαφος.

Στην ευρύτερη περιοχή του έργου, η επιφανειακή αλλά κυρίως η υπόγεια απορροή του όρους Αιγάλεω έχει κύρια διεύθυνση ΒΑ – ΝΔ, καταλήγοντας στη λίμνη Κουμουνδούρου απαλλάσσοντας έτσι την λεκάνη του Περιστερίου από την κυκλοφορία ενός σημαντικού όγκου υπόγειων νερών. Στο παρελθόν η άναρχη δόμηση κι η διοχέτευση των αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων στο υπέδαφος είχαν σαν αποτέλεσμα την ανύψωση της στάθμης των υπόγειων νερών ως την επιφάνεια, γεγονός που πραγματεύεται μελέτη του ΙΓΜΕ κατά το έτος 1978.

Ο Κηφισός Ποταμός αποτελεί το κυρίαρχο υδρογεωλογικό και υδρογραφικό στοιχείο της περιοχής, ο οποίος σε πλημμυρικές του φάσεις δύναται να τροφοδοτήσει τις εγγείς σε αυτόν περιοχές με μεγάλες ποσότητες υδάτων (πχ. Περιοχή Τσαλαβούτα). Η διαμόρφωση κι ο εγκιβωτισμός του περιορίζει τέτοια φαινόμενα σε μικρές αποστάσεις από την κύρια κοίτη του.

Τα υπόγεια ύδατα, σύμφωνα με τις υδροϊσοβαθείς καμπύλες (Σεπτέμβριος 1976, αλλά και Σεπτέμβριος 1997), παρουσιάζουν σχεδόν παράλληλη ροή με τη διεύθυνση του άξονα της σήραγγας στην περιοχή του έργου. Η στάθμη αυτών, σύμφωνα με τους πιεζομετρικούς χάρτες, κυμαίνεται στην περιοχή μελέτης μεταξύ +47 m έως +49 m από τις Χ.Θ. 1+450 έως Χ.Θ. 1+600 αντίστοιχα. Στον σταθμό Περιστερί κυμαίνεται μεταξύ μεταξύ +50 m έως +56 m από τις Χ.Θ. 1+600 έως Χ.Θ. 2+100. Στο σταθμό Ανθούπολης μεταξύ +59 m έως +62 m.

Τέλος στο Τερματικό φρέαρ η στάθμη κυμαίνεται μεταξύ +64 m έως +66 m. Στην περιοχή του Περιστερίου υπήρχαν 150 αρδευτικά φρέατα τις δεκαετίες του 1950 – 1960, βάθους μέχρι 20.00 m τα οποία είχαν ανορυχθεί σε μάργες ή σχιστόλιθους στις ψηλές περιοχές και στα τεταρτογενή στις χαμηλότερες. Σήμερα τα φρέατα αυτά έχουν καταστραφεί. Στον **Πίνακα 6.1** παρουσιάζονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα των δοκιμαστικών αντλήσεων (1977) που πραγματοποιήθηκαν σε αρδευτικά φρέατα στην ευρύτερη περιοχή Περιστερίου σε σχέση με τους αντίστοιχους λιθολογικούς σχηματισμούς. Τα στοιχεία των φρεάτων και των αντλήσεων του πίνακα αυτού είναι παλαιά, της τάξεως των 20 ετών και δεν θεωρούνται αξιοποιήσιμα.

### **6.3 Μετρήσεις και δοκιμές στις ανορυχθείσες γεωτρήσεις**

Κατά τη διάρκεια του γεωτρητικού προγράμματος πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στάθμης στις ανορυχθείσες γεωτρήσεις, καθώς και μετρήσεις στάθμης από πιεζόμετρα που ήταν τοποθετημένα μέσα σε αυτές. Τέλος, έγιναν δοκιμές υδροπερατότητας (Lugeon, Maag, Air-lift) μέσω των οποίων κατέστη δυνατός ο προσδιορισμός της υδροπερατότητας των σχηματισμών που δομούν την περιοχή.

#### **6.3.1 Διακύμανση στάθμης γεωτρήσεων**

Κατά την διάρκεια των εργασιών υπαίθρου μετρήθηκαν και καταγράφηκαν σε καθημερινή βάση η στάθμη πριν την έναρξη (πρωινή) και μετά το πέρας (βραδινή) των εργασιών, του νερού μέσα στις γεωτρήσεις.

Οι μετρήσεις αυτές είναι επηρεασμένες από το νερό που χρησιμοποιήθηκε κατά την διάτρηση και δεν αποτελούν αντιπροσωπευτικές τιμές για τη στάθμη των υπόγειων υδάτων εκτός ίσως από την πρωινή λόγω του μεγαλύτερου χρόνου ηρεμίας.

**Πίνακας 6.1: Στάθμες υπόγειων νερών σε φρέατα (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007)**

ΑΡΙΘΜΟΣ ΦΡΕΑΤΟΣ	ΘΕΣΗ ΦΡΕΑΤΟΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΑΝΩΤΕΡΗ ΣΤΑΘΜΗ (m)
Φ24	ΑΡΧΙΜΗΔΟΥΣ ΚΑΙ ΖΗΝΩΝΟΣ, ΟΤ 305	14-05-76	3,64
Φ30	ΕΛΛΗΣΠΟΝΤΟΥ ΚΑΙ ΠΥΡΓΟΥ ΔΥΡΟΥ, ΟΤ340	15-05-76	1,70
Φ31	ΠΥΡΓΟΥ ΔΥΡΟΥ, ΟΤ 351	25-09-76	3,10
Φ32	ΞΕΝΟΦΩΝΤΟΣ, ΟΤ 323	25-09-76	2,67
Φ33	ΜΑΔΥΤΟΥ, ΟΤ 369	27-09-76	2,31
Φ49	ΕΛ. ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ, ΟΤ 246	25-03-77	3,58
Φ50	ΛΑΥΡΙΟΥ ΚΑΙ 25ΗΣ ΜΑΡΤΙΟΥ, ΟΤ 251	25-03-77	4,09
Φ51	ΡΟΥΣΒΕΛΤ, ΟΤ 109	07-04-77	4,28
Φ86	ΣΑΛΑΜΙΝΟΣ, ΟΤ 236 2-4	02-04-77	3,67

Στον **Πίνακα 6.2** δίδονται οι καθημερινές καταγραφές της στάθμης (πρωί – βράδυ) σε σχέση με την ημερήσια πρόοδο ανόρυξης, το βάθος και τον τύπο της σωλήνωσης.

**Πίνακας 6.2: Ημερήσιες στάθμες γεωτρήσεων (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΒΑΘΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ (m)	ΒΑΘΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ (m)		ΤΥΠΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ (m)	ΒΑΘΟΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ - σχετικό (m)		ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
			ΑΠΟ	ΕΩΣ		Πρωί	Βράδυ	
CATP1	1/11/2006	11.10	0.00	3.00	Φ140	---	2.90	Απώλειες επιστρεφόμενων υδάτων της τάξης του 10% στο βάθος 2,00-27,00m.
	2/11/2006	18.80	0.00	3.00	Φ140	5.10	2.70	
	3/11/2006	27.00	0.00	3.00	Φ140	7.00	7.90	
CATP4	23/10/2006	6.72	0.00	3.00	Φ140	---	1.50	Απώλειες επιστρεφόμενων υδάτων της τάξης του 10-20% στο βάθος 2,30-15,90m και της τάξης του 40-60% στο βάθος 17,40-25,00m.
	24/10/2006	15.90	0.00	3.00	Φ140	3.50	2.50	
	25/10/2006	25.00	0.00	3.00	Φ140	6.50	15.20	
CAFP1AC	23/10/2006	4.90	0.00	2.50	Φ140	---	1.10	Απώλειες επιστρεφόμενων υδάτων της τάξης του 20-30% στο βάθος 22,70-25,70m και ολικές απώλειες (100%) των επιστρεφόμενων υδάτων στο βάθος 12,35-22,70m.
	24/10/2006	16.70	0.00	2.50	Φ140	2.80	ΣΤΕΓΝΗ	
	25/10/2006	27.10	0.00	2.50	Φ140	ΣΤΕΓΝΗ	6.45	
CATE1	7/12/2006	6.70	0.00	2.00	Φ140	---	1.00	Απώλειες επιστρεφόμενων υδάτων της τάξης του 10% στο βάθος 2,00-27,30m.
	8/12/2006	14.50	0.00	2.00	Φ140	3.50	1.40	
	11/12/2006	18.50	0.00	2.00	Φ140	6.10	1.50	
	12/12/2006	20.10	0.00	2.00	Φ140	7.00	1.50	
	14/12/2006	23.90	0.00	2.00	Φ140	7.50	2.50	
CATP5	6/11/2006	7.70	0.00	3.00	Φ140	---	2.00	Απώλειες επιστρεφόμενων υδάτων της τάξης του 10% στο βάθος 2,00-25,00m.
	7/11/2006	17.70	0.00	3.00	Φ140	2.90	3.00	
	8/11/2006	23.20	0.00	3.00	Φ140	6.00	2.00	
	9/11/2006	25.00	0.00	3.00	Φ140	7.50	2.50	
CASE1T	18/12/2006	9.90	0.00	3.00	Φ140	---	1.50	Απώλειες επιστρεφόμενων υδάτων της τάξης του 10% στο βάθος 2.10-29.50m.
	19/12/2006	14.00	0.00	5.50	Φ140	6.50	1.30	
	20/12/2006	20.50	0.00	5.50	Φ140	5.50	1.60	
	21/12/2006	29.50	0.00	5.50	Φ140	7.20	1.50	
		0.00	26.00	Φ117				

Ημερήσιες στάθμες γεωτρήσεων (Συνέχεια)

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΒΑΘΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ (m)	ΒΑΘΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ (m)		ΤΥΠΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ (m)	ΒΑΘΟΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ - σχετικό (m)		ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
			ΑΠΟ	ΕΩΣ		Πρωί	Βράδυ	
CASP3T	10/11/2006	11.20	0.00	3.50	Φ140	---	1.80	Απώλειες επιστρεφόμενων υδάτων της τάξης του 10% στο βάθος 2,00-29,00m.
	13/11/2006	17.40	0.00	3.50	Φ140	4.20	3.00	
	14/11/2006	23.60	0.00	3.50	Φ140	5.10	3.50	
	15/11/2006	28.20	0.00	3.50	Φ140	5.50	3.70	
	16/11/2006	29.00	0.00	3.50	Φ140	6.30	2.80	
CASP4T	20/11/2006	9.50	0.00	3.00	Φ140	---	2.00	Απώλειες επιστρεφόμενων υδάτων της τάξης του 10% στο βάθος 1,30-35,00m.
	21/11/2006	18.80	0.00	3.00	Φ140	4.50	2.10	
	22/11/2006	27.60	0.00	3.00	Φ140	4.60	2.80	
	23/11/2006	33.00	0.00	3.00	Φ140	5.60	2.50	
	24/11/2006	35.00	0.00	3.00	Φ140	4.00	2.00	
CASN1T	27/11/2006	2.30	---	---	---	---	ΣΤΕΓΝΗ	Απώλειες επιστρεφόμενων υδάτων της τάξης του 10% στο βάθος 1,50-4,90m και 10,00-35,00m, της τάξης του 30% στο βάθος 4,90-6,30m και ολικές απώλειες (100%) των επιστρεφόμενων υδάτων στο βάθος 6,30-10,00m.
	28/11/2006	10.00	0.00	3.00	Φ140	ΣΤΕΓΝΗ	3.60	
	29/11/2006	20.00	0.00	3.00	Φ140	6.00	2.50	
	30/11/2006	26.20	0.00	3.00	Φ140	4.60	2.70	
	1/12/2006	27.40	0.00	3.00	Φ140	5.10	2.35	
	4/12/2006	30.40	0.00	3.00	Φ140	6.80	2.00	
CASH1CC2	5/10/2006	8.40	0.00	8.40	Φ140	---	1.50	
	6/10/2006	15.00	0.00	10.30	Φ140	1.80	2.50	
CASN2	7/11/2006	2.00	0.00	2.00	Φ140	---	ΣΤΕΓΝΗ	Απώλειες επιστρεφόμενων υδάτων της τάξης του 5-10% στο βάθος 2,00-2,80m και 5,80-35,00m και της τάξης του 20% στο βάθος 2,80-5,60m.
	8/11/2006	14.80	0.00	2.80	Φ140	ΣΤΕΓΝΗ	0.80	
	9/11/2006	22.50	0.00	2.80	Φ140	1.40	1.70	
	10/11/2006	30.00	0.00	2.80	Φ140	7.20	2.50	
	13/11/2006	35.00	0.00	2.80	Φ140	7.00	3.50	
CASH2CC2	9/10/2006	8.50	0.00	7.40	Φ140	---	2.20	
	10/10/2006	15.00	0.00	9.50	Φ140	2.20	2.20	
CASP5	18/10/2006	4.40	0.00	3.00	Φ140	---	ΣΤΕΓΝΗ	---
	19/10/2006	12.50	0.00	12.50	Φ140	2.20	ΣΤΕΓΝΗ	
	20/10/2006	18.20	0.00	18.00	Φ140	2.50	3.50	
	23/10/2006	21.60	0.00	21.00	Φ140	4.50	2.40	
	24/10/2006	24.30	0.00	24.00	Φ140	4.40	2.40	
	25/10/2006	26.90	0.00	25.90	Φ140	4.40	2.80	
	26/10/2006	32.50	0.00	28.50	Φ140	4.60	3.00	
CASN4	14/11/2006	4.20	0.00	3.80	Φ140	---	1.70	Απώλειες επιστρεφόμενων υδάτων της τάξης του 10% στο βάθος 4,20-31,00m, της τάξης του 20% στο βάθος 2,00-2,50m και 3,20-4,20m και ολικές απώλειες (100%) των επιστρεφόμενων υδάτων στο βάθος 2,50-3,20m.
	15/11/2006	13.20	0.00	3.80	Φ140	2.00	1.80	
	16/11/2006	19.90	0.00	3.80	Φ140	2.20	1.50	
	17/11/2006	25.70	0.00	3.80	Φ140	1.80	2.00	
	20/11/2006	34.30	0.00	3.80	Φ140	2.50	2.20	
	21/11/2006	35.50	0.00	3.80	Φ140	3.20	4.50	
CBKN1	27/11/2006	7.70	0.00	3.00	Φ140	---	3.00	Απώλειες επιστρεφόμενων υδάτων της τάξης του 10% στο βάθος 22,80-30,10m και της τάξης του 20% στο βάθος 2,00-22,80m.
	28/11/2006	13.00	0.00	3.00	Φ140	4.10	5.00	
	29/11/2006	21.20	0.00	3.00	Φ140	7.00	9.00	
	30/11/2006	29.30	0.00	3.00	Φ140	9.30	6.50	
	1/12/2006	30.10	0.00	3.00	Φ140	7.50	6.00	

### Ημερήσιες στάθμες γεωτρήσεων (Συνέχεια)

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΒΑΘΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ (m)	ΒΑΘΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ (m)		ΤΥΠΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ (m)	ΒΑΘΟΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ - σχετικό (m)		ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
			ΑΠΟ	ΕΩΣ		Πρωί	Βράδυ	
CBFP2W	1/11/2006	10.50	0.00	3.20	Φ140	---	1.10	Απώλειες επιστρεφόμενων υδάτων της τάξης του 5% στο βάθος 5,91-30,00m.
	2/11/2006	17.80	0.00	3.20	Φ140	2.30	2.60	
	3/11/2006	24.70	0.00	3.20	Φ140	6.10	1.60	
	6/11/2006	30.00	0.00	3.20	Φ140	9.30	2.40	
CBSP1	4/1/2007	6.20	0.00	2.50	Φ140	---	1.60	Απώλειες επιστρεφόμενων υδάτων της τάξης του 10% στο βάθος 2.40-31.00m.
	5/1/2007	12.20	0.00	2.50	Φ140	3.00	1.20	
	8/1/2007	19.30	0.00	2.50	Φ140	3.20	1.40	
	9/1/2007	24.60	0.00	2.50	Φ140	3.40	1.50	
	10/1/2007	31.00	0.00	2.50	Φ140	3.20	1.70	
CBSP2	18/12/2006	9.50	0.00	3.00	Φ140	---	1.05	---
	19/12/2006	18.80	0.00	3.00	Φ140	4.60	3.10	
	20/12/2006	27.40	0.00	3.00	Φ140	5.10	2.90	
	21/12/2006	31.00	0.00	3.00	Φ140	5.50	2.40	
CBSP3	11/12/2006	14.20	0.00	7.90	Φ140	---	2.50	Απώλειες επιστρεφόμενων υδάτων της τάξης του 10% στο βάθος 2,00-5.40m.
	12/12/2006	19.80	0.00	7.90	Φ140	3.00	2.70	
	13/12/2006	26.90	0.00	7.90	Φ140	3.20	2.80	
	14/12/2006	31.20	0.00	7.90	Φ140	3.50	3.00	
CBSP4	18/12/2006	8.40	0.00	2.70	Φ140	---	1.30	---
	19/12/2006	20.50	0.00	2.70	Φ140	1.80	2.20	
	20/12/2006	29.50	0.00	2.70	Φ140	2.50	2.80	
	21/12/2006	31.00	0.00	2.70	Φ140	2.90	2.50	
CCFP1	14/10/2006	8.97	0.00	9.00	Φ140	---	2.20	---
	16/10/2006	21.40	0.00	14.70	Φ140	7.40	7.00	
	17/10/2006	28.80	0.00	14.70	Φ140	16.50	16.00	
CCFP2	11/10/2006	6.30	0.00	3.50	Φ140	---	---	---
	12/10/2006	18.60	0.00	8.50	Φ140	5.30	4.00	
	13/10/2006	29.00	0.00	12.00	Φ140	9.40	9.00	

### 6.3.2 Στάθμη Πιεζομέτρων

Σε ορισμένες από τις γεωτρήσεις που ανορύχθησαν καθ' όλο το μήκος του έργου τοποθετήθηκαν πιεζόμετρα ελεύθερου τύπου, τύπου Casagrande και δονούμενης χορδής. Τα πιεζόμετρα αυτά μετρήθηκαν σε τακτά χρονικά διαστήματα, μετά την τοποθέτησή τους, και οι ενδείξεις των μετρήσεων παρατίθενται στον **Πίνακα 6.3**. Οι μετρήσεις αυτές αναφέρονται έως την ημερομηνία υποβολής της παρούσας έκθεσης και αναφέρονται σε μετρήσεις χειμερινής περιόδου, με σχετικά μικρό όμως ποσοστό βροχόπτωσης.

Στον **Πίνακα 6.3** δίδονται και οι ισοδύναμες στάθμες της μετρηθείσας πίεσης από τα πιεζόμετρα δονούμενης χορδής.



Πίνακας 6.3: Στάθμες πιεζομέτρων (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007)

ΓΕΩΤΡ.		Οκτώβριος		Νοέμβριος		Δεκέμβριος						Ιανουάριος						Φεβρουάριος				Μάρτιος	Απρίλιος		
		25/10/06	27/10/06	6/11/06	21/11/06	1/12/06	7/12/06	14/12/06	15/12/06	20/12/06	22/12/06	27/12/06	3/1/07	4/1/07	9/1/07	12/1/07	19/1/07	26/1/07	2/2/07	9/2/07	16/2/07	26/2/07	14/3/07	3/4/07	
CATP1	SP								19.20	19.40		19.36	19.32			19.31	19.16	19.31	19.30	19.35	19.31	19.37	19.46	19.41	
CATP2	CS																		19.42	19.45	19.51	19.56	19.63	19.57	
CATP3	SP																	19.53	19.49	19.53	20.60	20.64	20.70	20.67	
CAFP2AC	VW																22.36	22.85	22.82	22.85	23.08	23.07	23.18	22.88	
CATP4	SP				20.95			20.83		20.81		20.80		20.82	20.80	20.78	22.82	22.72	22.65	22.70	22.81	22.86	23.04	22.90	
CAFP1AC	VW	19.69		-	20.92	20.98		21.03		21.07		21.18		21.03	21.22	21.31	21.81	21.24	21.22	21.24	21.29	21.26	21.35	21.31	
CAFP4E	VW																					13.14	13.16	13.29	13.35
CAFP3E	VW																					3.62	3.63	3.64	3.70
CATP5	CS						4.10	4.10		4.10		4.07	4.03			4.03	4.02	0.00	3.09	3.07	3.58	3.56	3.65	3.75	
CASP3T	SP						4.00	3.84		3.97		3.93	3.89			3.82	3.77	3.73	3.74	3.69	3.91	3.86	4.00	4.01	
CASP1T	VW																	3.65	3.68	3.68	3.69	3.73	3.82	3.94	
CASP4T	SP						3.60	3.68		3.95		3.78	3.79			3.83	3.85	3.90		3.70	3.66	3.65	3.80	3.88	
CASP6	VW																			5.20	5.24	5.25	5.35	5.77	
CASR1	CS									5.33		5.27	5.24			5.17	5.35	5.31	5.14	5.12	4.13	-	-	5.15	
CASP5	VW		8.09	8.42	8.45	8.54		8.60				8.66	8.94			9.09	9.08	7.77	8.97	9.00	8.91	8.96	9.03	9.26	
CASP7	VW																				-	6.68	6.68	-	6.88
CBFP1W	VW																			16.89	16.83	16.98	17.03	16.71	
CBFP2W	VW	10.24		10.69	-	11.19		11.37				11.49	11.53			11.58	11.56	11.54	11.53	11.57	11.49	11.51	11.59	11.72	
CBSP1	VW															3.93	4.17	4.35	4.55	4.59	4.59	-	5.16	5.49	
CBSP2	VW										5.27	5.31	5.50			5.54	5.51	5.51	5.51	5.57	5.59	5.47	5.45	5.84	
CBSP3	VW								2.46			2.54	2.80			-	2.82	2.77	2.80	2.82	-	1.93	2.73	3.00	
CBSP4	VW										2.60	2.66	2.87			2.90	2.85	2.86	2.87	2.85	2.86	3.24	3.14	3.42	
CBSP5	VW																					-	4.62	4.76	
CBSP6	VW																					-	3.64	3.88	
CCFP1	SP		19.05		18.30		18.06	17.93		17.70		17.48	17.26			16.07	16.32	16.29	16.34	16.32	16.26	16.28	16.33	15.81	
CCFP2	SP		19.30		18.60		18.42	18.15		17.82		17.53	16.72			17.09	18.38	18.42	18.44	18.45	18.22	18.23	18.29	17.50	

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)

### 6.3.3 Δοκιμές Air-Lift

Σε ορισμένες από τις γεωτρήσεις εκτελέσθηκαν εργασίες ανάπτυξης των πιεζομέτρων με την μέθοδο επαναφοράς της στάθμης (Air-Lift). Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν συνοπτικά η ακόλουθη:

Αρχικά μετράται η στάθμη του πιεζομέτρου πριν πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε άλλη εργασία. Στη συνέχεια τοποθετείται μεταλλικός σωλήνας ½’’ στο βαθύτερο σημείο της γεώτρησης. Το κατώτερο άκρο του μεταλλικού σωλήνα (μήκους περίπου 1,5 m) είναι διάτρητο (μεταλλικό ακροφύσιο) έτσι ώστε η έξοδος είτε του νερού είτε του αέρα να γίνεται με φόρα προς τα πάνω για την αποφυγή καταστροφής του πιεζομέτρου. Στο κατώτερο τμήμα του μεταλλικού ακροφυσίου υπάρχει προσαρμοσμένος περιφραγματικός μεταλλικός σωλήνας (μήκος περίπου 2 m και διαμέτρου 1’’) για την ομαλή έξοδο του νερού – αέρα.

Στην αρχή γίνεται καθαρισμός του πιεζομέτρου με διοχέτευση καθαρού νερού μέσα από το μεταλλικό σωλήνα, με χαμηλή πίεση και σταθερή ροή μέσω αντλίας νερού. Όταν το νερό που βγαίνει από τη γεώτρηση είναι σχετικά διαυγές και χωρίς χονδρόκοκκο υλικό σταματά το πλύσιμο της γεώτρησης. Στη συνέχεια συνδέεται ο μεταλλικός σωλήνας με αεροσυμπιεστή χαμηλής πίεσης και ξεκινά η διαδικασία εισαγωγής αέρα. Η διάρκεια του air-lift είναι τέτοια έτσι ώστε από τη γεώτρηση να εξέλθει η μεγαλύτερη δυνατή ποσότητα νερού και το νερό από την επαναφορά να είναι διαυγές.

Τέλος, αφού εξέλθει ο μεταλλικός σωλήνας εισόδου νερού – αέρα, πραγματοποιούνται μετρήσεις επαναφοράς της στάθμης του πιεζομέτρου με την πάροδο του χρόνου για τα ακόλουθα διαστήματα: Τα πρώτα δέκα λεπτά ανά λεπτό, στη συνέχεια ανά πέντε λεπτά έως την συμπλήρωση μισής ώρας και μετά ανά ώρα μέχρι την επαναφορά της στάθμης του πιεζομέτρου στην αρχική του στάθμη. Στον **Πίνακα 6.4.** που ακολουθεί συνοψίζονται τα στοιχεία των δοκιμών επαναφοράς στάθμης στις γεωτρήσεις. Σε ορισμένες γεωτρήσεις στις οποίες δεν κατέστη δυνατή η επαναφορά της αρχικής στάθμης κατά τη δοκιμή Air-Lift πραγματοποιήθηκε δοκιμή υδατοπερατότητας τύπου Maag. Τα αποτελέσματα δίδονται στον **Πίνακα 6.5.**

**Πίνακας 6.4: Στοιχεία επαναφοράς στάθμης με την διαδικασία air-lift (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007)**

A/A	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ AIRLIFT	ΑΡΧΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ (m)	ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
1	CATP1	13/1/2007	19.40	19.42	10 min	---
2	CATP4	13/1/2007	21.00	21.00	10 min	---
3	CATP5	9/11/2006	2.50	4.38	1h+20 min	---
4	CASP3T	13/1/2007	3.80	4.05	3 h	---
5	CASP4T	13/1/2007	4.00	9.75	2 h	---
6	CASR1	15/12/2006	3.30	7.14	2 h	---
7	CBSP1	13/1/2007	3.80	4.23	1h+30 min	---
8	CBSP2	21/12/2006	1.30	5.20	55 min	---
9	CBSP3	14/12/2006	3.00	5.18	2 h	---
10	CBSR1	13/1/2007	2.80	5.25	4 h	---
11	CBSP4	21/12/2006	3.00	3.00	1 h	---
12	CCFP1	13/1/2007	18.40	18.40	10 min	---

**Πίνακας 6.5: Στοιχεία επαναφοράς στάθμης τύπου ΜΑΑΓ σε πιεζόμετρα (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007)**

A/A	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΡΧΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ (m)	ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
1	CATP1	13/01/2007	19.42	14.25	2h	---
2	CATP4	13/01/2007	21.00	19.81	30 min	---
3	CCFP1	13/01/2007	18.40	18.23	30 min	---

#### 6.3.4 Δοκιμές υδροπερατότητας Maag

Κατά τη διάρκεια των διατηρητικών εργασιών των γεωτρήσεων εκτελέσθηκαν επί τόπου δοκιμές εισπίεσεως τύπου Maag για τον προσδιορισμό της διαπερατότητας των εδαφικών σχηματισμών. Κατά τη δοκιμή αυτή μετρήθηκε η πώση της στάθμης της στήλης του νερού μέσα στη σωληνωμένη γεώτρηση σε συνάρτηση με τον χρόνο και προσδιορίστηκε ο συντελεστής διαπερατότητας, που αντιστοιχεί στο βάθος της δοκιμής. Στον **Πίνακα 6.6** που ακολουθεί δίνεται για κάθε γεώτρηση η ημερομηνία

εκτέλεσης της δοκιμής, το βάθος της δοκιμής, το μήκος του ασωλήνωτου τμήματος, ο υπολογιζόμενος μέσος ενδεικτικός συντελεστής διαπερατότητας, καθώς και η συνοπτική περιγραφή του σχηματισμού στον οποίο εκτελέστηκε η δοκιμή.

**Πίνακας 6.6: Αποτελέσματα δοκιμών υδροπερατότητας τύπου ΜΑΑΓ (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μέτρο, 2007)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΜΗΚΟΣ ΑΣΩΛΗΝΩΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ (m)	ΜΕΣΟΣ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ k (cm/sec)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ
		ΑΠΟ	ΕΩΣ			
CATP1	1/11/2006	3.00	5.50	2.50	1.06E-05	Άμμος καλής διαβάθμισης με ιλύ και χαλίκια (SW-SM) έως ιλυώδεις χάλικες με άμμο (GM) (ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΕΣ) και θραύσματα ψαμμίτη
CATP4	23/10/2006	3.00	5.70	2.70	6.16E-05	Ασβεσπτικός ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
CAFP1AC	23/10/2006	2.50	4.90	2.40	2.36E-06	ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ / ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
CATE1	7/12/2006	2.00	4.40	2.40	1.12E-04	ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ έως τα 3,10m, ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ έως τα 4,40m.
CATP5	6/11/2006	3.00	4.70	1.70	1.53E-05	ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΕΣ
CASE1T	18/12/2006	3.00	4.70	1.70	1.10E-04	ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ
CASP3T	10/11/2006	3.50	4.80	1.30	1.53E-05	ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ έως τα 4,00m ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ έως ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΕΣ
CASP4T	20/11/2006	3.00	5.60	2.60	2.03E-05	ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ έως τα 3,50m, ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
CASN1T	28/11/2006	3.00	4.90	1.90	2.18E-04	ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ / ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΕΣ
CASH1CC2	5/10/2006	5.30	6.50	1.20	5.93 x 10 <sup>-4</sup>	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
CASN2	8/11/2006	2.80	5.60	2.80	1.43E-04	ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ / ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΕΣ
CASH2CC2	9/10/2006	2.20	3.30	1.10	-	ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ

**Αποτελέσματα δοκιμών υδροπερατότητας τύπου ΜΑΑΓ (Συνέχεια)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΜΗΚΟΣ ΑΣΩΛΗΝΩΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ (m)	ΜΕΣΟΣ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ k (cm/sec)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ
		ΑΠΟ	ΕΩΣ			
CASP5	19/10/2006	3.00	6.00	2.00	1.41E-04	ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ έως τα 4,50m, ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ
	19/10/2006	9.00	10.40	1.40	5.30E-05	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ / ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ (Τοπικά αποσυντίθενται σε μέσους-χονδρούς, ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο (GM) έως ιλυώδη ΑΜΜΟ)
	20/10/2006	12.50	14.00	1.50	6.48E-05	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ / ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ (Τοπικά αποσυντίθενται σε μέσους-χονδρούς, ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο (GM) έως ιλυώδη ΑΜΜΟ)
	23/10/2006	19.70	21.60	2.90	6.88E-05	Τεκτονικό Λατυποπαγές ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗ και ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΥ έντονα κερματισμένων. (Αποσυντίθενται σε ιλυώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SM) έως μέσους-χονδρούς, ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ)
	25/10/2006	25.90	26.90	1.00	4.40E-05	Ασβεσπικός ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
	25/10/2006	28.50	30.20	1.70	2.12E-05	Ασβεσπικός ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ έως τα 29.30m, Αργιλικός ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ. (Αποσυντίθεται σε ιλυώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SM) έως τα 30.20m.
CASN4	15/11/2006	3.80	5.30	1.50	3.07E-05	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
CBKN1	27/11/2006	3.30	5.40	2.10	1.04E-04	ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΕΣ / ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ έως τα 3,70m, ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ / ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ έως τα 4,80m, ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ (Τοπικά αποσυντίθεται σε ιλυώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SM) έως αργιλώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SC)
	28/11/2006	6.50	9.40	2.90	1.17E-04	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ (Τοπικά αποσυντίθεται σε ιλυώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SM) έως αργιλώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SC)

**Αποτελέσματα δοκιμών υδροπερατότητας τύπου MAAG (Συνέχεια)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΜΗΚΟΣ ΑΣΩΛΗΝΩΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ (m)	ΜΕΣΟΣ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ k (cm/sec)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ
		ΑΠΟ	ΕΩΣ			
CBFP2W	1/11/2006	3.20	5.70	2.50	1.18E-04	ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΕΣ – ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ έως Αποσπασθωμένος ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ (Ιλυώδης ΑΜΜΟΣ με χαλίκια (SM))
CBSP1	4/1/2007	2.50	3.90	1.40	6.30E-05	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
CBSP2	18/12/2006	3.00	4.70	1.70	2.61E-05	ΜΕΤΑΛΥΟΛΙΘΟΣ / ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ (Αποσυντίθεται σε αμμώδη ισχνή ΑΡΓΙΛΟ με λεπτά - μεσαία χαλίκια (CL) έως τα 3,70m, ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ/ΜΕΤΑΛΥΟΛΙΘΟΣ (Αποσυντίθεται σε ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο (GM) έως ιλυώδη ΑΜΜΟ με χαλίκια (SM) έως τα 4,70m.
CBSP3	11/12/2006	4.00	5.40	1.40	4.03E-05	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ (Αποσυντίθεται σε αμμώδη ισχνή ΑΡΓΙΛΟ με λεπτά - μεσαία χαλίκια (CL), αργιλώδη έως ιλυώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SC) (SM), μέσου, ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο (GM) έως μέσου-χονδρούς ΧΑΛΙΚΕΣ κακής διαβάθμισης με ιλύ και άμμο (GP-GM)
		7.90	10.10	2.20	3.57E-05	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ (Αποσυντίθεται σε αμμώδη ισχνή ΑΡΓΙΛΟ με λεπτά - μεσαία χαλίκια (CL), αργιλώδη έως ιλυώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SC) (SM), μέσου, ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο (GM) έως μέσου-χονδρούς ΧΑΛΙΚΕΣ κακής διαβάθμισης με ιλύ και άμμο (GP-GM)
CBSP4	18/12/2006	2.70	5.50	2.80	1.66E-05	Ισχνή ΑΡΓΙΛΟ με άμμο και λιγα χαλίκια (CL) έως τα 4,20m, ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ έως τα 5,50m
CCFP1	14/10/06	3.50	5.10	1.60	1.45 x 10 <sup>-3</sup>	ΜΑΡΓΑ
	16/10/06	9.00	10.00	1.00	2.56 x 10 <sup>-3</sup>	ΜΑΡΓΑ
	16/10/06	14.70	16.30	1.60	6.72 x 10 <sup>-4</sup>	ΜΑΡΓΑ
CCFP2	11/10/06	3.50	4.80	1.30	1.38 x 10 <sup>-3</sup>	ΜΑΡΓΑ
	12/10/06	8.00	9.30	1.30	1.47 x 10 <sup>-3</sup>	ΜΑΡΓΑ

**6.3.5 Δοκιμές Εισπίεσης Lugeon**

Κατά τη διάρκεια των διατρητικών εργασιών των γεωτρήσεων, σε βραχώδεις σχηματισμούς εκτελέστηκαν δοκιμές εισπίεσεως τύπου Lugeon για τον προσδιορισμό της διαπερατότητας του βραχώδους υποβάθρου. Κατά τη δοκιμή Lugeon μετρήθηκε η απορροφούμενη ποσότητα νερού στο εισπιεζόμενο τμήμα με διάφορες βαθμίδες πίεσεως σε ανιόντα και κατιόντα βήματα σε συνάρτηση με το χρόνο. Προσδιορίστηκε

έτσι ένας ενδεικτικός μέσος συντελεστής διαπερατότητας, που αντιστοιχεί στη μέση τιμή των συντελεστών από όλα τα βήματα και για το βάθος της δοκιμής. Τα βήματα πίεσεως, που επελέγησαν για τις δοκιμές Lugeon ήταν ανάλογα με το βάθος δοκιμής, τη δομή του πετρώματος και τη φύση των ασυνεχειών. Τα αποτελέσματα δίδονται στον Πίνακα 6.7.

**Πίνακας 6.7: Δοκιμές εισπίεσης LUGEON (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗ ΠΙΕΣΗ (kg/cm <sup>2</sup> )	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K (cm/sec)	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K <sub>w</sub> (cm/sec)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	ΑΠΟ	ΕΩΣ					
CATP1	6.10	11.10	1.46	3.23E-05	4.95E-05	Ασβεστικός ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ. Στο βάθος 7.50-8.50m ζώνη διάτμησης (Χάλικες με άμμο)	---
			2.46	4.80E-05			
			3.46	5.67E-05			
			2.46	6.05E-05			
			1.46	5.01E-05			
	10.40	15.40	1.41	4.87E-05	3.85E-05	Ασβεστικός ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ.. (ΧΑΛΙΚΕΣ καλής διαβάθμισης με άμμο (GW) έως τα 14,30m. Ασβεστικός ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ έως τα 15,40m	---
			2.41	4.91E-05			
			4.41	4.45E-05			
			2.41	2.65E-05			
			1.41	2.35E-05			
	15.40	20.40	2.51	2.92E-05	3.28E-05	Ασβεστικός ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	---
			3.51	3.30E-05			
			4.51	5.24E-05			
			3.51	3.03E-05			
			2.51	1.88E-05			

**Δοκιμές εισπίεσης LUGEON (Συνέχεια)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗ ΠΙΕΣΗ (kg/cm <sup>2</sup> )	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K (cm/sec)	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K <sub>w</sub> (cm/sec)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	ΑΠΟ	ΕΩΣ					
CATP1	22.00	27.00	2.84	2.75E-05	3.30E-05	Ασβεστικός ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	---
			3.84	3.27E-05			
			4.84	5.86E-05			
			3.84	2.77E-05			
			2.84	1.83E-05			
CATP4	4.75	9.75	1.45	1.31E-05	1.63E-05	Ασβεστικός ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ έως 7,50m. Ασβεστικός ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ έως 9,75m.	---
			2.45	2.42E-05			
			3.45	3.98E-05			
			2.45	2.90E-06			
			1.45	1.64E-06			
	10.90	15.90	1.84	2.83E-05	4.38E-05	Ασβεστικός ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	---
			2.84	4.92E-05			
			4.84	4.79E-05			
			2.84	5.34E-05			
			1.84	3.99E-05			
	15.30	20.30	2.71	2.01E-05	2.74E-05	Ασβεστικός ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	---
			3.71	3.70E-05			
			5.71	4.06E-05			
			3.71	2.74E-05			
			2.71	1.22E-05			
20.00	25.00	2.06	3.89E-05	4.86E-05	Ασβεστικός ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	---	
		3.06	4.55E-05				
		5.06	5.84E-05				
		3.06	5.09E-05				
		2.06	4.92E-05				
CAFP1AC	5.85	10.85	1.19	3.97E-04	3.54E-04	ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ/ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	---
			2.18	3.26E-04			
			3.15	2.84E-04			
			2.17	3.40E-04			
			1.19	4.21E-04			



**Δοκιμές εισπίεσης LUGEON (Συνέχεια)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗ ΠΙΕΣΗ (kg/cm <sup>2</sup> )	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K (cm/sec)	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K <sub>u</sub> (cm/sec)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	ΑΠΟ	ΕΩΣ					
CAFP1AC	10.40	15.40	-	-	-	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	Αδυναμία αύξησης πίεσης πάνω από 0,5 Atm (max. παροχή αντλίας 120 lt/min). Ολικές απώλειες υδάτων
	15.00	20.00	-	-	-	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	Αδυναμία αύξησης πίεσης πάνω από 0,5 Atm (max. παροχή αντλίας 120 lt/min). Ολικές απώλειες υδάτων
	20.70	25.70	1.39	8.50E-05	4.77E-05	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	---
			2.39	3.86E-05			
			4.39	4.25E-05			
2.39			2.97E-05				
1.39	4.25E-05						
CATE1	5.70	10.70	1.32	1.96E-05	1.63E-05	Ασβεστικός ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	---
			2.32	1.73E-05			
			3.32	1.85E-05			
			2.32	1.02E-05			
			1.32	1.61E-05			
	11.10	16.10	1.33	5.53E-05	4.40E-05	Ασβεστικός ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	---
			3.33	4.41E-05			
			4.33	5.47E-05			
			3.33	2.84E-05			
			1.33	3.75E-05			
	18.00	23.00	1.29	3.66E-05	2.92E-05	Ασβεστικός ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ / ΜΕΤΑΛΥΟΛΙΘΟΣ έντονα διατμημένος έως εδαφοποιημένος. ΜΕΤΑΛΥΟΛΙΘΟΣ έως τα 23,00m	---
			3.29	2.87E-05			
			5.29	4.65E-05			
			3.29	1.58E-05			
1.29			1.83E-05				

**Δοκιμές εισπίεσης LUGEON (Συνέχεια)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗ ΠΙΕΣΗ (kg/cm <sup>2</sup> )	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K (cm/sec)	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K <sub>μ</sub> (cm/sec)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	ΑΠΟ	ΕΩΣ					
CATP5	5.80	10.80	0.92	1.54E-05	2.02E-05	Τεκτονικό Λατυποπαγές, (Ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο (GM) έως αργιλώδη ΑΜΜΟ με χαλίκια (SC)	---
			1.42	3.49E-05			
			2.42	2.73E-05			
			1.42	1.83E-05			
			0.92	5.12E-06			
	12.00	17.00	1.42	2.99E-05	1.92E-05	Τεκτονικό Λατυποπαγές, (Ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο (GM) έως αργιλώδη ΑΜΜΟ με χαλίκια (SC) έως τα 15,10m. Αργιλικός ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ (Ιλυώδη ΑΜΜΟ με χαλίκια (SM) έως τα 17,00m.	---
			2.42	2.73E-05			
			3.42	2.49E-05			
			2.42	1.07E-05			
			1.42	3.32E-06			
	16.90	21.90	1.54	2.15E-05	1.48E-05	Αργιλικός ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ (Ιλυώδη ΑΜΜΟ με χαλίκια (SM)	---
			2.54	2.23E-05			
			3.54	2.20E-05			
			2.54	6.52E-06			
			1.54	1.54E-06			
CASE1T	7.30	12.30	1.27	2.80E-05	2.50E-05	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ / ΜΕΤΑΛΥΟΛΙΘΟΣ, (Αποσυντίθεται σε ιλυώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SM) έως τα 9,00m ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ / ΜΕΤΑΛΥΟΛΙΘΟΣ (Τοπικά αποσυντίθεται σε ιλυώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SM) έως τα 11,50m, ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ κερματισμένος έως τα 12,30m.	---
			2.27	3.34E-05			
			3.27	3.62E-05			
			2.27	2.19E-05			
			1.27	5.59E-06			
	13.10	18.10	1.27	3.73E-05	2.88E-05	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ κερματισμένος έως τα 14,00m, ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ / ΜΕΤΑΛΥΟΛΙΘΟΣ έντονα τεκτονισμένος (Αποσυντίθεται σε αργιλώδη ΑΜΜΟ με λίγα λεπτά χαλίκια, (SC) έως τα 15,80m, ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ έως τα 18,10m	---
			2.27	3.13E-05			
			4.27	2.88E-05			
			2.27	2.81E-05			
			1.27	1.86E-05			

**Δοκιμές εισπίεσης LUGEON (Συνέχεια)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗ ΠΙΕΣΗ (kg/cm <sup>2</sup> )	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K (cm/sec)	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K <sub>u</sub> (cm/sec)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	ΑΠΟ	ΕΩΣ					
CASP3T	5.00	10.00	0.90	1.58E-05	1.58E-05	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ. (Ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο (GM))	---
			1.40	2.37E-05			
			1.90	2.99E-05			
			1.40	6.78E-06			
			0.90	2.65E-06			
	11.60	16.60	1.45	3.25E-05	2.21E-05	ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ, (Αμμώδης ισχνή ΑΡΓΙΛΟΣ (CL), ισχνή ΑΡΓΙΛΟΣ με άμμο (CL) έως αργιλώδης ΑΜΜΟΣ)	---
			1.95	3.03E-05			
			2.45	3.28E-05			
			1.95	1.33E-05			
			1.45	1.63E-06			
	17.30	22.30	1.45	3.25E-05	2.40E-05	ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ, (Αμμώδης ισχνή ΑΡΓΙΛΟΣ (CL), ισχνή ΑΡΓΙΛΟΣ με άμμο (CL) έως αργιλώδης ΑΜΜΟΣ) έως τα 18,00m. ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ / ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ έως τα 21,50m. Αργιλικός Σχιστόλιθος έως τα 22,30m	---
			2.45	2.31E-05			
			3.45	3.77E-05			
			2.45	2.02E-05			
			1.45	6.51E-06			
	21.40	26.40	1.44	2.14E-05	1.83E-05	Αργιλικός ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ, (αργιλώδης ΑΜΜΟΣ με χαλίκια (SC))	---
			2.44	2.23E-05			
			3.44	2.34E-05			
			2.44	1.94E-05			
			1.44	4.93E-06			
CASP4T	5.50	10.50	0.95	3.72E-05	2.71E-05	Ασβεστιτικός ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ έως τα 6,20m ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ έντονα κερματισμένος (ιλυώδης έως αργιλώδης ΑΜΜΟΣ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SM) (SC)).	---
			1.45	3.74E-05			
			1.95	3.99E-05			
			1.45	1.63E-05			
			0.95	4.95E-06			
	12.00	15.00	1.37	5.09E-05	3.24E-05	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ (θρυμματισμένες ζώνες όπου αποσυντίθεται σε μέσους-χονδρού ΧΑΛΙΚΕΣ κακής διαβάθμισης με ιλύ και άμμο (GP-GM) έως ιλυώδη ΑΜΜΟ με μεσαία-χονδρά χαλίκια (SM))	---
			2.37	4.85E-05			
			2.87	4.25E-05			
			2.37	1.77E-05			
			1.37	2.55E-06			

**Δοκιμές εισπίεσης LUGEON (Συνέχεια)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗ ΠΙΕΣΗ (kg/cm <sup>2</sup> )	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K (cm/sec)	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K <sub>w</sub> (cm/sec)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	ΑΠΟ	ΕΩΣ					
CASP4T	20.40	25.40	1.34	3.52E-05	3.54E-05	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ / ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ	---
			2.34	2.72E-05			
			4.34	3.21E-05			
			2.34	3.83E-05			
			1.34	4.40E-05			
	27.00	32.00	1.33	2.84E-05	2.80E-05	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ / ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ έως τα 29,60m ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ έντονα κερματισμένος. (Αποσυντίθεται σε ιλυώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SM) έως ΧΑΛΙΚΕΣ, μέσοι-χονδροί, καλής διαβάθμισης, με ιλύ και άμμο (GW-GM).	---
			3.33	3.55E-05			
			5.33	4.17E-05			
			3.33	2.20E-05			
			1.33	1.24E-05			
CASN1T	5.00	10.00	1.05	1.36E-05	1.25E-05	ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ / ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΕΣ έως τα 6,00m, ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ / ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ (Τοπικά αποσυντίθεται σε ιλυώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SM) έως τα 10,00m	---
			1.55	2.14E-05			
			2.55	2.23E-05			
			1.55	3.06E-06			
			1.05	2.27E-06			
	14.40	19.40	1.43	1.65E-05	1.91E-05	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ (Τοπικά αποσυντίθεται σε ιλυώδη ΑΜΜΟ με λεπτά χαλίκια (SM) έως τα 17,00m, ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ / ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ έως τα 19,40m,	---
			2.43	2.53E-05			
			3.43	2.96E-05			
			2.43	1.75E-05			
			1.43	6.60E-05			
	21.20	26.20	1.40	3.38E-05	2.67E-05	Αργιλικός Σχιστόλιθος Αποσυντίθεται σε μεσόκοκκη-λεπτόκοκκη ιλυώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SM) έως μέσου-χονδροί ΧΑΛΙΚΕΣ καλής διαβάθμισης με ιλύ και άμμο (GW-GM). Στο βάθος 25.20-26.00m Μεταψαμμίτης.	---
			2.40	2.86E-05			
			3.40	3.48E-05			
			2.40	1.97E-05			
1.40			1.69E-05				
CASN2	6.00	11.00	1.28	2.02E-06	6.62E-06	Αργιλώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο (GC), ΧΑΛΙΚΕΣ καλής διαβάθμισης, με άργιλο και άμμο, (GW-GC), αργιλώδης-ιλυώδης ΑΜΜΟΣ με λεπτά-μεσαία χαλίκια, (SC) (SM) και τοπικά αμμώδης ισχνή ΑΡΓΙΛΟΣ, (CL). (Έντονα κερματισμένος ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ)	---
			2.28	1.04E-05			
			3.28	1.37E-05			
			2.28	5.18E-06			
			1.28	1.85E-06			

**Δοκιμές εισπίεσης LUGEON (Συνέχεια)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗ ΠΙΕΣΗ (kg/cm <sup>2</sup> )	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K (cm/sec)	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K <sub>u</sub> (cm/sec)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	ΑΠΟ	ΕΩΣ					
CASN2	11.00	16.00	1.29	3.67E-06	8.69E-06	Αργιλώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο (GC), ΧΑΛΙΚΕΣ καλής διαβάθμισης, με άργιλο και άμμο, (GW-GC), αργιλώδης-ιλυώδης ΑΜΜΟΣ με λεπτά-μεσαία χαλίκια, (SC) (SM) και τοπικά αμμώδης ισχνή ΑΡΓΙΛΟΣ, (CL). (Έντονα κερματισμένος ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ)	---
			2.29	1.03E-05			
			3.29	1.73E-05			
			2.29	1.03E-05			
			1.29	1.84E-06			
	16.00	21.00	1.28	185E-06	9.87E-06	Αργιλώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο (GC), ΧΑΛΙΚΕΣ καλής διαβάθμισης, με άργιλο και άμμο, (GW-GC), αργιλώδης-ιλυώδης ΑΜΜΟΣ με λεπτά-μεσαία χαλίκια, (SC) (SM) και τοπικά αμμώδης ισχνή ΑΡΓΙΛΟΣ, (CL). (Έντονα κερματισμένος ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ)	---
			2.28	1.45E-05			
			3.28	2.31E-05			
			2.28	6.22E-06			
			1.28	3.69E-06			
	19.90	24.90	1.51	1.57E-05	2.08E-05	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ / ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ	---
			2.51	1.89E-05			
			3.51	3.78E-05			
			2.51	1.60E-05			
			1.51	1.57E-05			
	25.00	30.00	1.33	1.78E-06	6.80E-06	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ / ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ	---
2.33			1.02E-05				
3.33			1.42E-05				
2.33			6.09E-06				
1.33			1.78E-06				
CASN4	5.70	10.70	1.37	2.07E-08	2.53E-06	Αποσαθρωμένος ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ (Αργιλώδης ΑΜΜΟΣ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SC) έως αμμώδης ισχνή ΑΡΓΙΛΟΣ (CL) με λίγα χαλίκια) έως τα 7,60m. ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ. (Τοπικά αποσυντίθεται σε μέσου-χονδρούς, αργιλώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο (GC) έως αργιλώδη ΑΜΜΟ με λεπτά χαλίκια (SC) έως τα 10,70m.	---
			2.37	2.99E-06			
			3.37	5.61E-06			
			2.37	3.99E-06			

**Δοκιμές εισπίεσης LUGEON (Συνέχεια)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗ ΠΙΕΣΗ (kg/cm <sup>2</sup> )	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K (cm/sec)	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K <sub>u</sub> (cm/sec)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	ΑΠΟ	ΕΩΣ					
CASN4	10.00	15.00	1.36	2.09E-08	6.11E-06	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ. (Τοπικά αποσυντίθεται σε μέσους-χονδρούς, αργιλώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο (GC) έως αργιλώδη ΑΜΜΟ με λεπτά χαλίκια (SC) έως τα 13,00m. ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ (Τοπικά αποσυντίθεται σε μέσους-χονδρούς, αργιλώδεις έως ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο (GC) (GM) έως αργιλώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SC) έως τα 15,00m.	---
			2.36	8.02E-06			
			3.36	1.55E-05			
			2.36	7.02E-06			
	15.40	20.40	1.32	2.15E-08	1.01E-05	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ (Τοπικά αποσυντίθεται σε μέσους-χονδρούς, αργιλώδεις έως ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο (GC) (GM) έως αργιλώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SC).	---
			2.32	1.02E-05			
			3.32	2.56E-05			
			2.32	1.12E-05			
			1.32	3.58E-06			
	20.70	25.70	1.31	2.16E-06	3.40E-06	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ (Τοπικά αποσυντίθεται σε μέσους-χονδρούς, αργιλώδεις έως ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο (GC) (GM) έως αργιλώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SC).	---
			2.31	2.04E-05			
			3.31	1.28E-05			
			2.31	2.04E-06			
			1.31	2.16E-08			
	25.20	30.20	1.33	2.14E-08	4.25E-06	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ (Τοπικά αποσυντίθεται σε μέσους-χονδρούς, αργιλώδεις έως ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο (GC) (GM) έως αργιλώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SC) έως τα 28,10m. ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ / ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ έως τα 30,20m	---
			2.33	1.22E-08			
			3.33	1.92E-05			
			2.33	2.03E-06			
			1.33	2.14E-08			
	CBKN1	10.20	15.20	1.98	1.55E-05	2.84E-05	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ. (Τοπικά αποσυντίθεται σε ιλυώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SM) έως αργιλώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SC)
2.98				3.33E-05			
3.98				4.34E-05			
2.98				3.18E-05			
1.98				1.79E-05			

**Δοκιμές εισπίεσης LUGEON (Συνέχεια)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗ ΠΙΕΣΗ (kg/cm <sup>2</sup> )	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K (cm/sec)	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K <sub>m</sub> (cm/sec)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	ΑΠΟ	ΕΩΣ					
CBKN1	15.30	20.30	---	---	---	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ. (Τοπικά απουσιάζει σε ιλυώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SM) έως αργιλώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SC) έως τα 16,20m Ασβεστιτικός ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ έως τα 18,90m, ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ έως τα 20,30m	Αδυναμία αύξησης πίεσης πάνω από 2 Atm (max. Παροχή αντλίας 120 lt/min). Ολικές απώλειες υδάτων
			1.67	2.82E-06	1.37E-05		
	2.67	1.68E-05					
	3.67	3.02E-05					
	20.40	25.40	2.67	1.59E-05			
1.67			2.82E-06				
CBFP2W	5.50	10.50	1.39	3.41E-06	5.84E-06	Αποσθρωμμένος ΜΕΤΑΛΥΟΛΙΘΟΣ (αμμώδης ΙΛΥΣ ML) έως τα 6,60m. ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ έως τα 10,50m	---
			2.39	7.93E-06			
			4.39	1.12E-05			
			2.39	4.95E-06			
			1.39	1.71E-06			
	10.50	15.50	1.39	3.40E-06	2.14E-05	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	---
			2.39	2.97E-05			
			4.39	4.19E-05			
			2.39	2.38E-05			
	15.70	20.70	1.40	1.69E-06	4.67E-06	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ έως τα 17,50m. ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ έως ΜΕΤΑΛΥΟΛΙΘΟΣ, έντονα κερματισμένος (ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο (GM), ΧΑΛΙΚΕΣ κακής διαβάθμισης με ιλύ και άμμο (GP-GM) έως ιλυώδη ΑΜΜΟ με χαλίκια (SM)	---
			2.40	3.94E-06			
			3.40	1.39E-05			
			2.40	2.95E-06			
	20.60	25.60	1.40	8.41E-07	5.03E-06	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ έως ΜΕΤΑΛΥΟΛΙΘΟΣ, έντονα κερματισμένος (ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο (GM), ΧΑΛΙΚΕΣ κακής διαβάθμισης με ιλύ και άμμο (GP-GM) έως ιλυώδη ΑΜΜΟ με χαλίκια (SM)	---
			1.33	1.78E-06			
			2.33	5.06E-06			
			3.33	1.35E-05			
			2.33	3.04E-06			
	1.33	1.78E-06					

**Δοκιμές εισπίεσης LUGEON (Συνέχεια)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗ ΠΙΕΣΗ (kg/cm <sup>2</sup> )	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K (cm/sec)	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K <sub>u</sub> (cm/sec)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	ΑΠΟ	ΕΩΣ					
CBFP2W	25.00	30.00	1.33	1.78E-06	7.09E-06	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ έως ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ, έντονα κερματισμένος (ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο (GM), ΧΑΛΙΚΕΣ κακής διαβάθμισης με ιλύ και άμμο (GP-GM) έως ιλυώδη ΑΜΜΟ με χαλίκια (SM)	---
			2.33	1.02E-05			
			3.33	1.56E-05			
			2.33	6.09E-06			
			1.33	1.78E-06			
CBSP1	7.20	12.20	1.34	3.53E-05	4.96E-05	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ κερματισμένος έως έντονα κερματισμένος. Στα βάθη 8,40-9,40m αποσυντίθεται σε ιλυώδη ΑΜΜΟ με μεσαία-χονδρά χαλίκια, (SM).	---
			2.34	5.56E-05			
			3.34	5.88E-05			
			2.34	5.76E-05			
			1.34	4.06E-05			
	13.00	18.00	1.33	1.95E-05	2.63E-05	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	---
			2.33	3.04E-05			
			4.33	4.31E-05			
			2.33	2.23E-05			
			1.33	1.60E-05			
	18.40	23.40	2.32	3.06E-05	3.29E-05	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ κερματισμένος έως έντονα κερματισμένος έως τα 20,40m, ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ ΛΑΤΥΠΟΠΛΗΓΗΣ έως τα 22,70m, ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ, ισχυρά έως μέτρια τεκτονισμένος. (Τοπικά αποσυντίθεται σε ΧΑΛΙΚΕΣ κακής διαβάθμισης (GP) έως τα 23,40m.	---
			3.32	3.56E-05			
			5.32	4.71E-05			
			3.32	3.20E-05			
			2.32	1.94E-05			
24.60	29.60	2.32	2.75E-05	3.05E-05	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ, ισχυρά έως μέτρια τεκτονισμένος. (Τοπικά αποσυντίθεται σε ΧΑΛΙΚΕΣ κακής διαβάθμισης (GP).	---	
		4.32	3.18E-05				
		6.32	3.82E-05				
		4.32	2.14E-05				
		2.32	3.36E-05				
CBSP2	8.20	13.20	0.78	3.66E-08	1.19E-06	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ, έντονα κερματισμένος. (Αποσυντίθεται σε ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο και μεσαία-χονδρά χαλίκια έως ιλυώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια, (GM) (SM)	---
			1.28	2.22E-08			
			1.78	4.00E-06			
			1.28	1.86E-06			
			0.78	3.66E-08			



**Δοκιμές εισπίεσης LUGEON (Συνέχεια)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗ ΠΙΕΣΗ (kg/cm <sup>2</sup> )	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K (cm/sec)	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K <sub>m</sub> (cm/sec)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	
	ΑΠΟ	ΕΩΣ						
CBSP2	13.80	18.80	1.36	3.48E-06	5.24E-06	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ έως τα 16,00m, ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ/ ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ, έντονα τεκτονισμένος, (Αποσυντίθεται σε ΧΑΛΙΚΕΣ κακής διαβάθμισης με ιλύ και άμμο (GP-GM) έως τα 18,80m.	---	
			2.36	4.02E-06				
			3.36	8.45E-06				
			2.36	5.02E-06				
			1.36	5.23E-06				
CBSP3	10.60	15.60	1.41	2.02E-08	1.82E-06	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ (Αποσυντίθεται σε αμμώδη ισχνή ΑΡΓΙΛΟ με λεπτά - μεσαία χαλίκια (CL), αργιλώδη έως ιλυώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SC) (SM), μέσους, ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο (GM) έως μέσους-χονδρούς ΧΑΛΙΚΕΣ κακής διαβάθμισης με ιλύ και άμμο (GP-GM)	---	
			2.41	1.18E-08				
			3.41	9.02E-06				
			2.41	1.77E-08				
			1.41	2.02E-08				
	17.00	22.00	1.45	1.96E-08	7.01E-07	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ (Αποσυντίθεται σε αμμώδη ισχνή ΑΡΓΙΛΟ με λεπτά - μεσαία χαλίκια (CL), αργιλώδη έως ιλυώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SC) (SM), μέσους, ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο (GM) έως μέσους-χονδρούς ΧΑΛΙΚΕΣ κακής διαβάθμισης με ιλύ και άμμο (GP-GM) έως τα 20,50m, ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ (Αποσυντίθεται σε ιλυώδη ΑΜΜΟ με λεπτά χαλίκια έως ιλυώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SM) και τοπικά σε αργιλώδη ΑΜΜΟ με λεπτά χαλίκια (SC). έως τα 22,00m	---	
			2.45	1.74E-08				
			3.45	3.43E-06				
			2.45	1.74E-08				
			1.45	1.96E-08				
	21.90	26.90	---	---	---	ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ (Αποσυντίθεται σε ιλυώδη ΑΜΜΟ με λεπτά χαλίκια έως ιλυώδη ΑΜΜΟ με λεπτά-μεσαία χαλίκια (SM) και τοπικά σε αργιλώδη ΑΜΜΟ με λεπτά χαλίκια (SC).	Αδυναμία αύξησης πίεσης πάνω από 3 Atm (max. Παροχή αντλίας 120 l/min). Ολικές απώλειες υδάτων.	
	CBSP4	6.20	11.20	1.26	2.26E-08	2.48E-06	ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ έως τα 8,60m, ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΣ, με παρεμβολές λατυποπαγούς (κυρίως στο βάθος 10.30-11.20m). (Τοπικά αποσυντίθεται σε αμμώδη ισχνή ΑΡΓΙΛΟ έως ισχνή ΑΡΓΙΛΟ (CL), με λίγα λεπτά χαλίκια)	---
				2.26	1.26E-08			
				3.26	1.23E-05			
2.26				1.26E-08				
1.26				2.26E-08				

**Δοκιμές εισπίεσης LUGEON (Συνέχεια)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗ ΠΙΕΣΗ (kg/cm <sup>2</sup> )	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K (cm/sec)	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K <sub>w</sub> (cm/sec)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	ΑΠΟ	ΕΩΣ					
CBSP4	10.70	15.70	1.25	9.07E-08	4.79E-06	ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΣ, με παρεμβολές Λατυποπαγούς (κυρίως στο βάθος 10.30-11.20m). (Τοπικά αποσυντίθεται σε αμμώδη ισχνή ΑΡΓΙΛΟ έως ισχνή ΑΡΓΙΛΟ (CL), με λίγα λεπτά χαλίκια) έως τα 13.60m, Μαργακός ΨΑΜΜΙΤΗΣ έως τα 15,00m, ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ / ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΕΣ έως τα 15,70m	---
			2.25	8.40E-06			
			3.25	1.02E-05			
			2.25	5.25E-06			
			1.25	2.27E-08			
	15.50	20.50	1.27	2.23E-08	8.07E-06	ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ / ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΕΣ έως τα 15,70m, Ασβεσπικός, αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΣ, (Τοπικά αποσυντίθεται σε ΧΑΛΙΚΕΣ καλής διαβάθμισης με ιλύ και άμμο, (GW-GM) έως τα 20,50m.	---
			2.27	1.04E-05			
			3.27	1.95E-05			
			2.27	1.04E-05			
			1.27	2.23E-08			
	21.40	26.40	1.30	9.06E-06	1.24E-05	Ασβεσπικός, αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΣ, (Τοπικά αποσυντίθεται σε ΧΑΛΙΚΕΣ καλής διαβάθμισης με ιλύ και άμμο, (GW-GM) έως τα 23,10m, ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ έως τα 25,90m, ΙΛΥΟΛΙΘΟΣ έως τα 26,40m.	---
			2.30	1.54E-05			
			3.30	1.43E-05			
			2.30	1.23E-05			
			1.30	1.09E-05			
CCFP1	22.50	25.40	1	0	-	ΙΛΥΟΛΙΘΟΣ	Απώλειες υδάτων κατά την αύξηση της πίεσης στις 5 atm
			3.5	1.83 x 10 <sup>-5</sup>			
			5	1.23 x 10 <sup>-5</sup>			
			3.5	-			
			1	-			
	25.90	28.80	2.5	0	2.78 x 10 <sup>-6</sup>	ΙΛΥΟΛΙΘΟΣ	-
			4	5.00 x 10 <sup>-6</sup>			
			7	4.51 x 10 <sup>-6</sup>			
			4	4.37 x 10 <sup>-6</sup>			
			2.5	0			
CCFP2	22.90	25.80	1	0	2.99 x 10 <sup>-6</sup>	ΙΛΥΟΛΙΘΟΣ	-
			3	4.02 x 10 <sup>-6</sup>			
			5	6.10 x 10 <sup>-6</sup>			
			3	4.82 x 10 <sup>-6</sup>			
			1	0			

## 6.4 Συμπεράσματα από δοκιμές υδροπερατότητας για τους σχηματισμούς

### 6.4.1 Επιχώσεις

Αποτελεί διαπερατό σχηματισμό μέσω του οποίου τροφοδοτούνται κατακόρυφα οι υποκείμενοι υδροφόροι ορίζοντες. Στις επιχώσεις δεν πραγματοποιήθηκαν δοκιμές υδροπερατότητας.

### 6.4.2 Κροκαλοπαγή

Ο σχηματισμός έχει μέτρια διαπερατότητα και συντελεί στην διαμόρφωση επικρεμμάμενου υδροφόρου ορίζοντα σε θέσεις όπου το υπόβαθρο είναι αδιαπέρατο (Αθηναϊκός σχιστόλιθος). Η ροή εντός των κροκαλοπαγών είναι παράλληλη με τον άξονα του έργου με κατεύθυνση τον Κηφισό Ποταμό και εκφορτίζεται στον σχηματισμό των ασβεστιτικών μεταψαμμιτών. Στον **Πίνακα 6.8** φαίνονται οι τιμές του συντελεστή διαπερατότητας που προέκυψαν στα κροκαλοπαγή.

**Πίνακας 6.8 : Τιμές συντελεστή υδροπερατότητας για τα κροκαλοπαγή. (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ
		ΑΠΟ	ΕΩΣ	KM (cm/sec)
CATP5	MAAG	3	4,7	1,53E-05
CASE1T	MAAG	3	4,7	1,10E-04
CASP3T	MAAG	3,5	4,8	1,53E-05
CASN1T	MAAG	3	4,9	2,18E-04
CASN2	MAAG	2,8	5,6	1,43E-04
CASH2CC2	MAAG	2,2	3,3	
CASP5	MAAG	3	6	1,41E-04
CBKN1	MAAG	3,3	5,4	1,04E-04
CBFP2W	MAAG	3,2	5,7	1,18E-04
		Ελάχιστη Τιμή		1,53E-05
		Μέγιστη Τιμή		2,18E-04
		Πλήθος Μετρήσεων		8
		Μέση Τιμή		<b>1,08E-04</b>

#### 6.4.3 Αποσαθρωμένος ασβεστιτικός μεταψαμμίτης

Η διαπερατότητά του είναι μέτρια και συντελεί στην κατακόρυφη τροφοδοσία του υποκείμενου υγιούς σχηματισμού των ασβεστιτικών μεταψαμμιτών. Πλευρικά τροφοδοτείται από τα κροκαλοπαγή. Οι τιμές του συντελεστή διαπερατότητας για τον αποσαθρωμένο ασβεστιτικό μεταψαμμίτη φαίνονται στον **Πίνακα 6.9**.

**Πίνακας 6.9: Τιμές συντελεστή υδροπερατότητας για τον αποσαθρωμένο ασβεστιτικό μεταψαμμίτη. (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ
		ΑΠΟ	ΕΩΣ	KM (cm/sec)
CATP1	MAAG	3	5,5	1,06E-05
CATP4	MAAG	3	5,7	6,16E-05
CAFP1AC	MAAG	2,5	4,9	2,36E-06
		Ελάχιστη Τιμή		2,36E-06
		Μέγιστη Τιμή		6,16E-05
		Πλήθος Μετρήσεων		3
		Μέση Τιμή		2,49E-05

#### 6.4.4 Ισχυρός Ασβεστιτικός μεταψαμμίτης

Ο σχηματισμός εμφάνισε χαμηλή υδροπερατότητα κατά την διεξαγωγή των δοκιμών εισπίεσης που πραγματοποιήθηκαν στη μάζα του λόγω φραγής κυρίως των ασυνεχειών του. Γενικά αποτελεί περατό σχηματισμό υπό συνθήκες ροής χωρίς πίεση και διαμορφώνει φρεάτιο υδροφόρο ορίζοντα σε βάθος περί τα 20,00 m. Οι τιμές του συντελεστή διαπερατότητας για τον ισχυρό ασβεστιτικό μεταψαμμίτη φαίνονται στον **Πίνακα 6.10**.

**Πίνακας 6.10** Τιμές συντελεστή υδροπερατότητας για τον ισχυρό ασβεστιτικό μεταψαμμίτη (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007)

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ
		ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΚΜ (cm/sec)
CATP1	LUGEON	6,1	11,1	4,95E-05
CATP1	LUGEON	10,4	15,4	3,85E-05
CATP1	LUGEON	15,4	20,4	3,28E-05
CATP1	LUGEON	22	27	3,30E-05
CATP4	LUGEON	4,75	9,75	1,63E-05
CATP4	LUGEON	10,9	15,9	4,38E-05
CATP4	LUGEON	15,3	20,3	2,74E-05
CATP4	LUGEON	22	27	3,30E-05
CAFP1AC	LUGEON	5,85	10,85	3,54E-04
CAFP1AC	LUGEON	10,4	15,4	-
CAFP1AC	LUGEON	15	20	-
CAFP1AC	LUGEON	20,7	25,7	4,77E-05
CATE1	MAAG	2	4,4	1,12E-04
CATE1	LUGEON	5,7	10,7	1,63E-05
CATE1	LUGEON	11,1	16,1	4,40E-05
CASP5	MAAG	25,9	26,9	4,40E-05
			Ελάχιστη Τιμή	1,63E-05
			Μέγιστη Τιμή	3,54E-04
			Πλήθος Μετρήσεων	14
			Μέση Τιμή	6,37E-05

#### 6.4.5 Μεταψαμμίτης

Ο σχηματισμός παρουσιάζει χαμηλή υδροπερατότητα και επιτρέπει την ελεύθερη ροή νερού μόνο μέσα από τη συμπαγή βραχώδη φάση του, δημιουργώντας έτσι επιλεκτικές διόδους ροής μέσα στη μάζα του. Η χαμηλή διαπερατότητα οφείλεται στην σύνθετη διαμόρφωσή του η οποία εμποδίζει τελικά την κίνηση του υπόγειου νερού όπως υποδηλώνεται και από τις δοκιμές υδροπερατότητας με εισπίεση ύδατος (Lugeon). Στον **Πίνακα 6.11** φαίνονται οι τιμές διαπερατότητας για τον μεταψαμμίτη.

Πίνακας 6.11: Τιμές συντελεστή υδροπερατότητας για τον μεταψαμμίτη. (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007)

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ
		ΑΠΟ	ΕΩΣ	KM (cm/sec)
CASP4T	MAAG	3	5,6	2,03E-05
CASP4T	LUGEON	5,5	10,5	2,71E-05
CASP4T	LUGEON	12	15	3,24E-05
CASP4T	LUGEON	20,4	25,4	3,54E-05
CASN1T	LUGEON	5	10	1,25E-05
CASN1T	LUGEON	14,4	19,4	1,91E-05
CASH1CC2	MAAG	5,3	6,5	5,93E-04
CASN2	LUGEON	6	11	6,62E-06
CASN2	LUGEON	11	16	8,69E-06
CASN2	LUGEON	16	21	9,87E-06
CASN2	LUGEON	19,9	24,9	2,08E-05
CASN2	LUGEON	25	30	6,80E-06
CASP5	MAAG	9	10,4	5,30E-05
CASP5	MAAG	12,5	14	6,48E-05
CASP5	MAAG	19,7	21,6	6,88E-05
CASN4	MAAG	3,8	5,3	3,07E-05
CASN4	LUGEON	5,7	10,7	2,53E-06
CASN4	LUGEON	10	15	6,11E-06
CASN4	LUGEON	15,4	20,4	1,01E-05
CASN4	LUGEON	20,7	25,7	3,40E-06
CASN4	LUGEON	25,2	30,2	4,25E-06
CBKN1	MAAG	6,5	9,4	1,17E-04
CBKN1	LUGEON	10,2	15,2	2,84E-05
CBKN1	LUGEON	15,3	20,3	
CBKN1	LUGEON	20,4	25,4	1,37E-05
CBFP2W	LUGEON	5,5	10,5	5,84E-06
CBFP2W	LUGEON	10,5	15,5	2,14E-05
CBSP1	MAAG	2,5	3,9	6,30E-05
CBSP1	LUGEON	7,2	12,2	4,96E-05
CBSP1	LUGEON	13	18	2,63E-05
CBSP1	LUGEON	18,4	23,4	3,29E-05
CBSP1	LUGEON	24,6	29,6	3,05E-05
CBSP2	MAAG	3	4,7	2,61E-05
CBSP2	LUGEON	8,2	13,2	1,19E-06
CBSP2	LUGEON	13,8	18,8	5,24E-06
		Ελάχιστη Τιμή		1,19E-06
		Μέγιστη Τιμή		5,93E-04
		Πλήθος Μετρήσεων		34
		Μέση Τιμή		<b>4,29E-05</b>

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ  
ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)

#### 6.4.6 Τεκτονικό Μεταψαμμιτικό Λατυποπαγές

Ο σχηματισμός παρουσιάζει πολύ χαμηλή υδροπερατότητα συνιστώντας ένα φυσικό εμπόδιο στην κίνηση του υπόγειου νερού. Το γεγονός αυτό καταδεικνύεται στην περιοχή της διπλής σήραγγας όπου η στάθμη των υδάτων στην γεώτρηση ΓΟ7 (Χ.Θ. 1+620) κατέρχεται στα 15.10 m στη γεώτρηση CATE1 και στα 21.00 m στη γεώτρηση CAFPIAC (Χ.Θ. 1+566) ακολουθώντας την γεωμετρία του γεωλογικού ορίου ασβεστιτικού μεταψαμμίτη – τεκτονικού μεταψαμμιτικού λατυποπαγούς. Μεταξύ αυτών των Χ.Θ. ο επικρεμμάμενος υδροφόρος ορίζοντας μεταπίπτει σε φρεάτιο και αναμένονται οι μεγαλύτερες εισροές υδάτων κατά τη διάνοιξη της σήραγγας. Οι τιμές διαπερατότητας του τεκτονικού μεταψαμμιτικού λατυποπαγούς παρουσιάζονται στον **Πίνακα 6.12**.

**Πίνακας 6.12:** Τιμές συντελεστή υδροπερατότητας για το τεκτονικό μεταψαμμιτικό λατυποπαγές. (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007)

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ
		ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ
				ΚΜ (cm/sec)
CATE1	LUGEON	18	23	2,92E-05
CATP5	LUGEON	5,8	10,8	2,02E-05
CATP5	LUGEON	12	17	1,92E-05
CASE1T	LUGEON	7,3	12,3	2,50E-05
CASE1T	LUGEON	13,1	18,1	2,88E-05
CASP3T	LUGEON	5	10	1,58E-05
CASP3T	LUGEON	11,6	16,6	2,21E-05
CASP3T	LUGEON	17,3	22,3	2,40E-05
CBSP3	MAAG	4	5,4	4,03E-05
CBSP3	MAAG	7,9	10,1	3,57E-05
CBSP3	LUGEON	10,6	15,6	1,82E-06
				Ελάχιστη Τιμή
				1,82E-06
				Μέγιστη Τιμή
				4,03E-05
				Πλήθος Μετρήσεων
				11
				Μέση Τιμή
				<b>2,38E-05</b>

#### 6.4.7 Μεταίλυόλιθος - Αργιλικός σχιστόλιθος

Οι τιμές του δείκτη υδροπερατότητας για τον σχηματισμό του μεταίλυόλιθου – αργιλικού σχιστολίθου δίδονται στον **Πίνακα 6.13**. Ο σχηματισμός των μεταίλυολίθων – αργιλικών σχιστολίθων, σύμφωνα με τις δοκιμές υδροπερατότητας

και όπως άλλωστε αναμενόταν, παρουσιάζει πολύ χαμηλή υδροπερατότητα. Η χαμηλή αυτή υδροπερατότητα οφείλεται κυρίως στη λιθολογική σύσταση του.

**Πίνακας 6.13: Τιμές συντελεστή υδροπερατότητας για τον μεταίλουλιθο - αργιλικό σχιστόλιθο. (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ
		ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ
				ΚΜ (cm/sec)
CATP5	LUGEON	16,9	21,9	1,48E-05
CASP3T	LUGEON	21,4	26,4	1,83E-05
CASP4T	LUGEON	27	32	2,80E-05
CASN1T	LUGEON	21,2	26,2	2,67E-05
CASP5	MAAG	28,5	30,2	2,12E-05
CBFP2W	LUGEON	15,7	20,7	4,67E-06
CBFP2W	LUGEON	20,6	25,6	5,03E-06
CBFP2W	LUGEON	25	30	7,09E-06
CBSP3	LUGEON	17	22	7,01E-07
CBSP3	LUGEON	21,9	26,9	
		Ελάχιστη Τιμή		7,01E-07
		Μέγιστη Τιμή		2,80E-05
		Πλήθος Μετρήσεων		9
		Μέση Τιμή		1,41E-05

#### 6.4.8 Αποσαθρωμένη και υγιής μάργα

Λογω αποσάθρωσης αλλά και καθορισμένων συστημάτων ασυνεχειών η αποσαθρωμένη μάργα παρουσιάζει μέτρια έως χαμηλή διαπερατότητα. Οι δοκιμές κατερχόμενου φορτίου προσδίδουν μία τιμή μέτριας υδροπερατότητας ενώ οι δοκιμές εισπίεσης ύδατος χαρακτηρίζουν το σχηματισμό έως αδιαπέρατο. Το φαινόμενο αυτό τεκμηριώνεται και από τις μετρήσεις της στάθμης όπου στο σταθμό Περιστέρι ο σχηματισμός είναι πραγματικά αδιαπέρατος και διαμορφώνεται ένας επικρεμμάμενος υδροφόρος ορίζοντας μέσα στην αποσαθρωμένη ζώνη, ενώ στην περιοχή του Τερματικού φρέατος διαμορφώνεται φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας σε βάθος από 15,00 – 18,50 m. Τα αποτελέσματα για το δείκτη διαπερατότητας της αποσαθρωμένης και υγιούς μάργας παρατίθενται στους Πίνακες 6.14 και 6.15.



**Πίνακας 6.14 : Τιμές συντελεστή υδροπερατότητας για την αποσαθρωμένη μάργα (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό,2007)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ
		ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΚΜ (cm/sec)
CBSP4	MAAG	2,7	5,5	1,66E-05
CCFP1	MAAG	3,5	5,1	1,45E-03
CCFP2	MAAG	3,5	4,8	1,38E-03
			Ελάχιστη Τιμή	1,66E-05
			Μέγιστη Τιμή	1,45E-03
			Πλήθος Μετρήσεων	3
			Μέση Τιμή	<b>9,49E-04</b>

**Πίνακας 6.15: Τιμές συντελεστή υδροπερατότητας για την υγρή μάργα (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό,2007)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ
		ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΚΜ (cm/sec)
CBSP4	LUGEON	6,2	11,2	2,48E-06
CBSP4	LUGEON	10,7	15,7	4,79E-06
CBSP4	LUGEON	15,5	20,5	8,07E-06
CBSP4	LUGEON	21,4	26,4	1,24E-05
CCFP1	MAAG	9	10	2,56E-03
CCFP1	MAAG	14,7	16,3	6,72E-04
CCFP2	MAAG	8	9,3	1,47E-03
			Ελάχιστη Τιμή	2,48E-06
			Μέγιστη Τιμή	2,56E-03
			Πλήθος Μετρήσεων	7
			Μέση Τιμή	<b>6,76E-04</b>

Γενικά οι σχηματισμοί που δομούν το υπόβαθρο της περιοχής του έργου σύμφωνα με τις δοκιμές υδροπερατότητας έχουν μέσες τιμές διαπερατότητας  $k$  της τάξεως από  $10^{-4}$  έως  $10^{-5}$  (cm/sec). Για τις επιφανειακές αποθέσεις ο σχηματισμός της ιλυώδους άμμου με χαλίκια έχει τιμή υδροπερατότητας  $k$  ίση με  $2,3 \times 10^{-3}$  (cm/sec). Η τιμή αυτή χαρακτηρίζεται μέτρια έως υψηλή. Τα κροκαλοπαγή που υπόκεινται των επιχωματώσεων λαμβάνουν τιμές υδροπερατότητας περί τα  $1,08 \times 10^{-4}$  (cm/sec). Εάν αφαιρεθούν από τον μέσο όρο οι δύο χαμηλές τιμές υδροπερατότητας της τάξεως του  $10^{-5}$  των γεωτρήσεων CATP5 και CASP3T τότε προκύπτει η μέση τιμή των  $1,39 \times 10^{-4}$

<sup>4</sup> (cm/sec) που αποτελεί μία χαμηλή έως μέτρια τιμή. Αποτελούν τον κύριο φορέα του επικρεμώμενου ορίζοντα υπόγειου νερού στο σταθμό Περιστερί. Τροφοδοτεί πλευρικά τους σχηματισμούς των αποσαθρωμένων και υγιών ασβεστιτικών μεταψαμμιτών προς την πλευρά της σήραγγας και του φρέατος πρόσβασης.

Οι σχηματισμοί του Αθηναϊκού σχιστολίθου παρουσιάζουν λόγω σύστασης και δομής υψηλή ανομοιογένεια και ανισοτροπία όσο αφορά στις υδρογεωλογικές τους ιδιότητες. Ο αποσαθρωμένος ασβεστιτικός μεταψαμμίτης τόσο λόγω της ασβεστιτικής του σύστασης όσο και της δομής και αποσάθρωσής του εμφανίζει μέτρια διαπερατότητα. Ο ισχυρός ασβεστιτικός μεταψαμμίτης εμφανίζει χαμηλή διαπερατότητα της τάξης των  $6,37 \times 10^{-5}$  (cm/sec) η οποία μειώνεται σε  $4,14 \times 10^{-6}$  (cm/sec) εάν αφαιρεθεί η προκύπτουσα τιμή από τη δοκιμή Lugeon στο βάθος 5,85 – 10,85 m της γεώτρησης CAFPIAC. Παρά την ασβεστιτική του φύση και το γεγονός της ανάπτυξης φρεάτιου υδροφόρου σε αυτόν σε βάθος από 19,40 έως 22,70 m από την επιφάνεια του εδάφους, εμφανίζει πολύ χαμηλή περατότητα, γεγονός που οφείλεται στον χαρακτήρα των ασυνεχειών του (κλειστές ρωγμές που επιτρέπουν τη διέλευση του υπόγειου νερού, οι οποίες όμως φράσσονται από την ανάπτυξη πίεσης και έντονης ροής).

Ο μεταψαμμίτης έχει μέση τιμή υδροπερατότητας περί τα  $4,29 \times 10^{-5}$  (cm/sec). Η τιμή αυτή μειώνεται στην  $2,62 \times 10^{-5}$  (cm/sec), εάν αφαιρεθεί η τιμή που προέκυψε από δοκιμή Maag στη γεώτρηση CASH1CC2. Η κυκλοφορία των υδάτων είναι περιορισμένη και πραγματοποιείται κυρίως από διόδους «άρρηκτου» πετρώματος. Το γεγονός αυτό παρατηρήθηκε και κατά την διάνοιξη της σήραγγας από το Τερματικό φρέαρ έως το δυτικό φρέαρ του σταθμού Περιστερί, όπου οι εισροές στο μέτωπο της εκσκαφής ήταν περιορισμένες με τυχαία εμφάνιση. Το ίδιο συμβαίνει και με τους σχηματισμούς του μεταλλυολίθου και του αργιλικού σχιστολίθου με μία μέση τιμή περί τα  $1,41 \times 10^{-5}$  (cm/sec) που αντιπροσωπεύει χαμηλή έως πολύ χαμηλή διαπερατότητα.

Το τεκτονικό μεταψαμμιτικό λατυποπαγές λόγω παρουσίας εδαφοποιημένου και εξαλλοιωμένου υλικού στη μάζα του εμφανίζει χαμηλή έως πολύ χαμηλή υδροπερατότητα της τάξης των  $2,38 \times 10^{-5}$  (cm/sec). Οι ανωτέρω σχηματισμοί

ελέγχουν αποφασιστικά τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στη σήραγγα όσο και στο σταθμό Περιστερί. Χαρακτηριστική είναι η ανύψωση του ορίζοντα αυτού, στο τμήμα της σήραγγας από το βάθος των 22,50 m περί τη Χ.Θ. 1+550 στο βάθος των 15,10 m περί τη Χ.Θ. 1+580 λόγω της ανάδυσης του τεκτονικού μετασχηματισμού λατυποπαγούς.

Στην περιοχή του έργου δεν πραγματοποιήθηκαν δοκιμαστικές αντλήσεις με αποτέλεσμα να μην υφίστανται διαθέσιμα στοιχεία όσον αφορά την μεταβιβαστικότητα των σχηματισμών. Για το λόγο αυτό η μεταβιβαστικότητα  $T$  των σχηματισμών δίδεται από το γινόμενο του μέσου πάχους τους επί την υδροπερατότητα  $k$ . Από τους ανωτέρω Πίνακες 6.16 έως 6.18 προκύπτουν τα πάχη των σχηματισμών του έργου (σε θέσεις όπου δεν αποτελούν υπόβαθρο) από όπου θα εκτιμηθεί η αντίστοιχη μεταβιβαστικότητα, καθώς δεν πραγματοποιήθηκαν δοκιμές άντλησης. Στον Πίνακα 6.19 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή υδροπερατότητας και της μεταβιβαστικότητας για κάθε σχηματισμό.

Δυστυχώς τα δεδομένα ετήσιας διακύμανσης της στάθμης των υπογείων υδάτων στην περιοχή του έργου είναι ελλιπή και προέρχονται από τις γεωτρήσεις με πρόθεμα Γ. Αυτές καταδुकνεύουν μία εποχική μεταβολή, η οποία δεν ξεπερνά το 0,50 m – 1,00 m, (γεωτρήσεις Γ10, Γ16 και Γ17). Από αυτές όμως τις γεωτρήσεις οι Γ10 και Γ17 ελέγχονται ως προς την εγκυρότητα των πληροφοριών τους καθώς τα αποτελέσματά τους δεν συνάδουν με τα δεδομένα των νέων γεωτρήσεων. Οι δύο αυτές γεωτρήσεις δείχνουν αρκετά υψηλότερες στάθμες σε σχέση με τα δεδομένα των νεότερων γεωτρήσεων γεγονός που δύναται να οφείλεται σε τρεις παραμέτρους:

- Λάθος μετρήσεων και χαμηλή τρέχουσα στάθμη,
- Χαμηλά ετήσια κατακρημνίσματα
- Διευθέτηση της διάθεσης των αποβλήτων μέσω των αγωγών των ομβρίων και των αποχετεύσεων.

**Πίνακας 6.16: Βάθος ορίων γεωλογικών σχηματισμών (Σήραγγα – Φρέαρ Πρόσβασης) (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007)**

Στρωματογραφία	CATP1		ΓΟ13		ΓΟ28		CATP4		Γ17		CAFP1AC		ΓΟ27		CATE1		ΓΟ7		ΓΟ26		CATP5	
	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	0,00	2,00	0,00	2,80	0,00	2,30	0,00	2,80	0,00	2,00	0,00	2,10	0,00	1,60	0,00	1,90	0,00	2,80	0,00	1,60	0,00	3,2
ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ															1,90	3,10	2,80	4,40	1,60	4,90	3,20	4,7
ΑΠΟΣΑΘΡΩΜΕΝΟΣ ΑΣΒΕΣΤΙΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	2,00	4,90	2,80	7,10	2,30	4,00	2,30	4,50	2,00	4,00	2,10	3,50	1,60	3,40								
ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ															16,80	27,30			4,90	14,80		
ΙΣΧΥΡΟΣ ΑΣΒΕΣΤΙΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	4,90	27,00	7,10	20,60	4,00	20,00	4,50	25,00	4,00	30,00	3,40	27,10	3,40	21,00	3,10	16,80	4,40	7,30			4,70	5,7
ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΙΚΟ ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ																	7,30	23,60	14,80	18,20	5,70	15,1
ΜΕΤΑΛΛΥΟΛΙΘΟΣ - ΑΡΓΙΛΙΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ																	23,60	29,80	18,20	20,00	15,10	25

**Πίνακας 6.17: Βάθος ορίων γεωλογικών σχηματισμών (Σταθμός Περιστέρι) (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007)**

Στρωματογραφία	CASE1T		CASP3T		ΓΟ25		CP3818		ΓΟ23		CASP4T		CASN1T		ΓΟ5		ΓΟ24	
	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	0,00	2,10	0,00	2,00	0,00	1,70	0,00	2,00	0,00	2,20	0,00	1,30	0,00	1,80	0,00	1,50	0,00	2,20
ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ	2,10	4,70	2,00	4,00	1,70	5,30	2,70	5,70					1,80	6,00	1,50	4,00	2,20	6,50
ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ					18,00	20,10					1,30	29,60	6,00	20,00	4,00	23,40	6,50	20,50
ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΙΚΟ ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ	4,70	19,60	4,00	21,50	5,30	18,00	5,70	23,80	2,20	20,00								
ΜΕΤΑΛΛΥΟΛΙΘΟΣ - ΑΡΓΙΛΙΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ	19,60	29,50	21,50	29,00	20,10	20,80	23,80	30,00			29,60	35,00	20,00	35,00	23,40	30,80		

**Πίνακας 6.18: Βάθος ορίων γεωλογικών σχηματισμών (Σταθμός Περιστερί) (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007)**

Στρωματογραφία	CASN2		CASP5		ΓΟ22		CP3819		CASN4		CBKN1		ΓΟ20		CBFP2W		Γ10	
	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	0,00	2,00	0,00	1,00	0,00	2,80	0,00	2,00	0,00	1,30	0,00	2,10	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00	2,50
ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ	2,00	5,50	1,00	4,50	2,80	3,60	2,00	5,00	1,30	3,90	2,10	4,80	2,00	6,80	2,00	5,70	2,50	6,00
ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	5,50	31,80	4,50	29,30			5,00	24,50	3,90	30,00	4,80	30,10	6,80	20,00	5,70	17,30	6,00	17,30
ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΙΚΟ ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ			15,00	22,30	3,60	21,50												
ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ - ΑΡΓΙΛΙΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ	31,80	35,00	29,30	35,00	21,50	25,00	24,50	29,90	30,00	35,50					17,30	30,00	17,30	39,00

**Πίνακας 6.19: Χαρακτηριστικές τιμές Υδροπερατότητας – Μεταβιβαστικότητα  
(Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007)**

Σχηματισμός	Μέση Τιμή Υδροπερατότητας k Υδρογεωλογικής Ενότητας (cm/sec)	Χαρακ/σμός Υδροπ/τας (Terzaghi & Peck, 1967)	Πάχος Σχημ/σμού (m)	Μεταβιβα- στικότητα T (cm/sec)*cm
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	$2.3 \times 10^{-3}$	Μέτρια έως υψηλή	2.40	$5.52 \times 10^{-1}$
ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ	$1.39 \times 10^{-4}$	Χαμηλή έως μέτρια	2.10	$2.92 \times 10^{-2}$
ΑΠΟΣΑΘΡΩΜΕΝΟΣ ΑΣΒΕΣΤΙΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	$2.49 \times 10^{-5}$	Πολύ Χαμηλή	2.80	$1.81 \times 10^{-3}$
ΙΣΧΥΡΟΣ ΑΣΒΕΣΤΙΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	$4.14 \times 10^{-5}$	Χαμηλή	-	-
ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	$2.62 \times 10^{-5}$	Χαμηλή	20.00	$5.24 \times 10^{-2}$
ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΙΚΟ ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ	$2.38 \times 10^{-5}$	Χαμηλή	16.00	$3.80 \times 10^{-3}$
ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ – ΑΡΓΙΛΙΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ	$1.41 \times 10^{-5}$	Χαμηλή	-	-
ΑΠΟΣΑΘΡΩΜΕΝΗ ΜΑΡΓΑ	$1.42 \times 10^{-3}$	Χαμηλή έως μέτρια	3.50	$3.32 \times 10^{-1}$
ΙΣΧΥΡΗ ΜΑΡΓΑ	$6.94 \times 10^{-6}$	Πολύ χαμηλή έως χαμηλή	17.65	$1.17 \times 10^{-4}$
ΙΛΥΟΛΙΘΟΣ	$2,89 \times 10^{-6}$	Πολύ Χαμηλή	-	-

Σε θέσεις υψηλής διαπερατότητας η απόκριση του υδροφόρου είναι σχετικά γρήγορη με αποτέλεσμα λόγω των υψηλών κατακριμνησμάτων την περίοδο της μέτρησης των παλαιών γεωτρήσεων αυτές να δείχνουν σημαντικά υψηλότερες στάθμες από τις σημερινές. Στον πιεζομετρικό χάρτη του **ΙΓΜΕ (1976)** παρατηρείται ότι η διεύθυνση της ροής των υδάτων είναι παράλληλη με τον άξονα του έργου. Σε πιεζομετρικό χάρτη του 1997 (**Κοτζιάς Σταματόπουλος 1998, Γεωλογική – υδρογεωλογική μελέτη Β' φάση**) παρατηρείται η ίδια εικόνα.

Η υδραυλική κλίση σε όλο το έργο παρουσιάζεται ομοιόμορφη και κυμαίνεται μεταξύ 1% έως 2%. Έτσι στη σήραγγα η υδραυλική κλίση είναι μικρότερη από 1%. Η κλίση αυτή παρουσιάζει σημαντική αύξηση (έως 30%) στη θέση της σήραγγας όπου αναδύεται ο σχηματισμός του τεκτονικού μεταψαμμιτικού λατυποπαγούς και του μεταίλυολίθου – αργιλικού σχιστολίθου με αποτέλεσμα τα ύδατα του επικρεμάμενου υδροφόρου ορίζοντα του κροκαλοπαγούς να μεταβαίνουν πλευρικά στον βαθύτερο, κατά 15 έως 20 m, φρεάτιο υδροφόρο ορίζοντα του ισχυρού ασβεστιτικού

μεταψαμμίτη. Η μέγιστη υδραυλική κλίση στη σήραγγα συναντάται μεταξύ των Χ.Θ. 1+607,6 στην οροφή και 1+586,05 στο δάπεδο. Οι συγκεκριμένες Χ.Θ. συμπίπτουν με το σημείο τομής της διεπιφάνειας ισχυρού ασβεστιτικού μεταψαμμίτη – τεκτονικού μεταψαμμιτικού λατυποπαγούς με την οροφή και το δάπεδο της σήραγγας. Στο σταθμό Περιστερί η υδραυλική κλίση έχει τιμές μικρότερες από 1%.

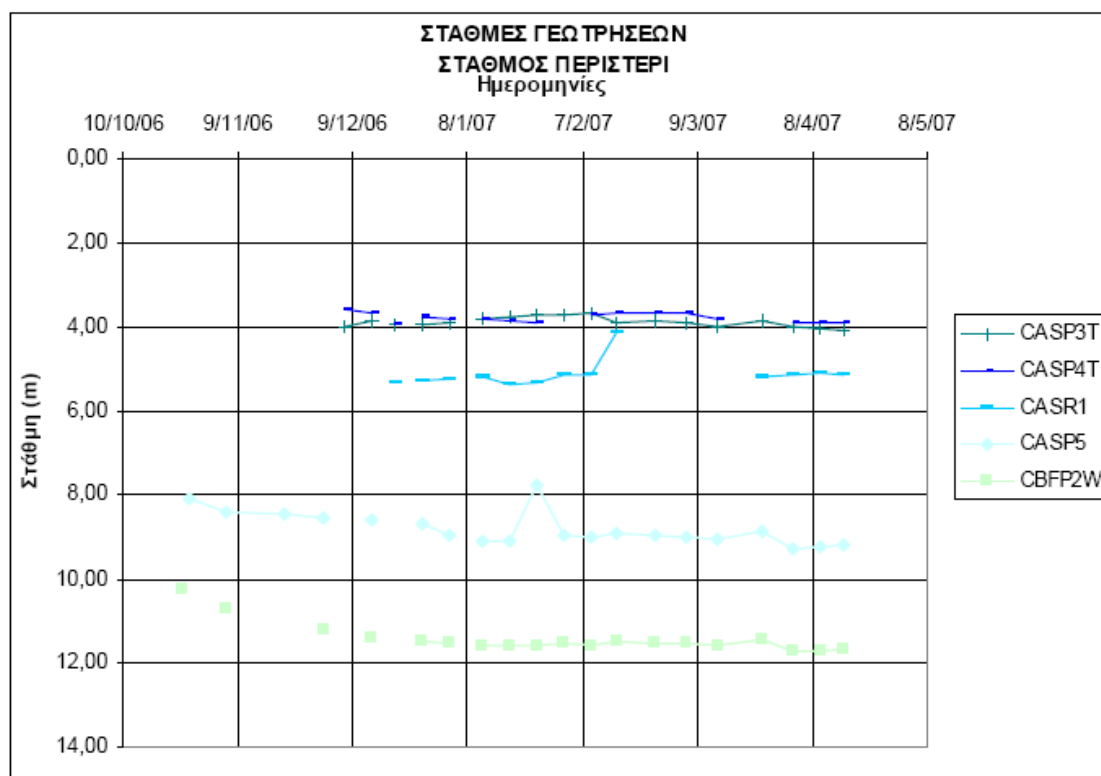
Γενικά υπόγειο νερό κατεισδύει από τον επιφανειακό ορίζοντα των επιχώσεων και των Ολοκαινικών αποθέσεων, στους σχηματισμούς του αποσαθρωμένου ασβεστιτικού ψαμμίτη, του κροκαλοπαγούς, του αποσαθρωμένου μεταψαμμίτη και των αποσαθρωμένων μαργαϊκών σχηματισμών. Το γεγονός αυτό φαίνεται στις υδρογεωλογικές μηκοτομές όπου η στάθμη ακολουθεί τα όρια αυτών των σχηματισμών και οι οποίοι δημιουργούν έναν επικρεμμάμενο υδροφόρο ορίζοντα στην οροφή των έργων. Εξάιρεση αποτελεί το τμήμα της σήραγγας που δομείται από υγιή ασβεστιτικό μεταψαμμίτη όπου ο φρεάτιος υδροφόρος συναντάται περίπου στην ερυθρά ή κάτω από τη ζώνη κατάληψης της σήραγγας.

Στο τμήμα της σήραγγας δεν αναμένονταν εισροές υδάτων καθώς η στάθμη του φρεάτιου υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται σε βάθος περί τα 22 m, στο δάπεδο του τεχνικού. Εισροές αναμένονταν στη θέση υψηλής υδραυλικής κλίσης της ανάδυσης του σχηματισμού του τεκτονικού μεταψαμμιτικού λατυποπαγούς. Στους σταθμούς Περιστερίου και Ανθούπολης ο υδροφόρος ορίζοντας είναι επικρεμμάμενος μέσα στο σχηματισμό των κροκαλοπαγών, του αποσαθρωμένου μεταψαμμίτη και της αποσαθρωμένης μάργας και αναμενόταν να εκφορτιστεί κατά την εκσκαφή.

Πλευρικές εισροές σε μεγαλύτερα βάθη αναμένονταν σημειακά από θέσεις άρρηκτου πετρώματος, οι οποίες όμως, λόγω της πτύχωσης του σχηματισμού, δεν δύναται να προβλεφθούν με ακρίβεια. Στο Τερματικό Φρέαρ η στάθμη του υδροφόρου βρίσκεται κάτω από το επίπεδο θεμελίωσης των έργων και δεν αναμενόταν καμμία εισροή κατά τη διάρκεια των εργασιών.

Από το **Σχήμα 6.1** καταδεικνύεται ότι στη θέση του Δυτικού Φρέατος, όπου βρίσκεται η κεφαλή του TBM, έχουν μετρηθεί οι χαμηλότερες στάθμες υδάτων απ' όλο το σταθμό Περιστερί (γεώτρηση CBFP1W και CBFP2W). Αυτό οφείλεται στο

γεγονός ότι στη συγκεκριμένη θέση η υφιστάμενη σήραγγα λειτουργεί ως στραγγιστήριο, καθώς δεν έχει κατασκευασθεί η μόνιμη επένδυσή της. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται σε μικρότερη ένταση και στην περιοχή της συναρμογής της διπλής σήραγγας με το φρέαρ Φλέμινγκ, όπου δεν υφίσταται μόνιμη επένδυση. Σε κάθε περίπτωση η στάθμη του υπόγειου νερού στην θέση του Δυτικού φρέατος, αλλά και στην υπόλοιπη κατασκευή ως και το φρέαρ Φλέμινγκ, θα ανυψωθεί, καθώς η μόνιμη επένδυση του ίδιου του έργου θα αποτελέσει φραγμό στην ροή των υπόγειων υδάτων.



**Σχήμα 6.1:** Στάθμες Γεωτρήσεων – Σταθμός Περιστερί (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό, 2007)

Γενικά κατά τη διάρκεια της κατασκευής λόγω της παράλληλης ροής των υπόγειων υδάτων ως προς τον άξονα της σήραγγας δεν αναμένεται σημαντική αλλαγή στη διεύθυνση ροής τους. Αναμένεται μία πλευρική μετατόπιση στις περιοχές των σταθμών μέσα στους επιφανειακούς σχηματισμούς με παράλληλη ανύψωση στάθμης κατά 1-1,5 m.



## 6.5 Υδροχημεία

Στις γεωτρήσεις που διατηρούνταν λόγω της παρουσίας πιεζομέτρων, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία υδάτων για την εκτέλεση χημικών αναλύσεων για τον έλεγχο βλαπτικότητας ως προς το σκυρόδεμα σύμφωνα με τον κανονισμό τεχνολογίας σκυροδέματος. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε με πρότυπο δειγματολείπη τύπου teflon, χωρητικότητας 1lt, του οίκου 1lt Voss, ΗΠΑ. Σε κάθε γεώτρηση γίνονταν δειγματοληψία ενός υποδείγματος του 1lt για τον έλεγχο των παραμέτρων Ph , NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Mg<sup>+2</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> και δύο υποδειγμάτων νερού των 500ml με την άμεση προσθήκη στο ένα υπο δείγμα προζυγισμένου δοκιμίου καθαρού CaCO<sub>3</sub> σε σκόνη βάρους 10 gr για τον προσδιορισμό του CO<sub>2</sub>.

Από την έρευνα αυτή προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν (Πίνακες 6.20 και 6.21) και αφορούν τη χημική ανάλυση του ύδατος για το υπόγειο τμήμα του σταθμού και τη σήραγγα διπλής τροχιάς, αντίστοιχα. Αντίστοιχες πληροφορίες για το τμήμα ανοικτής εκσκαφής του σταθμού δεν υπάρχουν.

**Πίνακας 6.6.20: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων υδάτων για τον υπόγειο τμήμα του σταθμού. (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό,2007)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	pH	CO <sub>2</sub> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	Mg <sup>+2</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)
CASP3T	7.6±0.04	1	266±5.3	0.086	31	71±1.2
CASP4T	7.9±0.05	<1	48±3.1	0.477	12	124±1.9

**Πίνακας 6.6.21: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων υδάτων για τη σήραγγα διπλής τροχιάς. (Υδρογεωλογική Μελέτη, Αττικό Μετρό,2007)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	pH	CO <sub>2</sub> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	Mg <sup>+2</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)
CATP1	7.5±0.04	4	133±4.5	0.328	60	421±5.4
CATP4	7.0±0.03	<1	99±4.3	0.529	38	243±3.4

Οι τιμές των χημικών αναλύσεων από τα ύδατα των γεωτρήσεων, υποδυκνείουν συνθήκες μη προσβολής του σκυροδέματος για τους χημικούς παράγοντες pH, CO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub> και Mg. Το ίδιο συμβαίνει και για τις αναλύσεις SO<sub>4</sub> με εξαίρεση στη θέση της γεώτρησης CASP3T, όπου η τιμή 266 mg/l καταδυκνείει ασθενή βαθμό προσβολής. Η τιμή αυτή δεν συνάδει με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων υδάτων αλλά και εδάφους των παρακείμενων γεωτρήσεων και πιθανόν να οφείλεται σε σημειακή πηγή.

## 7 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ (Εκθεση Μελέτης Γραφείου, Αττικό Μετρό, 2007)

### 7.1 Σεισμική Επικινδυνότητα Εδάφους

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (Ε.Α.Κ., 2000), το υπέδαφος της περιοχής του έργου εντάσσεται στην κατηγορία Α (βραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος) και στην κατηγορία Β (εδάφη ενδιάμεσης σεισμικής επικινδυνότητας) (βλέπε Πίνακα 7.1.).

Πίνακας 7.1.: Κατηγορίες σεισμικής επικινδυνότητας εδαφών.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
A	<p>Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με τη προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση.</p> <p>Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλλοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70 m.</p> <p>Στρώσεις πολύ σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μικρότερου των 70 m.</p>
B	<p>Εντόνως αποσαθρωμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη.</p> <p>Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5 m ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70 m.</p> <p>Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70 m.</p>
Γ	<p>Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5m ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70 m.</p>

	Ίλυοαργιλικά εδάφη μικρής αντοχής σε πάχος μεγαλύτερο των 5 m.
Δ	Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλαστιμότητας ( $I_p > 50$ ) συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10 m.

## 7.2 Συντελεστής Σεισμικής Επιβάρυνσης

Σύμφωνα με την τροποποίηση των διατάξεων του Ε.Α.Κ. 2000, η περιοχή του έργου ευρίσκεται στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Ι. Για τις περαιτέρω αναλύσεις έγινε δεκτό ότι ανήκει στις περιοχές ενδιάμεσης σεισμικότητας και κατατάσσεται στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Ι (περιοχή Περιστερίου) με σεισμική επιτάχυνση εδάφους  $\alpha = 0,16$  g.

## 8 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

### 8.1 Αξιολογηθείσες Γεωτρήσεις για κάθε τμήμα του έργου

Στα πλαίσια του έργου και προκειμένου να διερευνηθούν τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών και κατ' επέκταση η γεωμηχανική συμπεριφορά τους εκτελέστηκε εκτεταμένο γεωτρητικό πρόγραμμα που περιελάμβανε γεωτρήσεις: α) στο υπόγειο τμήμα του σταθμού β) στο τμήμα ανοικτής εκσκαφής του σταθμού και γ) στο τμήμα της σήραγγας διπλής γραμμής. Τα στοιχεία που προέκυψαν συνοψίζονται στους Πίνακες 8.1, 8.2 και 8.3.

Οι γεωτρήσεις που ξεκινούν με Γ είναι γεωτρήσεις που έγιναν για παλαιότερα γεωλογικά προγράμματα, ενώ οι γεωτρήσεις που ξεκινούν με C είναι γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν πρόσφατα. Σημειώνεται ότι εκτός από τις γεωτρήσεις που υπάρχουν στους παρακάτω πίνακες αξιολογήθηκαν και στοιχεία και από άλλες γεωτρήσεις. Αυτές που περιλαμβάνονται στους πίνακες είναι αυτές που χρησιμοποιήθηκαν κατά το πλείστον.

**Πίνακας 8.1: Στοιχεία αξιολογηθεισών γεωτρήσεων για το υπόγειο τμήμα του σταθμού.**

*(Ε.Γ.Α Υπόγειου Τμήματος Σταθμού, Αττικό Μετρό, 2007)*

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Χ.Θ.	X	Y	Z	ΒΑΘΟΣ	ΕΚΤΕΛΕΣΘΕΙΣΕΣ ΑΠΟ
CASN1T	1+732.25	96497.175	104050.909	56.36	35.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASP4T	1+728.48	96531.729	104069.937	56.09	35.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASP3T	1+688.99	96534.225	104024.349	55.85	29.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASE1T	1+685.85	96559.040	104036.046	55.58	29.50 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CATP5	1+666.19	96564.533	104016.034	55.18	25.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CP3818	1+696.35	96521.286	104024.514	55.70	30.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASR1P	1+771.36	96480.044	104085.869	57.17	35.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASR2	1+692.04	96532.869	104027.033	55.85	29.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASR3	1+731.55	96530.381	104072.622	56.09	35.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
Γ026	1+658.90	96557.456	104003.144	54.90	20.00 m	ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΛΙΟΥ
Γ025	1+691.92	96540.869	104031.721	55.80	20.80 m	ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΛΙΟΥ
Γ023	1+711.27	96530.985	104048.174	55.90	20.00 m	ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΛΙΟΥ
Γ05	1+739.76	96536.809	104087.050	56.84	30.80 m	ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΛΙΟΥ

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ  
ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)

**Πίνακας 8.2: Στοιχεία αξιολογηθεισών γεωτρήσεων για το τμήμα της σήραγγας διπλής τροχιάς. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Χ.Θ.	X	Y	Z	ΒΑΘΟΣ	ΕΚΤΕΛΕΣΘΕΙΣΕΣ ΑΠΟ
CATP1	1+416.91	96666.373	103786.406	49.65	27.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CATP4	1+541.45	96620.316	103902.968	52.51	25.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CAFP1AC	1+566.32	96621.868	103931.586	52.62	27.10 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CATE1	1+587.11	96605.646	103947.193	53.16	27.30 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CATP5	1+666.19	96564.533	104016.034	55.18	25.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASP3T	1+688.99	96534.225	104024.349	55.85	29.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASE1T	1+685.85	96559.040	104036.046	55.58	29.50 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
Γ17	1+548.63	96615.1041	103908.5556	52.34	30.00	ΙΣΤΡΙΑ
Γ25	1+359.07	96684.0480	103730.8743	48.65	30.00	ΙΣΤΡΙΑ
Γ013	1+451.60	96654.2088	103819.2429	50.63	20.60	ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΛΙΟΥ
Γ027	1+578.38	96593.8068	103931.4688	53.34	21.00	ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΛΙΟΥ
Γ028	1+515.83	96621.1003	103875.2076	52.00	20.00	ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΛΙΟΥ
Γ07	1+621.12	96564.8845	103964.5422	54.26	29.80	ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΛΙΟΥ
Γ026	1+658.90	96557.4557	104003.1437	54.90	20.00	ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΛΙΟΥ

**Πίνακας 8.3: Στοιχεία αξιολογηθεισών γεωτρήσεων για το τμήμα ανοικτής εκσκαφής του σταθμού. (Ε.Γ.Α Ανοικτής Εκσκαφής Σταθμού, Αττικό Μετρό, 2007)**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Χ.Θ.	X	Y	Z	ΒΑΘΟΣ	ΕΚΤΕΛΕΣΘΕΙΣΕΣ ΑΠΟ
CASN1T	1+732.15	96497.175	104050.9090	56.36	35.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASP4T	1+728.48	96531.729	104069.9370	56.09	35.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASH1CC2	1+758.57	96533.4815	104108.7050	57.02	15.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASN2	1+767.10	96484.445	104083.9000	56.96	35.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASP5	1+779.65	96506.7300	104115.9570	57.35	35.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASN4	1+796.69	96485.510	104121.5300	57.30	35.50 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CBKN1	1+818.89	96452.899	104124.1870	57.72	30.10 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CP3819	1+793.25	96468.4574	104103.7400	57.46	29.90 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASR1P	1+771.36	96480.044	104085.869	57.17	35.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASR2	1+692.04	96532.869	104027.033	55.85	29.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASR3	1+731.55	96530.381	104072.622	56.09	35.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
Γ020	1+819.88	96466.3380	104135.6610	58.10	20.00 m	ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΛΙΟΥ
Γ022	1+782.84	96495.1423	104110.9770	57.40	25.00 m	ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΛΙΟΥ
Γ023	1+711.27	96530.9848	104048.1738	55.90	20.00 m	ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΛΙΟΥ
Γ05	1+739.76	96536.8089	104087.0500	56.84	30.80 m	ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΛΙΟΥ
Γ024	1+755.98	96501.6974	104082.4716	56.98	20.50 m	ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΛΙΟΥ

## 8.2 Γεωτεχνική ταξινόμηση των σχηματισμών που συναντήθηκαν

Από τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων και των επί τόπου εργαστηριακών δοκιμών κατέστη δυνατή η ομαδοποίηση / ενοποίηση των σχηματισμών, με βάση τα γεωτεχνικά τους χαρακτηριστικά, σε σύνολο έξι (6) γεωτεχνικές ενότητες, οι οποίες συναντώνται στα διάφορα τμήματα του έργου. Οι γεωτεχνικές ενότητες είναι οι ακόλουθες:

- α. Επιφανειακές Αποθέσεις (αλλούβια) και Τεχνητές Επιχώσεις.
- β. Κροκαλοπαγές και (κατά θέσεις) Λατυποπαγές / Ψηφιδοπαγές.
- γ. Έντονα αποσαθρωμένος ασβεστίτικός Μεταψαμμίτης.
- δ. Ισχυρός, μέτρια τεκτονισμένος, ασβεστίτικός Μεταψαμμίτης (μέρος του Αθηναϊκού Σχιστολίθου).
- ε. Τεκτονισμένο Λατυποπαγές Μεταψαμμίτη (Εναλλαγές Μεταψαμμίτη – Μεταίλυολίθου) (μέρος του Αθηναϊκού Σχιστολίθου).
- στ. Μεταίλυολίθος - Αργιλικός Σχιστόλιθος (μέρος του Αθηναϊκού Σχιστολίθου).

Οι «ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ» και οι «ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ», μολονότι από γεωλογική άποψη ανήκουν σε διαφορετική ενότητα, καθώς η προέλευσή τους είναι διαφορετική, γεωτεχνικά περιλαμβάνονται στην ίδια ενότητα, καθώς μοιράζονται κοινά φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά. Απαντώνται, κυρίως, με τη μορφή «καστανής – καστανοκίτρινης», πυκνής ΑΜΜΟΥ με χάλικες .

Το «ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ – ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ» υπόκειται των ανωτέρω επιφανειακών αποθέσεων, έχει χρώμα, κυρίως, τεφρό – καστανότεφρο και απαντάται σε ελαφρά έως έντονα αποσαθρωμένη μορφή.

Ο έντονα αποσαθρωμένος ασβεστίτικός ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ απαντάται κάτω από τις επιφανειακές αποθέσεις. Ο σχηματισμός αυτός έχει τεφρό χρώμα κυρίως.

Ο ισχυρός, μέτρια τεκτονισμένος ασβεστίτικός ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ υπόκειται του έντονα αποσαθρωμένου ασβεστίτικού μεταψαμμίτη.

Το τεκτονικό ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗ έχει τεφροπράσινο χρώμα. Ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται και με τη μορφή ισχυρού και αποσαθρωμένου ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗ ενώ έχει πράσινο έως τεφροπράσινο χρώμα.

Ο ΑΡΓΙΛΙΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ υπόκειται του Τεκτονικού Λατυποπαγούς Μεταψαμμίτη και έχει σκουρότεφο χρώμα.

Ο «ΑΘΗΝΑΪΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ», πέρα από τις ανωτέρω διακρίσεις (γ, δ, ε και στ) εμφανίζεται, όπως προκύπτει από την μακροσκοπική εξέταση των δειγμάτων που ελήφθησαν από τις γεωτρήσεις αλλά κι από τις εκτελεσθείσες δοκιμές κατάταξης, με δύο διαφορετικές φάσεις: ως ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ (ανώτερη στρώση) και ως ΜΕΤΑΪΛΥΟΛΙΘΟΣ (υποκείμενη στρώση). Σε κάποιες θέσεις, απαντούν ζώνες μετάβασης, οι οποίες εμφανίζουν εναλλαγές των παραπάνω φάσεων. Ο σχηματισμός εμφανίζεται, κυρίως, ως πτωχής ποιότητας βραχομάζα, κερματισμένος και μέτρια έως έντονα αποσαθρωμένος ενώ, κατά θέσεις, διαθέτει εντελώς εξαλλοιωμένη δομή («εδαφοποιημένος»).

Οι κοκκομετρικές αναλύσεις και οι δοκιμές προσδιορισμού των ορίων Atterberg έδειξαν ότι τόσο ο «Μεταψαμμίτης» όσο και ο «Μεταίλυόλιθος» κατατάσσονται ως «αργιλώδης άμμος με χάλικες», χαμηλής πλαστικότητας έως μη πλαστική. Χαρακτηριστικό είναι ότι και οι δύο φάσεις του σχηματισμού, διαθέτουν, πέρα από την κοκκομετρία και την πλαστικότητα και άλλα κοινά χαρακτηριστικά κυρίως σ' ό,τι αφορά τη δομή. Και στις δύο περιπτώσεις η δομή του εδάφους διαφοροποιείται, από θέση σε θέση, από την άποψη του κερματισμού, της αποσάθρωσης ή/και της εξαλλοίωσης, εντός κοινών ορίων.

Γενικά, και τις δύο φάσεις του σχηματισμού χαρακτηρίζει η «ίδια» ανομοιογένεια. Οι τιμές του γεωλογικού δείκτη αντοχής (δείκτης ποιότητας πετρώματος) GSI κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα και στις δύο φάσεις με τη μέση τιμή να είναι ελαφρώς υψηλότερη στον «μεταψαμμίτη» ( $GSIM\P = 34$ ) απ' ότι στον «μεταίλυόλιθο» ( $GSIM\I = 29$ ). Εδώ σημειώνεται ότι ο «Αθηναϊκός Σχιστόλιθος», γενικά, είναι ένας φλυσχοειδής σχηματισμός που απαντά στην ευρύτερη περιοχή του λεκανοπεδίου και παρουσιάζει ανομοιογένεια τόσο από περιοχή σε περιοχή όσο κι



από θέση σε θέση. Χαρακτηριστικό είναι το μεγάλο εύρος τιμών του «Δείκτη Ποιότητας Πετρώματος» (GSI), ο οποίος κυμαίνεται από 10 έως 60 ( $10 < \text{GSI} < 60$ ).

### 8.3 Παράμετροι διατμητικής αντοχής και παραμορφωσιμότητας σχηματισμών

Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων της διατμητικής αντοχής και της παραμορφωσιμότητας των σχηματισμών ελήφθησαν υπ' όψη τα αποτελέσματα των επί τόπου και των εργαστηριακών δοκιμών, σε συνδυασμό με επί τόπου μακροσκοπική εξέταση των δειγμάτων, από την οποία προέκυψαν οι τιμές του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (GSI) και την υπάρχουσα εμπειρία από έργα σε αντίστοιχους σχηματισμούς στην περιοχή του Λεκανοπεδίου των Αθηνών. Η «στατιστική» επεξεργασία των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δοκιμών, ουσιαστικά, περιέλαβε την εξαγωγή μέσων τιμών, καταγράφοντας, παράλληλα, τις εκάστοτε μέγιστες και ελάχιστες τιμές για κάθε παράμετρο.

Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν γνωστές ημιεμπειρικές σχέσεις, από την ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία, οι οποίες συνδέουν τις παραμέτρους της διατμητικής αντοχής (π.χ. τη γωνία εσωτερικής τριβής  $\varphi$ ) και της παραμορφωσιμότητας (π.χ. το μέτρο  $E_{\text{oed}}$ ) με αποτελέσματα επί τόπου δοκιμών, κυρίως με τον αριθμό κρούσεων  $N_{\text{SPT}}$ .

Έτσι, για «κοκκώδεις» (μη συνεκτικούς σχηματισμούς) ελήφθησαν υπ' όψη οι παρακάτω σχέσεις:

- 1)  $\varphi = 15 + \sqrt{20 N_{\text{SPT}}}$  (**Ohsaki**)
- 2)  $E_{\text{oed}} = 40 + C (N_{\text{SPT}} \pm 6)$  (**Τάσιος και Αναγνωστόπουλος, 1974**)
- 3)  $E_{\text{oed}} = c_1 + c_2 (N_{\text{SPT}} \pm 6)$  (**Παπαδόπουλος και Αναγνωστόπουλος, 1977**)
- 4)  $k_o = 1 - \sin \varphi$  (**Jaky, 1944**)

Στην περίπτωση «συνεκτικών» σχηματισμών ελήφθησαν υπ' όψη οι παρακάτω σχέσεις:

- 5)  $k_o = 1 - \sin \varphi$  (**Jaky, 1944**)

- 6)  $\varphi = 20 + N_{SPT}/4$  (Sowers)
- 7)  $\varphi = \arctan (0,58 - 0,0045 PI)$  (Sheiding)
- 8)  $E_u = 600 \times s_u$  (Duncan)
- 9)  $E' = 2 \times N_{SPT}$  (Duncan and Buchignani, 1987)
- 10)  $E_u = (15.000 / PI) \times s_u$  (Duncan and Buchignani, 1987)
- 11)  $k_o = k_o^{NC} \sqrt{OCR}$  (Jamiolkowski, 1980)
- 12)  $k_o = k_o^{NC} \times OCR^{0,46}$  (Jamiolkowski, 1980)
- 13)  $k_o = 0,44 + 0,42 (PI/100)$  (για κανονικά στερεοποιημένες αργίλους)

Όπου

$\varphi$  = γωνία εσωτερικής τριβής

$N_{spt}$  = αριθμός κρούσεων πρότυπης δοκιμής διείδυσης

$E_{oed}$  = μέτρο ελαστικότητας (ή μέτρο συμπίεστικότητας)

$K_o$  = συντελεστής ουδετέρων ωθήσεων

$s_u$  = αστράγγιστη διατμητική αντοχή του εδάφους

$PI$  = δείκτης πλαστικότητας

$OCR$  = λόγος προστερεοποίησης

Παρακάτω δίνονται τα γεωτεχνικά προσομοιώματα για κάθε τμήμα του έργου μέσω των οποίων παρουσιάζονται οι γεωλογικές ενότητες που συναντώνται σε κάθε ένα από αυτά τα τμήματα. Επίσης δίνονται και οι γεωτεχνικές παράμετροι σχεδιασμού τους οι οποίες είναι :

$\gamma$  = φαινόμενο βάρος

$c$  = συνοχή από τριαξονικές δοκιμές

$\varphi$  = γωνία εσωτερικής τριβής

$E_{oed}$  = μέτρο συμπίεστικότητας

$K_o$  = συντελεστής ουδετέρων ωθήσεων

**K = τιμή υδροπερατότητας**

**$\sigma_t$  = μονοαξονικός εφελκυσμός**

**s και  $m_b$  = σταθερές που εξαρτώνται από τις ιδιότητες του βραχώδους υλικού και τα χαρακτηριστικά της βραχομάζας**

**1. Γεωτεχνικά προσομοιώματα για τη σήραγγα διπλής τροχιάς (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007):**

Με βάση την μακροσκοπική εξέταση των δειγμάτων που ελήφθησαν από τις γεωτρήσεις, τις εκτελεσθείσες δοκιμές κατάταξης και κυρίως την τιμή του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (GSI), κατέστη δυνατός ο γεωλογικός χωρισμός της μηκοτομής της χάραξης της σήραγγας σε τρία επί μέρους τμήματα. Το πρώτο τμήμα εκτείνεται από την Χ.Θ. 1+392.50 έως την Χ.Θ. 1+530 περίπου, στο εξής χαρακτηριζόμενο ως Db, το δεύτερο εκτείνεται από την Χ.Θ. από 1+530 έως την Χ.Θ. 1+600 περίπου, στο εξής χαρακτηριζόμενο ως Da και το τρίτο από την Χ.Θ. 1+600 έως και το τέλος της χάραξης (Χ.Θ. 1+681.29), στο εξής χαρακτηριζόμενο ως Dc.

Επίσης, τα γεωτεχνικά προσομοιώματα Da και Dc χωρίζονται στα επιμέρους τμήματα Da1, Da2 και Da3 και Dc1 και Dc2 αντιστοίχως λόγω της διαφοροποίησης του βάθους εμφάνισης του ασβεστιτικού μεταψαμμίτη.

Στις εικόνες 8.1 έως 8.6 δίνονται τα παραπάνω προσομοιώματα.

**Στην περιοχή Db (Χ.Θ. 1+ 392.50 έως Χ.Θ. 1+530):**

✓ Ο έντονα αποσαθρωμένος ασβεστιτικός μεταψαμμίτης έχει μέσο πάχος ίσο με 4,00 m.

✓ Ο ασβεστιτικός μεταψαμμίτης εκτείνεται από το βάθος των -6.40 έως το τέλος.

**Στην περιοχή Da1 (Χ.Θ. 1+ 530 έως Χ.Θ. 1+565):**

✓ Ο έντονα αποσαθρωμένος ασβεστιτικός μεταψαμμίτης έχει πάχος ίσο με 2,00 m.

✓ Ο ισχυρός ασβεστιτικός μεταψαμμίτης εμφανίζεται από το βάθος των -4,40 m έως το τέλος.

Σημείωση: Στην συγκεκριμένη περιοχή η σήραγγα διανοίγεται στον ισχυρό ασβεστιτικό ψαμμίτη αλλά κάτω από το δάπεδό της εμφανίζεται ο τεκτονικός μεταψαμμίτης με ασθενέστερα χαρακτηριστικά.

**Στην περιοχή Da2 (X.Θ. 1+ 565 έως X.Θ. 1+585):**

- ✓ Ο έντονα αποσαθρωμένος ασβεστιτικός μεταψαμμίτης έχει πάχος 2,00 m.
- ✓ Ο ισχυρός ασβεστιτικός μεταψαμμίτης εμφανίζεται από το υψόμετρο των -38 (X.Θ. 1+565) έως το -20 (X.Θ. 1+585).
- ✓ Ο τεκτονισμένος μεταψαμμίτης εμφανίζεται με ασθενή χαρακτηριστικά κάτω από το δάπεδο της σήραγγας.

**Στην περιοχή Da3 (X.Θ. 1+ 585 έως X.Θ. 1+600):**

- ✓ Ο ισχυρός ασβεστιτικός μεταψαμμίτης εμφανίζεται από το υψόμετρο -20 (X.Θ. 1+585) έως και το -13 (X.Θ. 1+600)
- ✓ Ο τεκτονισμένος μεταψαμμίτης εμφανίζεται από το βάθος των -13 έως -28 m.
- ✓ Ο αργιλικός σχιστόλιθος εμφανίζεται περί το βάθος των -28 m έως το τέλος.

**Στην περιοχή Dc1 (X.Θ. 1+ 600 έως X.Θ. 1+660):**

- ✓ Το κροκαλοπαγές – λατυποπαγές έχει πάχος 1,60 m.
- ✓ Ο ισχυρός ασβεστιτικός μεταψαμμίτης εμφανίζεται με μειούμενο υψόμετρο από το -13 (X.Θ. 1+600) έως το -5 (X.Θ. 1+660).
- ✓ Ο τεκτονισμένος μεταψαμμίτης εμφανίζεται βαθύτερα, από το υψόμετρο των -13 έως -23 και από το υψόμετρο των -5 έως -18.
- ✓ Ο αργιλικός σχιστόλιθος εμφανίζεται περί ο βάθος των -18 έως το τέλος.

**Στην περιοχή Dc2 (X.Θ. 1+ 660 έως X.Θ. 1+681,29):**

- ✓ Το κροκαλοπαγές – λατυποπαγές έχει πάχος ίσο με 1,60 m.
- ✓ Ο τεκτονισμένος μεταψαμμίτης εμφανίζεται από το υψόμετρο των -7 έως -13 m.

- ✓ Ο αργιλικός σχιστόλιθος εμφανίζεται από το υψόμετρο των -13 m έως το τέλος.

Σημείωση: Στο τμήμα της περιοχής Dc2 η διάνοιξη της σήραγγας γίνεται μέσα στον τεκτονισμένο μεταψαμμίτη και τον αργιλικό σχιστόλιθο.

- ✓ Όσον αφορά το πάχος των «Επιφανειακών Αποθέσεων και Τεχνητών Επιχώσεων», με βάση τα αποτελέσματα του συνόλου των γεωτρήσεων, κυμαίνεται από 1.60 m έως 3.20 m, ενώ το μέσο πάχος προκύπτει ίσο με 2.40 m (0.0θ – 2.40), για ολόκληρο το μήκος της σήραγγας.

### Db (X.Θ 1+392.5-1+530.00)

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	$\gamma=22.5 \text{ KN/m}^3$	$c=5 \text{ KPa}$	$\phi=30^\circ$	$E_{\text{σολ}}=25 \text{ MPa}$	$k_c=0.50$	$k=2.3 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$	0.00m
ΕΝΤΟΝΑ ΑΠΟΣΑΘΡΟΜΕΝΟΣ ΑΣΒΕΣΤΙΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	$\gamma=24 \text{ KN/m}^3$	$c=30 \text{ KPa}$	$\phi=40^\circ$	$E=50 \text{ MPa}$	$k_c=0.50$	$k=1.67 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$	2.40m
ΙΣΧΥΡΟΣ ΑΣΒΕΣΤΙΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	$\gamma=25 \text{ KN/m}^3$	$c=100 \text{ KPa}$	$\phi=40^\circ$	$n_b=1.877$	$s=0.0013$	$\alpha=0.511$	6.40m
	$\sigma_c=0.007 \text{ MPa}$	$\sigma_c=0.331 \text{ MPa}$	$\sigma_{\text{ολ}}=1.766 \text{ MPa}$		$k=5.64 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$		ΤΕΛΟΣ
	$(E_c=200 - 700 \text{ MPa})$		$E_{\text{ολ}}=400 \text{ MPa}$		$k_c=0.50 - 0.70$		

Εικόνα 8.1: γεωτεχνικό προσομοίωμα Db

### Da1 (X.Θ 1+530.00-1+565)

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	$\gamma=22.5 \text{ KN/m}^3$	$c=5 \text{ KPa}$	$\phi=30^\circ$	$E_{\text{σολ}}=25 \text{ MPa}$	$k_c=0.50$	$k=2.3 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$	0.00m
ΕΝΤΟΝΑ ΑΠΟΣΑΘΡΟΜΕΝΟΣ ΑΣΒΕΣΤΙΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	$\gamma=24 \text{ KN/m}^3$	$c=30 \text{ KPa}$	$\phi=40^\circ$	$E=50 \text{ MPa}$	$k_c=0.50$	$k=1.67 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$	2.40m
ΙΣΧΥΡΟΣ ΑΣΒΕΣΤΙΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	$\gamma=25 \text{ KN/m}^3$	$c=150 - 200 \text{ KPa}$	$\phi=40^\circ - 45^\circ$	$n_b=2.663$	$s=0.0039$	$\alpha=0.506$	4.40m
	$\sigma_c=0.022 \text{ MPa}$	$\sigma_c=0.903 \text{ MPa}$	$\sigma_{\text{ολ}}=3.277 \text{ MPa}$		$k=5.64 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$		ΤΕΛΟΣ
	$(E_c=400 - 1000 \text{ MPa})$		$E_{\text{ολ}}=700 \text{ MPa}$		$k_c=0.50 - 0.70$		

Εικόνα 8.2: γεωτεχνικό προσομοίωμα Da1

**Da2 (X.Θ. 1+ 565 - 1+585)**

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	$\gamma=22.5 \text{ KN/m}^3$	$c=5 \text{ KPa}$	$\varphi=30^\circ$	$E_{\text{sat}}=25 \text{ MPa}$	$k_0=0.50$	$k=2.3 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$	0.00m
ΕΝΤΟΝΑ ΑΠΟΣΑΘΡΩΜΕΝΟΣ ΑΣΒΕΣΤΙΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	$\gamma=24 \text{ KN/m}^3$	$c=30 \text{ KPa}$	$\varphi=40^\circ$	$E=50 \text{ MPa}$	$k_0=0.50$	$k=1.67 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$	2.40m
							4.40m
ΙΣΧΥΡΟΣ ΑΣΒΕΣΤΙΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	$\gamma=25 \text{ KN/m}^3$ $\sigma_1=0.022 \text{ MPa}$ ( $E_{\text{sat}}=400 - 1000 \text{ MPa}$ )	$c=150 - 200 \text{ KPa}$ $\sigma_2=0.903 \text{ MPa}$	$\varphi=40^\circ - 45^\circ$ $\alpha_{\text{sat}}=3.277 \text{ MPa}$ $E_{\text{sat}}=700 \text{ MPa}$	$n_s=2.683$ $k=5.64 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$ $k_0=0.50 - 0.70$	$s=0.0039$ $\alpha=0.506$		
							20.00m
ΤΕΚΤΟΝΙΣΜΕΝΟΣ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	$\gamma=22.5 \text{ KN/m}^3$ $\sigma_1=0.001 - 0.002 \text{ MPa}$ ( $E_{\text{sat}}=60 - 90 \text{ MPa}$ )	$c=26 - 31 \text{ KPa}$ $\sigma_2=0.024 - 0.040 \text{ MPa}$	$\varphi=29^\circ - 33^\circ$ $\alpha_{\text{sat}}=0.201 - 0.335 \text{ MPa}$ $E_{\text{sat}}=80 \text{ MPa}$	$n_s=0.402$ $k=1.74 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$ $k_0=0.50 - 0.65$	$s=0.0001$ $\alpha=0.544$		ΤΕΛΟΣ

Εικόνα 8.3: γεωτεχνικό προσομοίωμα Da2

**Da3 (X.Θ. 1+ 585 - 1+600)**

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	$\gamma=22.5 \text{ KN/m}^3$	$c=5 \text{ KPa}$	$\varphi=30^\circ$	$E_{\text{sat}}=25 \text{ MPa}$	$k_0=0.50$	$k=2.3 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$	0.00m
ΚΡΟΚΑΛΟΓΙΑΓΕΣ	$\gamma=24 \text{ KN/m}^3$	$c=50 \text{ KPa}$	$\varphi=40^\circ$	$E=500 \text{ MPa}$	$k_0=0.50$	$k=1.00 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$	2.40m
							4.00m
ΙΣΧΥΡΟΣ ΑΣΒΕΣΤΙΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	$\gamma=25 \text{ KN/m}^3$ $\sigma_1=0.022 \text{ MPa}$ ( $E_{\text{sat}}=400 - 1000 \text{ MPa}$ )	$c=150 - 200 \text{ KPa}$ $\sigma_2=0.903 \text{ MPa}$	$\varphi=40^\circ - 45^\circ$ $\alpha_{\text{sat}}=3.277 \text{ MPa}$ $E_{\text{sat}}=700 \text{ MPa}$	$n_s=2.683$ $k=5.64 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$ $k_0=0.50 - 0.70$	$s=0.0039$ $\alpha=0.506$		
							13.00m
ΤΕΚΤΟΝΙΣΜΕΝΟΣ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	$\gamma=22.5 \text{ KN/m}^3$ $\sigma_1=0.001 - 0.002 \text{ MPa}$ ( $E_{\text{sat}}=60 - 90 \text{ MPa}$ )	$c=26 - 31 \text{ KPa}$ $\sigma_2=0.024 - 0.040 \text{ MPa}$	$\varphi=29^\circ - 33^\circ$ $\alpha_{\text{sat}}=0.201 - 0.335 \text{ MPa}$ $E_{\text{sat}}=80 \text{ MPa}$	$n_s=0.402$ $k=1.74 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$ $k_0=0.50 - 0.65$	$s=0.0001$ $\alpha=0.544$		
							28.00m
ΑΡΓΙΛΙΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ	$\gamma=23 \text{ KN/m}^3$ $\sigma_1=0.001 \text{ MPa}$ ( $E_{\text{sat}}=60 - 150 \text{ MPa}$ )	$c=22 - 26 \text{ KPa}$ $\sigma_2=0.015 - 0.024 \text{ MPa}$	$\varphi=27^\circ - 29^\circ$ $\alpha_{\text{sat}}=0.165 - 0.201 \text{ MPa}$ $E_{\text{sat}}=100 \text{ MPa}$	$n_s=0.336 - 0.402$ $k=1.34 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$ $k_0=0.50 - 0.65$	$s=0.0001$ $\alpha=0.561 - 0.544$		ΤΕΛΟΣ

Εικόνα 8.4: γεωτεχνικό προσομοίωμα Da3

**Dc1 (X.Θ. 1+ 600 - 1+660)**

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	$\gamma=22.5 \text{ KN/m}^3$	$c'=5 \text{ KPa}$	$\psi'=30^\circ$	$E_{\text{sat}}=25 \text{ MPa}$	$k_0=0.50$	$k=2.3 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$	0.00m
ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ	$\gamma=24 \text{ KN/m}^3$	$c'=50 \text{ KPa}$	$\psi'=40^\circ$	$E=500 \text{ MPa}$	$k_0=0.50$	$k=1.00 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$	2.40m
ΙΣΧΥΡΟΣ ΑΣΒΕΣΤΙΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	$\gamma=25 \text{ KN/m}^3$ $c_1=0.007 \text{ MPa}$ ( $E_{c1}=200 - 700 \text{ MPa}$ )	$c'=100 \text{ KPa}$ $c_c=0.331 \text{ MPa}$	$\psi'=40^\circ$ $\alpha_{\text{cm}}=1.766 \text{ MPa}$	$m_b=1.877$ $E_{c1}=400 \text{ MPa}$	$s=0.0013$ $k=5.64 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$	$\alpha=0.511$ $k_0=0.50 - 0.70$	4.00m
ΤΕΚΤΟΝΙΣΜΕΝΟΣ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	$\gamma=22.5 \text{ KN/m}^3$ $c_1=0.001 - 0.002 \text{ MPa}$ ( $E_{c1}=60 - 90 \text{ MPa}$ )	$c'=26 - 31 \text{ KPa}$ $c_c=0.024 - 0.040 \text{ MPa}$	$\psi'=29^\circ - 33^\circ$ $\alpha_{\text{cm}}=0.201 - 0.335 \text{ MPa}$ $E_{c1}=80 \text{ MPa}$	$m_b=0.402$	$s=0.0001$ $k=1.74 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$	$\alpha=0.544$ $k_0=0.50 - 0.65$	5.00m
ΑΡΓΙΛΙΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ	$\gamma=23 \text{ KN/m}^3$ $c_1=0.001 \text{ MPa}$ ( $E_{c1}=60 - 150 \text{ MPa}$ )	$c'=22 - 26 \text{ KPa}$ $c_c=0.015 - 0.024 \text{ MPa}$	$\psi'=27^\circ - 29^\circ$ $\alpha_{\text{cm}}=0.165 - 0.201 \text{ MPa}$ $E_{c1}=100 \text{ MPa}$	$m_b=0.336 - 0.402$	$s=0.0001$ $k=1.34 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$	$\alpha=0.561 - 0.544$ $k_0=0.50 - 0.65$	18.00m
							ΤΕΛΟΣ

Εικόνα 8.5: γεωτεχνικό προσομοίωμα Dc1

**Dc2 (X.Θ. 1+ 660 - 1+681,29)**

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	$\gamma=22.5 \text{ KN/m}^3$	$c'=5 \text{ KPa}$	$\psi'=30^\circ$	$E_{\text{sat}}=25 \text{ MPa}$	$k_0=0.50$	$k=2.3 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$	0.00m
ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ	$\gamma=24 \text{ KN/m}^3$	$c'=50 \text{ KPa}$	$\psi'=40^\circ$	$E=500 \text{ MPa}$	$k_0=0.50$	$k=1.00 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$	2.40m
ΤΕΚΤΟΝΙΣΜΕΝΟΣ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	$\gamma=22.5 \text{ KN/m}^3$ $c_1=0.001 - 0.002 \text{ MPa}$ ( $E_{c1}=60 - 90 \text{ MPa}$ )	$c'=26 - 31 \text{ KPa}$ $c_c=0.024 - 0.040 \text{ MPa}$	$\psi'=29^\circ - 33^\circ$ $\alpha_{\text{cm}}=0.201 - 0.335 \text{ MPa}$ $E_{c1}=80 \text{ MPa}$	$m_b=0.402$	$s=0.0001$ $k=1.74 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$	$\alpha=0.544$ $k_0=0.50 - 0.65$	4.00m
ΑΡΓΙΛΙΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ	$\gamma=23 \text{ KN/m}^3$ $c_1=0.001 \text{ MPa}$ ( $E_{c1}=60 - 150 \text{ MPa}$ )	$c'=22 - 26 \text{ KPa}$ $c_c=0.015 - 0.024 \text{ MPa}$	$\psi'=27^\circ - 29^\circ$ $\alpha_{\text{cm}}=0.165 - 0.201 \text{ MPa}$ $E_{c1}=100 \text{ MPa}$	$m_b=0.336 - 0.402$	$s=0.0001$ $k=1.34 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$	$\alpha=0.561 - 0.544$ $k_0=0.50 - 0.65$	13.00m
							ΤΕΛΟΣ

Εικόνα 8.6: γεωτεχνικό προσομοίωμα Dc2

**2. Γεωτεχνικό προσομοίωμα για το υπόγειο τμήμα του σταθμού (Ε.Γ.Α Υπόγειον Τμήματος Σταθμού, Αττικό Μετρό 2007):**

Οι «Επιφανειακές Αποθέσεις και Τεχνητές Επιχώσεις» απαντούν κυρίως σε μορφή ιλυώδους – αργιλώδους άμμου με χάλικες έως αμμώδους αργίλου με μέσο πάχος 1,80 m. Το κροκαλοπαγές – λατυποπαγές υπόκειται των «Επιφανειακών Αποθέσεων και Τεχνητών Επιχώσεων» και το μέσο πάχος του είναι 2,70 m. Τέλος, ο «Αθηναϊκός Σχιστόλιθος» απαντάται κάτω από τους προαναφερθέντες σχηματισμούς με μέγιστο βάθος εμφάνισης τα 35 m.



*Εικόνα 8.7: Γεωτεχνικό προσομοίωμα για το υπόγειο τμήμα του σταθμού.*

**3. Γεωτεχνικό προσομοίωμα για το τμήμα ανοικτής εκσκαφής του σταθμού (Ε.Γ.Α Ανοικτής Εκσκαφής Σταθμού, Αττικό Μετρό, 2007):**

Το μέσο πάχος των «Επιφανειακών Αποθέσεων και Τεχνητών Επιχώσεων» είναι ίσο με 2,30 m. Το μέσο πάχος για το κροκαλοπαγές προκύπτει ίσο με 2,70 m. Τέλος, ο «Αθηναϊκός Σχιστόλιθος» απαντάται κάτω από τους προαναφερθέντες σχηματισμούς και μέχρι το βάθος των 35 m.



ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ & ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΚΩΣΕΙΣ	$\gamma=21.0 \text{ KN/m}^3$	$c=5-10 \text{ KPa}$	$\varphi=30^\circ-35^\circ$	$E=25-40 \text{ MPa}$	$\nu=0.43-0.50$	$\kappa=10^{-4} \text{ cm/sec}$	0.00
ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ - ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ	$\gamma=22.5 \text{ KN/m}^3$	$c=40 \text{ KPa}$	$\varphi=40^\circ$	$E=300 \text{ MPa}$	$\nu=0.45-0.50$	$\kappa=10^{-4} \text{ cm/sec}$	2.30
ΛΘΗΝΑΪΚΟΣ ΣΧΙΣΤΩΛΘΙΟΣ	ΜΕΤΑΦΑΜΜΙΤΙΚΗ ΦΑΣΗ	$\gamma=22.5 \text{ KN/m}^3$	$c=25-30 \text{ KPa}$	$\varphi=28-33^\circ$	$E_{\text{π}}=80-130 \text{ MPa}$	$\nu=0.50-0.60$	$\kappa=10^{-4} \text{ cm/sec}$
	ΜΕΤΑΪΥΩΛΘΙΚΗ ΦΑΣΗ	$\gamma=22.5 \text{ KN/m}^3$	$c=25-35 \text{ KPa}$	$\varphi=25^\circ-30^\circ$	$E_{\text{π}}=120-150 \text{ MPa}$	$\nu=0.55-0.65$	$\kappa=10^{-4} \text{ cm/sec}$
							5.00
							24.00
							ΤΕΛΟΣ

Εικόνα 8.8: Γεωτεχνικό προσομοίωμα για το τμήμα ανοικτής εκσκαφής του σταθμού.

## 8.4 Γεωτεχνικές ταξινομήσεις βραχομάζας (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007)

Κατά τη μελέτη διάνοιξης σηράγγων, αναγκαία είναι η κατάταξη της βραχομάζας, εντός της οποίας θα διανοιχθεί η σήραγγα. Με βάση την κατάταξη αυτή είναι δυνατό να γίνει εκτίμηση της ποιότητας της βραχομάζας και των αρχικών μέτρων της άμεσης υποστήριξης της ή να ληφθεί απόφαση για την προσαρμογή των αρχικά επιλεγέντων μέτρων στις αναμενόμενες γεωτεχνικές συνθήκες εμπροσθεν του μετώπου εκσκαφής.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τρία από τα κυριότερα συστήματα ταξινόμησης βραχομαζών, τα οποία εφαρμόστηκαν στη περίπτωση της σήραγγας διπλής τροχιάς και βάσει των οποίων έγινε η πρώτη εκτίμηση των απαραίτητων μέτρων άμεσης υποστήριξης της σήραγγας πρόσβασης.

### 8.4.1 Εκτίμηση του δείκτη γεωλογικής αντοχής GSI

Μια σύγχρονη εναλλακτική προσέγγιση ταξινόμησης βραχομάζας γίνεται με βάση τον Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (Geological Strength Index), όπως παρουσιάστηκε από τους Hoek, Kaiser and Bawden (1995) και αναθεωρήθηκε από τους Μαρίνο και Hoek (2000).

Οι **Hoek και Μαρίνος (2000)** παρουσίασαν πίνακα που συσχετίζει την τιμή του GSI με τη δομή βραχομαζών με ασυνέχειες, για μια εκτίμηση του GSI, με βάση

την οπτική παρατήρηση. Στην ανάλυση αυτή εκτιμάται ότι οι εξεταζόμενες βραχομάζες ανήκουν στις ακόλουθες κατηγορίες:

α. INTACT OR MASSIVE – intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities

β. BLOCKY – well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets

γ. VERY BLOCKY – interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by four or more joint sets

δ. BLOCKY / DISTURBED – folded and / or gaulted with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets

οι δε επιφάνειες των ασυνεχειών μπορούν να χαρακτηρισθούν ως:

α. VERY GOOD – Very rough, fresh unweathered surfaces

β. GOOD – Rough, slightly weathered, iron stained surfaces

γ. FAIR – Smooth, moderately weathered and altered surfaces

δ. POOR – Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments

Με βάση τα αποτελέσματα από την «ΕΚΘΕΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ / ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΔΙΠΛΗΣ ΤΡΟΧΙΑΣ», τα εύρη τιμών του δείκτη γεωλογικής αντοχής για κάθε σχηματισμό είναι τα ακόλουθα:

- Για τον ισχυρό ασβεστίτικο μεταψαμμίτη κυμαίνεται στο εύρος  $GSI = 50 \div 70$  στην περιοχή των γεωτεχνικών προσομοιωμάτων Da1, Da2, Da3.

- Για τον μέτρια ισχυρό ασβεστίτικο μεταψαμμίτη κυμαίνεται στο εύρος  $GSI = 40 \div 50$  στην περιοχή των γεωτεχνικών προσομοιωμάτων Db, Dc1.

- Για τον τεκτονισμένο μεταψαμμίτη κυμαίνεται στο εύρος  $GSI = 15 \div 40$  στην περιοχή των γεωτεχνικών προσομοιωμάτων Da2, Da3, Dc1, Dc2.

- Για τον αργιλικό σχιστόλιθο κυμαίνεται στο εύρος  $GSI = 15 \div 35$  στην περιοχή των γεωτεχνικών προσομοιωμάτων Da3, Dc1, Dc2.

Στον **Πίνακα 8.18** παρουσιάζεται η γεωτεχνική ταξινόμηση της βραχομάζας εντός της οποίας θα διανοίγονταν η σήραγγα κατά GSI.

Οι χιλιομετρικές αυτές θέσεις είναι ενδεικτικές και η τελική απόφαση για την εφαρμογή της κάθε διατομής πάρθηκε ανάλογα με τις επί τόπου συνθήκες που συναντήθηκαν κατόπιν εντολών της Υπηρεσίας.

**Πίνακας 8.4: Μήκη εφαρμογής γεωτεχνικών κατηγοριών κατά μήκος της σήραγγας συναρτήσει του δείκτη γεωλογικής αντοχής (GSI)**

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	GSI	ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ	ΜΗΚΟΣ (m)
I	50 ÷ 70	Da1, Db	Χ.Θ. 1+392.59 ÷ Χ.Θ. 1+ 565.00
II	40 ÷ 50	Da2, Db	Χ.Θ. 1+392.59 ÷ Χ.Θ. 1+ 585
IIIα	15 ÷ 40	Da1, Da3, Dc1, Dc2	Χ.Θ. 1+585 ÷ Χ.Θ. 1+ 681.29
IIIβ	< 15	Da3, Dc1, Dc2	Χ.Θ. 1+585 ÷ Χ.Θ. 1+ 681.29
IIIγ	15 ÷ 40	Dc1	Χ.Θ. 1+600.65 ÷ Χ.Θ. 1+ 624.65
IIIδ	< 15	Da3, Dc1, Dc2	Χ.Θ. 1+585 ÷ Χ.Θ. 1+ 681.29

Από τον **Πίνακα 8.18** παρατηρούμε ότι η τυπική διατομή III χωρίζεται σε 4 υποκατηγορίες. Ο διαχωρισμός αυτός έγινε για να ληφθούν υπόψιν και οι δυσμενέστερες τιμές GSI. Πιο αναλυτικά η υποκατηγορία IIIα αφορά στα γεωτεχνικά προσομοιώματα όπου το GSI κυμαίνεται από 15 ÷ 40. Οι υποκατηγορίες IIIβ και IIIδ αφορούν σε γεωτεχνικά προσομοιώματα, που ήδη περιλαμβάνονται και στην υποκατηγορία IIIα, αλλά που το GSI είναι < 15. Οσον αφορά την υποκατηγορία IIIγ αφορά σε γεωτεχνικό προσομοίωμα που ήδη περιλαμβάνεται στην υποκατηγορία IIIα αλλά η διαφορά των δύο υποκατηγοριών αφορά στο κατασκευαστικό τους κομμάτι. (βλέπε **Παράγραφο 11.7**).

#### 8.4.2 Ταξινόμηση κατά Bieniawski (Σύστημα RMR - 1989)

Με βάση τις επί τόπου παρατηρήσεις και καταγραφές αλλά και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δοκιμών έγινε η ταξινόμηση της βραχομάζας με βάση το σύστημα RMR (Rock Mass Rating), όπως προτάθηκε κατ' αρχήν από τον Bieniawski το 1979 και συμπληρώθηκε το 1989. Ο GSI συσχετίζεται έμμεσα με την τιμή του RMR με τη σχέση:

$$GSI = RMR_{89} - 5$$

Εδώ θα πρέπει να επισημανθεί η ανακολουθία που προκύπτει από την μη εφαρμογή της κατάλληλης τιμής του δείκτη RMR στον υπολογισμό του GSI. Ο δείκτης GSI αναφέρεται, αποκλειστικά, στην ποιότητα της βραχομάζας, ο δείκτης, όμως, RMR89 λαμβάνει υπ' όψη του τη διεύθυνση και την κλίση των ασυνεχειών της βραχομάζας σε σχέση με τη διεύθυνση και κλίση της σήραγγας. Για το λόγο αυτό και έγινε, εξ αρχής, διαχωρισμός των δύο τιμών του δείκτη RMR, δηλαδή αυτού, βάσει του οποίου έγινε η βαθμονόμηση της βραχομάζας και αυτού, βάσει του οποίου εκτιμήθηκε ο δείκτης GSI. Με βάση το εύρος τιμών  $GSI = 15 \div 70$  έχουμε ένα εκτιμώμενο εύρος τιμών  $RMR_{89} = 20 \div 75$  (χωρίς την διόρθωση λόγω διεύθυνσης και κλίσης ασυνεχειών σε σχέση με την διεύθυνση και κλίση της σήραγγας).

#### 8.4.3 Ταξινόμηση κατά Barton (Σύστημα Q - 1974)

Απαραίτητη θεωρήθηκε και η κατάταξη σύμφωνα με το σύστημα Q (Barton, 1974) και η συσχέτισή της με την κατάταξη RMR για την επαλήθευση των εκτιμήσεών μας ή την εύρεση αντιπροσωπευτικότερων τιμών. Για τη συσχέτιση μεταξύ των τιμών RMR και Q έχουν προταθεί οι ακόλουθες εμπειρικές σχέσεις:

$$RMR = 9 \ln Q + 62 \text{ (άνω όριο)}$$

$$RMR = 9 \ln Q + 44 \text{ (μέση τιμή)}$$

$$RMR = 9 \ln Q + 26 \text{ (κάτω όριο)}$$

Με βάση τις ανωτέρω τιμές έχουμε για  $RMR_{89} = 15 \div 75$  θα έχουμε εύρη μέσων τιμών:  $Q = 0,04 \div 31,32$ . Τα αποτελέσματα φαίνονται στον **Πίνακα 8.19**.

**Πίνακας 8.5: Μήκη εφαρμογής γεωτεχνικών κατηγοριών κατά μήκος της σήραγγας.  
συναρτήσει των δεικτών GSI, RMR, Q.**

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	GSI	RMR	Q	ΜΗΚΟΣ (m)
I	50 ÷ 70	55 ÷ 75	1.95 ÷ 31.32	X.Θ. 1+392.59 ÷ X.Θ. 1+ 565.00
II	40 ÷ 50	45 ÷ 55	0.64 ÷ 1.95	X.Θ. 1+392.59 ÷ X.Θ. 1+ 585
IIIα	15 ÷ 40	20 ÷ 45	0.04 ÷ 0.64	X.Θ. 1+585 ÷ X.Θ. 1+ 681.29
IIIβ	< 15	< 20	< 0.04	X.Θ. 1+585 ÷ X.Θ. 1+ 681.29
IIIγ	15 ÷ 40	20 ÷ 45	0.04 ÷ 0.64	X.Θ. 1+600.65 ÷ X.Θ. 1+ 624.65
IIIδ	< 15	< 20	< 0.04	X.Θ. 1+585 ÷ X.Θ. 1+ 681.29

## 9 ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ – ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ

### ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗ (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής,

Αττικό Μετρό, 2007)

#### 9.1 Υφισταμένη Κατάσταση

Η θέση κατασκευής του ευρύτερου τεχνικού έργου του σταθμού ευρίσκεται στην περιοχή της Πλατείας Δημοκρατίας, παραπλεύρως του Ιερού Ναού Ευαγγελιστρίας, στο Περιστερί. Το συγκεκριμένο τεχνικό εκτείνεται από την Χ.Θ. 1+713 έως την Χ.Θ. 1+791.

Η περιοχή μελέτης είναι επίπεδη, χωρίς ιδιαίτερα μορφολογικά χαρακτηριστικά (πρόκειται για μία τυπική αστική περιοχή). Ο ναός της Ευαγγελιστρίας, που είναι το πλησιέστερο στο τεχνικό κτίσμα, ευρίσκεται προς βορρά, σε σχέση με το τεχνικό και, ουσιαστικά, γειτνιάζει με την εκσκαφή (βλέπε **Σχήμα 9.1**). Ο χώρος του πάρκου της Πλατείας Δημοκρατίας έχει καταληφθεί, επί του παρόντος, από την Κ/Ξ για εργοταξιακή χρήση.

#### 9.2 Συνοπτική Περιγραφή των Έργων

Η κατασκευή του συγκεκριμένου έργου του Σταθμού Περιστερίου προηγήθηκε, δεδομένου ότι διαμέσου του πάρκου της Πλατείας Δημοκρατίας και πάνω από το ήδη τότε κατασκευασμένο **τεχνικό της Εισόδου 2** είχε αποφασιστεί να διέρχεται η παρακαμπτήρια οδός για την εκτροπή της κίνησης της Λεωφόρου Παναγής Τσαλδάρη (μόνιμη παράκαμψη).

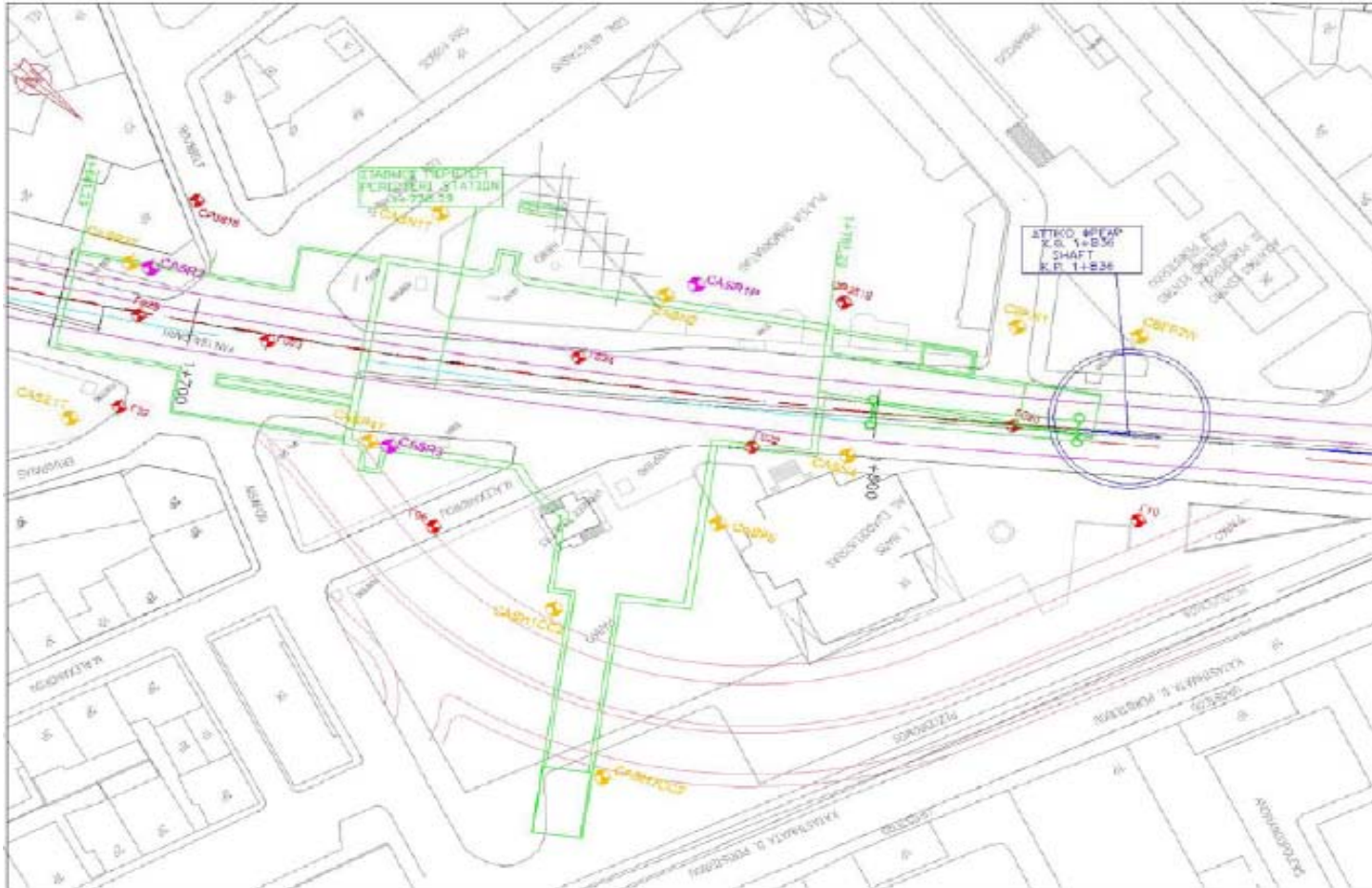
Ο σταθμός στο ανοικτό του τμήμα κατασκευάστηκε με την μέθοδο της Εκσκαφής και Επανεπίχωσης (Cut and Cover – C&C). Η τελική στάθμη εκσκαφής ήταν ενιαία, σε όλη την έκταση του σταθμού (δεν υπήρξαν αναβαθμοί) και βρισκόταν σε βάθος  $D = 25,35$  m, (πλέον του πάχους των στοιχείων υγρομόνωσης) από την επιφάνεια του εδάφους, η μέση στάθμη του οποίου λαμβάνεται στο +57,00. Το

πλάτος (B) του σταθμού μεταβάλλεται από θέση σε θέση. Έτσι στα δύο «ακραία» τμήματα του σταθμού (ανατολικό και δυτικό), το πλάτος (B) είναι της τάξης των 23 m έως 33 m, ενώ στο «κεντρικό» τμήμα του σταθμού το πλάτος (B) ανέρχεται σε 51 m, περίπου.

Για την σταθεροποίηση των πρανών του ορύγματος, λόγω της κατασκευής του φορέα του τεχνικού, κατασκευάστηκε σύστημα προσωρινής αντιστήριξης που αποτελείται από:

- φρεατοπασσάλους διαμέτρου 1.000 mm, οι οποίοι τοποθετήθηκαν σε αξονικές αποστάσεις  $s = 1,50$  m,
- κεφαλόδεσμο από οπλισμένο σκυρόδεμα, με διαστάσεις ( $\pi \times \upsilon$ ) που κυμαίνονται μεταξύ 1,20 m x 1,00 m έως 1,50 m x 1,20 m και
- χαλύβδινες σωληνωτές αντηρίδες (όπου το πλάτος δεν υπερβαίνει τα 335 m, περίπου). Οι αντηρίδες τοποθετήθηκαν σε τυπική αξονική απόσταση  $s = 4,50$  m (3 x 1,50 m).

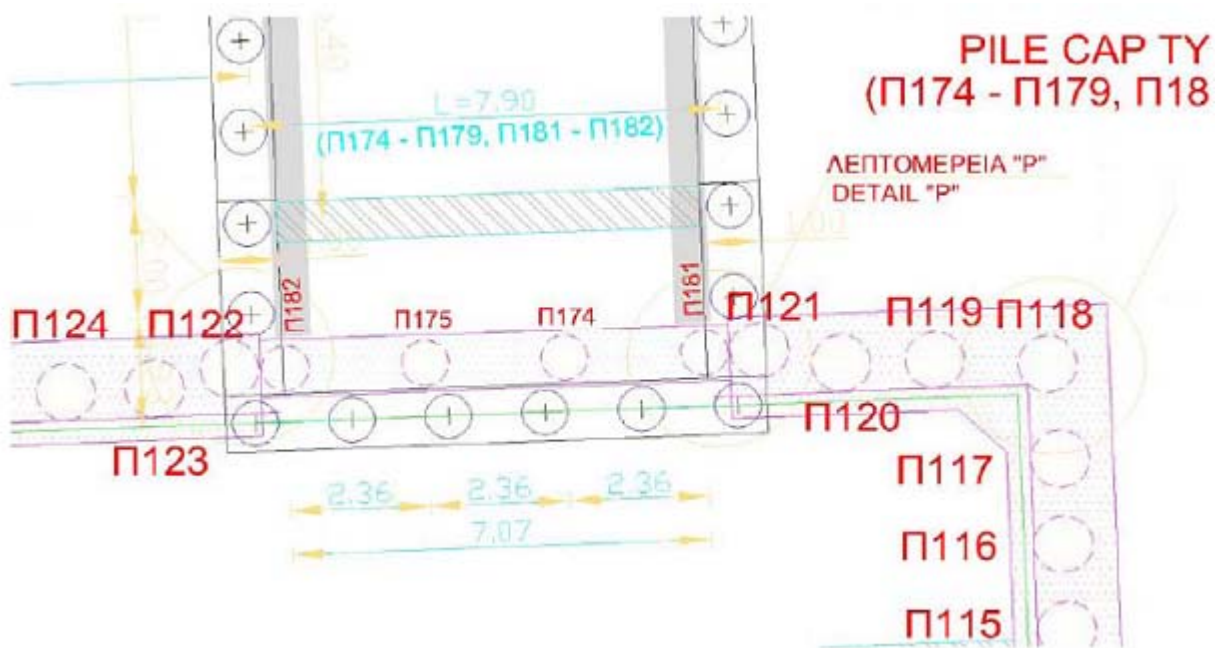
Ακολουθεί περιγραφή που αφορά στο προσωρινό σύστημα του μετώπου που διαμορφώθηκε στο ανατολικό πρανές της εκσκαφής κάτω από τη στάθμη +48,90 (στάθμη εκσκαφής του Τεχνικού Εισόδου C&C2) κι εντός του εύρους που καταλαμβάνει η είσοδος («ΜΕΤΩΠΟ ΕΙΣΟΔΟΥ»). Στο **Σχήμα 9.2** φαίνεται σχετικό απόσπασμα από την Οριζοντιογραφία (διακρίνονται οι πάσσαλοι Π181 – Π174 – Π175 – Π182).



*Σχήμα 9.1: Οριζοντιογραφία Περιοχής Σταθμού ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ. Θέσεις Γεωτρήσεων Ανοικτού Ορύγματος του σταθμού. (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007)*

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)





**Σχήμα 9.2:** Κάτοψη Πασσάλων Μετώπου Εισόδου C&C2. (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007)

Επίσης, η περιγραφή που γίνεται αφορά στο μέτωπο της ανοικτής εκσκαφής που γειτνιάζει με το υπογείως διανοιγόμενο τμήμα του σταθμού («ΜΕΤΩΠΟ ΥΠΟΓΕΙΟΥ»). Στο **Σχήμα 9.3** φαίνεται το σχετικό απόσπασμα της Οριζοντιογραφίας (πάσσαλοι Π55 έως Π77).



**Σχήμα 9.3:** Κάτοψη Πασσάλων Μετώπου Εισόδου C&C2. (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007)

### 9.3 Κριτήρια Σχεδιασμού Προσωρινής Αντιστήριξης

Τα προσωρινό σύστημα αντιστήριξης, της εκσκαφής σχεδιάστηκε έτσι ώστε :

- Να περιορισθούν οι μετακινήσεις σε τιμές μικρότερες των μεγίστων επιτρεπομένων, όπως αυτές αναφέρονται στη μελέτη του έργου.
- Να εξασφαλίζονται ικανοποιητικές συνθήκες ευστάθειας έναντι γενικής θραύσης του εδάφους.

Ταυτόχρονα έγινε προσπάθεια ώστε να μην διαφοροποιείται το σύστημα αντιστήριξης σημαντικά, κατά μήκος του σταθμού, παρά μόνο σε ό,τι αφορά τα επί μέρους γεωμετρικά χαρακτηριστικά του, αποφεύγοντας ενδεχόμενη υπερδιαστασιολόγηση.

Το σύστημα αντιστήριξης αποτελείται, βασικά, από φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις και διαφοροποιείται, όπου το πλάτος εκσκαφής είναι μικρότερο των 35 m ή το έργο γεινιάζει με τον Ι.Ν. Ευαγγελιστριάς για τον οποίο τα κριτήρια περιορισμού των αναμενόμενων μετακινήσεων είναι αυστηρότερα των αναφερομένων στη μελέτη.

Η διαφοροποίηση συνίσταται στην αντικατάσταση των πέντε (5) πρώτων σειρών από τα προβλεπόμενα αγκύρια με τέσσερις (4) αντηρίδες έτσι ώστε να εξασφαλισθεί η απαιτούμενη ακαμψία του συστήματος αντιστήριξης και να περιορισθούν περαιτέρω οι αναμενόμενες μετακινήσεις.

Σύμφωνα με τ' αναφερόμενα στη μελέτη, οι μέγιστες επιτρεπόμενες μετακινήσεις / παραμορφώσεις είναι:

Μέγιστη Καθίζηση Εδάφους,  $\delta_v^{\max} < 25 \text{ mm}$

Μέγιστη Γωνιακή Παραμόρφωση,  $\gamma^{\max} < 1:600$

Μέγιστη Οριζόντια Μετακίνηση,  $\delta_h^{\max} < 0,25\% H$

Οι τιμές αυτές ισχύουν για «κανονικά» κτήρια, τα οποία δεν είναι κατασκευασμένα από τοιχοποιία, αργολιθοδομή ή παρόμοια δομή, δεν έχουν υποστεί

ζημίες και δεν εμπίπτουν στην κατηγορία του μνημείου ή των μεγάλης κλίμακας δημοσίων έργων (π.χ. γέφυρες, αποχετευτικά συστήματα μεγάλης διατομής κ.λ.π.).

Ειδικά για τον Ι.Ν. Ευαγγελιστριάς, που βρίσκεται σχεδόν σ' επαφή, με το προβλεπόμενο όριο της εκσκαφής ορίζονται αυστηρότερα κριτήρια περιορισμού των μετακινήσεων. Αυτά είναι:

Μέγιστη Καθίζηση Εδάφους,  $\delta_v^{\max} < 15 \text{ mm}$

Μέγιστη Γωνιακή Παραμόρφωση,  $\gamma_{\max} < 1:800$

Επί πλέον των παραπάνω, το σύστημα αντιστήριξης εξασφαλίζει ικανοποιητικές συνθήκες ευστάθειας, έναντι γενικής θραύσης του εδάφους. Η ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή του συντελεστή ασφαλείας (FS) έναντι γενικής θραύσης του εδάφους πάρθηκε ίση με  $FS_{ST} = 1,50$  (στατικές συνθήκες).

## 9.4 Γενική Περιγραφή Συστήματος Προσωρινής Αντιστήριξης

Το σύστημα αντιστήριξης που χρησιμοποιήθηκε προέκυψε ως αποτέλεσμα σειράς παραμετρικών ελαστοπλαστικών αναλύσεων, συναξιολόγησης των γεωτεχνικών συνθηκών και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών (κυρίως πλάτος, B και βάθος D) της εκσκαφής που πραγματοποιήθηκε και των εν γένει φορτίων.

### 9.4.1 Τμήμα Ανοικτής Εκσκαφής

Το σύστημα υποστήριξης που τελικά επιλέχθηκε για το σταθμό περιλαμβάνει φρεατοπασσάλους και κεφαλόδεσμούς. Πιο συγκεκριμένα, αποτελείται από:

- Πασσαλοδιάφραγμα από φρεατοπασσάλους ~~δ~~αμέτρ~~000~~ κατασκευαζόμενους ανά 1,50 m, με μήκος 30,00 m (έμπηξη 4,65 m).
- Κεφαλόδεσμο της πασσαλοστοιχίας από οπλισμένο σκυρόδεμα C25/30, μεταβλητών διαστάσεων. Αυτές διαφοροποιούνται, ανάλογα με τα φορτία που φέρει ο κεφαλόδεσμος, από θέση σε θέση. Καθοριστικό παράγοντα γι' αυτό αποτελεί το αν επί του κεφαλόδεσμου εδράζεται ή όχι αντηρίδα. Οι

διαστάσεις του (π x υ) κυμαίνονται από 1,20 m x 1,00 m, στις θέσεις όπου η αντιστήριξη περιλαμβάνει μόνο αγκύρια, έως 1,50 m x 1,20 m, στις θέσεις όπου υπάρχει αντηρίδα εδραζόμενη επί του κεφαλοδέσμου (**Εικόνα 9.1**).



*Εικόνα 9.1: Αντηρίδα εδραζόμενη επί του έγχυτου κεφαλοδέσμου. Τα κενά πληρώνονται με πολυουραιθάνη (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό)*

Το σύστημα αντιστήριξης, όπως έχει ήδη ειπωθεί, διαφοροποιείται, ανάλογα με τα φορτία που καλείται να φέρει και τις απαιτήσεις περιορισμού των παραμορφώσεων που ισχύουν, και ως προς τα υπόλοιπα δομικά στοιχεία που το συνιστούν. Έτσι για το τμήμα της εκσκαφής που γειτνιάζει με τον Ι.Ν. Ευαγγελιστριάς επιλέχθηκε ένα «μικτό» σύστημα το οποίο προσφέρει «ακαμψία» στο άνω τμήμα του, προκειμένου να ικανοποιηθούν οι αυστηρότερες τιμές περιορισμού των μετακινήσεων που ισχύουν. Αποτελείται από:

- Τέσσερις (4) σειρές σωληνωτών αντηρίδων, τοποθετούμενων, η πρώτη, επί του κεφαλοδέσμου στη στάθμη  $-1,00 (+56,00)$ , η δεύτερη στη στάθμη  $-4,45 (+52,55)$ , η τρίτη στη στάθμη  $-9,75 (+47,25)$  και η τέταρτη στη στάθμη  $-14,75 (+42,25)$ . Η μεταξύ τους αξονική απόσταση είναι της τάξης των 4.50 m ( $s = 4,50$  m) (**Εικόνα 9.2**).

- Δύο (2) σειρές προεντεταμένων αγκυρίων, διατομής 4 Φ 0,6'' σε κάνναβο (1,50 x 3,50 m<sup>2</sup>) από ειδικό χάλυβα προέντασης, ποιότητας 1700/1900 με μήκη τα οποία κυμαίνονται από 19 έως 23 m, εναλλάξ, προκειμένου να υλοποιηθεί πεσσοειδής διάταξη των πακτωμένων τμημάτων και να αποφευχθεί τοπική συγκέντρωση των δυνάμεων αγκύρωσης. Η πρώτη σειρά τοποθετήθηκε 5,25 m χαμηλότερα από την τελευταία αντηρίδα, στη στάθμη – 20,00 (+37,00).



*Εικόνα 9.2: Τοποθέτηση τεσσάρων σειρών σωληνωτών αντηρίδων στο τμήμα της εκσκαφής που γειτνιάζει με τον Ι.Ν. Ευαγγελίστριας. Η πρώτη σειρά έχει τοποθετηθεί επί του κεφαλόδεσμου. (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό)*

Οι στάθμες τοποθέτησης των αντηρίδων αναφέρονται στον άξονα των αντηρίδων κι έχουν προκύψει κατά τέτοιο τρόπο ώστε αφ' ενός να μην συμπίπτουν με τις στάθμες των πλακών του μονίμου φορέα, αφ' ετέρου να εξασφαλίζεται το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης των οπλισμών του περιμετρικού τοιχίου έτσι ώστε να μην απαιτείται διακοπή της σκυροδέτησης ή των οπλισμών. Κατ' αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η απρόσκοπτη πρόοδος των εργασιών κατασκευής του μονίμου φορέα.

Στο υπόλοιπο τμήμα της εκσκαφής, το οποίο αφορά, κυρίως, στην παρεία προς το υφιστάμενο Δημαρχείο όπως και στις περιπτώσεις εκείνες που για λόγους που έχουν να κάνουν με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της εκσκαφής και του μόνιμου φορέα του σταθμού, δεν τοποθετούνται αντηρίδες αλλά προεντεταμένα αγκύρια σε όλο το ύψος της εκσκαφής. Πιο συγκεκριμένα:

- Επτά (7) σειρές προεντεταμένων αγκυρίων, διατομής 4 Φ 0,6'' σε κάνναβο (1,50 x 3,50 m<sup>2</sup>) από ειδικό χάλυβα προέντασης, ποιότητας 1700/1900 με μήκη τα οποία κυμαίνονται από 19 έως 27 m, κατά τέτοιο τρόπο ώστε να υλοποιηθεί πεσσοειδής διάταξη των πακτωμένων τμημάτων και να αποφευχθεί τοπική συγκέντρωση των δυνάμεων αγκύρωσης. Η πρώτη σειρά τοποθετείται στη στάθμη - 1,50 (+55,50). Όλα τα αγκύρια τανύζονται με δύναμη προέντασης  $F_p = 600$  kN (με διαφοροποιήσεις από θέση σε θέση ανάλογα με τις επί τόπου συνθήκες και τα αποτελέσματα των λαμβανομένων μετρήσεων από το σύστημα ΓΔΠ). Επίσης, εφαρμόστηκε στρώση εκτοξευομένου σκυροδέματος, πάχους 0,10 m εμπροσθεν της πασσαλοστοιχίας, οπλισμένο με δομικό πλέγμα T 188 και κατασκευάστηκαν αποστραγγιστικές οπές διαμέτρου  $\varnothing$  53 και μήκους  $l = 6,00$  m, ανά 5 m όπου απαιτήθηκαν.

#### 9.4.2 Μέτωπο Εισόδου (C&C2)

Το τελικά επιλεγέν σύστημα αντιστήριξης που εφαρμόστηκε στο μέτωπο εισόδου αποτελείται από φρεατοπασσάλους, κεφαλόδεσμους και προεντεταμένα αγκύρια. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν:

- Πασσαλοδιάφραγμα από φρεατοπασσάλους διαμέτρου 1000 κατασκευαζόμενους ανά 2,36 m. Το μήκος έμπηξης σε όλες τις περιπτώσεις ορίστηκε σε 4,65 m κάτω από την τελική στάθμη εκσκαφής του σταθμού (+27.00).
- Κεφαλόδεσμος της πασσαλοστοιχίας από οπλισμένο σκυρόδεμα C25/30, διαστάσεων 1,00 m x 1,00 m.

- Πέντε (5) σειρές προεντεταμένων αγκυρίων, διατομής  $2 \Phi 0.6''$  σε κάρναβο ( $1,50 \times 3,50 \text{ m}^2$ ) από ειδικό χάλυβα προέντασης, ποιότητας 1700/1900 με μήκη τα οποία κυμαίνονται από 17 έως 27 m, κατά τέτοιο τρόπο ώστε να υλοποιηθεί πεσσοειδής διάταξη των πακτωμένων τμημάτων και να αποφευχθεί τοπική συγκέντρωση των δυνάμεων αγκύρωσης. Η πρώτη σειρά τοποθετείται στη στάθμη +47,40. Τα αγκύρια τανύζονται με δύναμη προέντασης  $F_p = 250 \text{ kN}$ . Επίσης, η μελέτη προέβλεπε εφαρμογή στρώσης εκτοξευομένου σκυροδέματος, πάχους 0,10 m εμπροσθεν της πασσαλοστοιχίας, οπλισμένο με δομικό πλέγμα T 188 και κατασκευή αποστραγγιστικών οπών διαμέτρου  $\emptyset 53$  και μήκους  $l = 6,00 \text{ m}$ , ανά 5 m, όπου αυτό θα ήταν απαραίτητο.

#### 9.4.3 Μέτωπο Υπογείου

Όσον αφορά στο μέτωπο του υπογείου τμήματος του Σταθμού, το σύστημα που τελικά επιλέχθηκε αποτελείται από φρεατοπασσάλους, κεφαλόδεσμούς και προεντεταμένα αγκύρια. Πιο αναλυτικά, αποτελείται από:

- Πασσαλοδιάφραγμα από φρεατοπασσάλους διαμέτρου 1000 κατασκευαζόμενους ανά 1,50 m μεταβλητού μήκους, οι αιχμές των οποίων, ουσιαστικά, περιγράφουν τον θόλο της σήραγγας του «υπογείου» τμήματος του Σταθμού. Το μήκος έμπηξης είναι μεταβλητό. Γενικά ορίστηκε σε 4,65 m κάτω από την τελική στάθμη εκσκαφής του σταθμού (+27,00) με εξαίρεση τους δύο πασσάλους εκατέρωθεν του περιγράμματος του υπογείου του σταθμού. Το μήκος έμπηξης σε αυτές τις περιπτώσεις ορίστηκε σε 10,0 m.
- Κεφαλόδεσμος της πασσαλοστοιχίας από οπλισμένο σκυρόδεμα C25/30, διαστάσεων 1,20 m x 1,50 m.
- Τρεις (3) έως επτά (7) σειρές προεντεταμένων αγκυρίων, διατομής  $3 \Phi 0.6''$  σε τυπικό κάρναβο ( $1,50 \times 3,50 \text{ m}^2$ ) από ειδικό χάλυβα προέντασης, ποιότητας 1700/1900 με μήκος 16 m. Η πρώτη σειρά τοποθετήθηκε στη στάθμη +53,00 προκειμένου να αποφευχθεί οποιαδήποτε εμπλοκή με δίκτυα ΟΚΩ. Τα αγκύρια τανύζονται με δύναμη προέντασης  $F_p = 300 \text{ kN}$ , περίπου. Επιπλέον, προβλεπόταν εκ της μελέτης εφαρμογή στρώσης εκτοξευομένου

σκυροδέματος, πάχους 0,10 m έμπροσθεν της πασσαλοστοιχίας, οπλισμένο με δομικό πλέγμα T 188 και κατασκευή αποστραγγιστικών οπών διαμέτρου  $\varnothing$  53 και μήκους  $l = 6,00$  m, ανά 5 m εάν αυτό κρινόταν απαραίτητο.

Ιδιαίτερα σ' ό,τι αφορά τη σταθεροποίηση αυτού καθ' εαυτού του μετώπου του «υπογείου» τμήματος του Σταθμού χρησιμοποιήθηκαν παθητικά αγκύρια από fiberglass ολόσωμης πάκτωσης, μήκους 14,0 m, σε κάρναβο  $1,0 \times 1,0$  m<sup>2</sup>, φέρουσας ικανότητας  $\Phi = 300$  kN. Τα αγκύρια τοποθετήθηκαν στην περιοχή του μετώπου του «υπογείου» τμήματος του Σταθμού, αρχικά από τη στάθμη +38,77 και άνω. Επίσης, εφαρμόστηκε εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, ποιότητας C20/25, πάχους  $t = 0,10$  m, οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188, με συστηματικές ανακουφιστικές οπές, σε κάρναβο  $2,0 \times 2,0$  m<sup>2</sup>. Αναλυτικά, το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από:

- Πασσαλοδιάφραγμα από φρεατοπασσάλους ~~διαμέτρου~~  $\varnothing 100$  κατασκευαζόμενους ανά 1.50 m, με μήκος 30.00 m (έμπηξη 4.65 m).
- Κεφαλόδεσμος της πασσαλοστοιχίας από οπλισμένο σκυρόδεμα C 25 / 30, μεταβλητών διαστάσεων. Αυτές διαφοροποιούνται, ανάλογα με τα φορτία που θα κληθεί να φέρει ο κεφαλόδεσμος, από θέση σε θέση. Καθοριστικό παράγοντα γι' αυτό αποτελεί το αν επί του κεφαλοδέσμου εδράζεται ή όχι αντηρίδα. Οι διαστάσεις του ( $\pi \times \nu$ ) κυμαίνονται από 1.20 m x 1.00 m (στις θέσεις όπου η αντιστήριξη περιλαμβάνει μόνο αγκύρια) έως 1.50 m x 1.20 m (στις θέσεις όπου υπάρχει αντηρίδα εδραζόμενη επί του κεφαλοδέσμου).

Το σύστημα αντιστήριξης διαφοροποιείται, ανάλογα με τα φορτία που καλείται να φέρει και τις απαιτήσεις περιορισμού των παραμορφώσεων που ισχύουν, και ως προς τα υπόλοιπα δομικά στοιχεία που το συνιστούν. Έτσι για το τμήμα της εκσκαφής που γειτνιάζει με τον I.N. Ευαγγελιστριάς επιλέγεται ένα «μικτό» σύστημα το οποίο προσφέρει «ακαμψία» στο άνω τμήμα του, προκειμένου να ικανοποιηθούν οι αυστηρότερες τιμές περιορισμού των μετακινήσεων που ισχύουν. Αποτελείται από:

- Τέσσερις (4) σειρές σωληνωτών αντηρίδων, τοποθετούμενων, η πρώτη, επί του κεφαλοδέσμου στη στάθμη -1,00 (+56,00), η δεύτερη στη στάθμη -4,45 (+52,55), η τρίτη στη στάθμη -9,75 (+47,25) και η τέταρτη στη στάθμη -14,75



(+42,25). Η μεταξύ τους αξονική απόσταση είναι της τάξης των 4,50 m ( $s = 4,50$  m).

- Δύο (2) σειρές προεντεταμένων αγκυρίων, διατομής 4 Φ 0,6'' σε κάνναβο (1,50 x 3,50 m<sup>2</sup>) από ειδικό χάλυβα προέντασης, ποιότητας 1700/1900 με μήκη τα οποία κυμαίνονται από 19 έως 23 m, εναλλάξ, προκειμένου να υλοποιηθεί πεσσοειδής διάταξη των πακτωμένων τμημάτων και να αποφευχθεί τοπική συγκέντρωση των δυνάμεων αγκύρωσης. Η πρώτη σειρά προβλέπεται να τοποθετηθεί 5,25 m χαμηλότερα από την τελευταία αντηρίδα, στη στάθμη – 20,00 (+37,00).

Οι στάθμες τοποθέτησης των αντηρίδων αναφέρονται στον άξονα των αντηρίδων και έχουν προκύψει κατά τέτοιο τρόπο ώστε αφ' ενός να μην συμπίπτουν με τις στάθμες των πλακών του μονίμου φορέα, αφ'ετέρου να εξασφαλίζεται το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης των οπλισμών του περιμετρικού τοιχίου έτσι ώστε να μην απαιτείται διακοπή της σκυροδέτησης ή των οπλισμών. Κατ' αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η απρόσκοπτη πρόοδος των εργασιών κατασκευής του μονίμου φορέα.

Στο υπόλοιπο τμήμα της εκσκαφής, το οποίο αφορά, κυρίως, στην παρεία προς το υφιστάμενο Δημαρχείο όπως και στις περιπτώσεις εκείνες που για λόγους που έχουν να κάνουν με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της εκσκαφής και του μόνιμου φορέα του σταθμού δεν τοποθετούνται αντηρίδες τοποθετούνται προεντεταμένα αγκύρια σε όλο το ύψος της εκσκαφής. Αυτά είναι:

- Επτά (7) σειρές προεντεταμένων αγκυρίων, διατομής 4 Φ 0,6'' σε κάνναβο (1,50 x 3,50 m<sup>2</sup>) από ειδικό χάλυβα προέντασης, ποιότητας 1700/1900 με μήκη τα οποία κυμαίνονται από 19 έως 27 m, κατά τέτοιο τρόπο ώστε να υλοποιηθεί πεσσοειδής διάταξη των πακτωμένων τμημάτων και να αποφευχθεί τοπική συγκέντρωση των δυνάμεων αγκύρωσης. Η πρώτη σειρά τοποθετείται στη στάθμη – 1,50 (+55,50).

Όλα τα αγκύρια προβλέπεται να τανυσθούν με δύναμη προέντασης  $F_p = 600$  kN, ωστόσο ενδέχεται αυτή να διαφοροποιηθεί από θέση σε θέση ανάλογα με τις επί τούτου συνθήκες και τα αποτελέσματα των λαμβανομένων μετρήσεων από το σύστημα ΓΔΠ. Προβλέπεται, επίσης, η εφαρμογή στρώσης εκτοξευομένου

σκυροδέματος, πάχους 0,10 m έμπροσθεν της πασσαλοστοιχίας, οπλισμένο με δομικό πλέγμα T 188 και η κατασκευή αποστραγγιστικών οπών διαμέτρου  $\varnothing$  53 και μήκους  $l = 6,00$  m, ανά 5 m εάν και όπου απαιτηθούν.

Στις **Εικόνες 9.3** και **9.4** φαίνονται κάποια από τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης για το τμήμα ανοικτής εκσκαφής του Σταθμού.



**Εικόνα 9.3:** Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Διακρίνεται το δομικό πλέγμα.  
(Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό)

#### 9.4.4 Φρέατα Αναλκυστήρων

Τα πρανή των φρέατων των ανελκυστήρων αντιστηρίζονται με ένα συνδυασμό φρεατοπασσάλων με προεντεταμένες αγκυρώσεις και χωρίς προεντεταμένες αγκυρώσεις. Επίσης, τοποθετήθηκαν πέντε (5), ελαφρές, σωληνωτές αντηρίδες, στο άνοιγμα του φρέατος, παράλληλα με τον άξονα του έργου. Για τη διαστασιολόγησή τους, μολονότι στην πράξη το φορτίο που παραλαμβάνουν είναι αμελητέο, έγιναν ελαστοπλαστικές αναλύσεις, σε 2διάστατο μοντέλο (plane strain), συντηρητική παραδοχή, προκειμένου να υπολογισθεί το φορτίο αυτό.

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ  
ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)



*Εικόνα 9.4: Αγκύρια και δομικό πλέγμα πριν την τοποθέτησή τους (στο φόντο ο Ι.Ν. Ευαγγελίστριας). (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό)*

## 9.5 Μεθοδολογία ανάλυσης και υπολογισμών

### 9.5.1 Ελαστοπλαστικές Αναλύσεις – Γενικά

Προκειμένου να επιτευχθεί, κατά το δυνατόν, ο βέλτιστος από οικονομοτεχνική άποψη σχεδιασμός των μέτρων αντιστήριξης, όλες οι σχετικές αναλύσεις και οι υπολογισμοί έγιναν με χρήση της Μεθόδου των Πεπερασμένων Στοιχείων (Μ.Π.Σ.) και μη γραμμικών, ελαστοπλαστικών, προσομοιωμάτων συμπεριφοράς του εδάφους.

Πιο συγκεκριμένα, οι υπολογισμοί έγιναν χρησιμοποιώντας τον κώδικα Η/Υ PLAXIS v.7.2, της PLAXIS B.V, που αναπτύχθηκε σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο του Delft.

Το βασικότερο πλεονέκτημα της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων, όπως έχει περιληφθεί στον εν λόγω κώδικα Η/Υ, είναι ότι επιτρέπει, σε συνδυασμό με τη χρήση «εξελιγμένων» εδαφικών μοντέλων, την ακριβή προσομοίωση των σταδίων κατασκευής του έργου και της απόκρισης του συστήματος «Αντιστήριξη - Έδαφος».

Η ικανοποίηση των εξισώσεων «παραμορφώσεων – τάσεων» οδηγεί σε λεπτομερή εικόνα του πεδίου μετακινήσεων και του πεδίου τάσεων του συστήματος. Κατ' αυτό τον τρόπο, είναι δυνατός ο εντοπισμός ζωνών διαρροής, πεδίων ενεργητικών και παθητικών ωθήσεων, καθώς και του δυνητικού μηχανισμού αστοχίας.

Η προσομοίωση με την Μ.Π.Σ. έδωσε τη δυνατότητα διερεύνησης του τρόπου με τον οποίο αλληλεπιδρούν τα επί μέρους στοιχεία της αντιστήριξης, όπως το μήκος έμπηξης των πασσάλων, το είδος, η φέρουσα ικανότητα και η κατανομή των αντηρίδων καθ' ύψος κ.ά. στο πεδίο μετακινήσεων / τάσεων του συστήματος 'Αντιστήριξη – Έδαφος'.

### 9.5.2 Χαρακτηριστικά Διατμητικής Αντοχής και Παραμορφωσιμότητας

Η συμπεριφορά των εδαφικών υλικών προσομοιώθηκε με χρήση του ελαστοπλαστικού μοντέλου 'Hardening Soil'. Τα βασικότερα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου μοντέλου είναι ότι προβλέπει μεταβολή μεταξύ διατμητικής τάσης – αξονικής παραμόρφωσης ( $q - \varepsilon_i$ ) μέσω μιας «υπερβολικής» συνάρτησης και ότι το μέτρο ελαστικότητας του εδάφους σε τριαξονική φόρτιση, αποφόρτιση και μονοδιάστατη συμπίεση υπολογίζεται με βάση τις επικρατούσες τάσεις του εδάφους από τη σχέση:

$$E_i = E_i^{\text{ref}} \left( \frac{c \cot \varphi - \sigma_3'}{c \cot \varphi + p_{\text{ref}}} \right)^m$$

όπου:

$E_i$  : μέτρο ελαστικότητας του εδάφους (σε φόρτιση, αποφόρτιση και συμπίεση)

$E_i^{\text{ref}}$  : αντίστοιχο, με το ως άνω, μέτρο ελαστικότητας αναφοράς

$p_{\text{ref}}$  : τάση αναφοράς (λαμβάνεται ίση με 100 kPa)

$m$  : εκθέτης, του οποίου η τιμή εξαρτάται από το εδαφικό υλικό.

Τα χαρακτηριστικά διατμητικής αντοχής και παραμορφωσιμότητας του εδάφους, όπως και η στρωματογραφία ελήφθησαν σύμφωνα με τα αναφερόμενα στο τεύχος της αξιολόγησης των γεωτεχνικών ερευνών. Το μέτρο ελαστικότητας του

σκυροδέματος ελήφθη ίσο με  $E_c = 30.5 \text{ GPa}$  (C25/30), ενώ του χάλυβα ίσο με  $E_{st} = 210 \text{ GPa}$ .

### 9.5.3 Βήματα Υπολογισμού

Τα υπολογιστικά βήματα καθορίστηκαν, κατά περίπτωση, έτσι ώστε να προσομοιωθούν με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια τ' αντίστοιχα βήματα κατασκευής. Η προσομοίωση γίνεται σταδιακά, σε βήματα, αντίστοιχα των φάσεων εκσκαφής. Το αρχικό γεωστατικό πεδίο τάσεων ( $\sigma_o$ ) υπολογίστηκε από τον κώδικα κάνοντας χρήση του συντελεστή ωθήσεως γαιών σε ηρεμία ( $k_o$ ) και των σχέσεων:

$$\sigma_{v,i} = \gamma_{zi} \quad \text{και} \quad \sigma_{h,i} = k_o \sigma_{v,i} = k_o \gamma_{zi}$$

όπου:

$\gamma$  : ειδικό βάρος εδάφους

$z$  : βάθος εκάστου σημείου

Σε ό,τι αφορά τις υδροστατικές πιέσεις, λόγω της χαμηλής περατότητας των σχηματισμών και των υδρογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή του σταθμού, και του γεγονότος ότι τόσο η εκσκαφή όσο και το συγκεκριμένο σύστημα αντιστήριξης (με την πρόβλεψη για ανακουφιστικές/αποστραγγιστικές οπές, όπου κι αν απαιτηθεί) εξασφαλίζουν τη στράγγιση των υπογείων νερών, γίνεται η παραδοχή, συνεκτιμώντας και τον προσωρινό του χαρακτήρα, ότι δεν πρόκειται ν' ασκηθούν στο σύστημα αντιστήριξης. Στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους θεωρείται ομοιόμορφο φορτίο  $q = 10 \text{ kPa}$ .

Επίσης, διακρίνουμε δύο περιπτώσεις εξωτερικών φορτίων: η πρώτη αφορά στα φορτία που επιβάλλει ο I.N. Ευαγγελιστριάς στο έδαφος, θεωρουμένου ως διωρόφου κτηρίου το οποίο εδράζεται επιφανειακά. Σύμφωνα με τη μελέτη του έργου, στην τομή υπολογισμού που περιλαμβάνει τον ναό λαμβάνεται υπ' όψη επιφανειακό, ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο  $10 \text{ kPa}$  ανά όροφο, δηλαδή  $p_1 = 20 \text{ kPa}$ , το οποίο δρα σε μία ζώνη εύρους  $b_1 = 25 \text{ m}$ .

Επίσης, λαμβάνεται υπ' όψη το φορτίο λόγω των γερανών που να εγκαταστάθηκαν στο εργοτάξιο. Στο **Σχήμα 9.4** φαίνονται οι θέσεις στις οποίες

εγκαταστάθηκαν γερανοί. Κάθε ένας από τους γερανούς επιβάλλει φορτίο 2.000 kN κατανεμημένο σε μία επιφάνεια διαστάσεων 6,5 x 6,5 m<sup>2</sup>, ήτοι  $p_2 = 46.7 \text{ kPa} \approx 50 \text{ kPa}$ .

Στην υπόλοιπη ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους θεωρείται ομοιόμορφο φορτίο  $q = 10 \text{ kPa}$ . Στο γεωτεχνικό – στατικό μοντέλο λαμβάνεται, πλέον των άλλων φορτίσεων, και σεισμός, ως προσαύξηση του συντελεστή ωθήσεων γαιών ( $k_0$ ) κατά 16% ( $\alpha_{\text{εδάφους}} = 0,16 \text{ g}$ , Ζώνη I, Ε.Α.Κ. 2000).

Στην ανάλυση θεωρείται ότι όλα τα παραπάνω φορτία, γεωστατικά, εξωτερικά φορτία γερανών και σεισμός, όπου έχει ληφθεί υπ' όψη δρουν ταυτόχρονα, χωρίς να απομειώνονται με χρήση επί μέρους συντελεστών απομείωσης ( $\psi_1, \psi_2, \text{κ.λπ.}$ ). Άρα, ο συνδυασμός φορτίων στον οποίο βασίζονται οι ελαστοπλαστικές αναλύσεις είναι ο εξής:

$$1.0 G + 1.0 Q (+ 1.0 E)$$

όπου G: μόνιμα φορτία (γαιών)

Q: ομοιόμορφα κατανεμημένα κινητά φορτία  $p_1 = 20 \text{ kPa}$  («Ι.Ν.Ευαγγελιστρίας» πεδίο) ή  $p_2 = 50 \text{ kPa}$  (γερανοί, φορτηγά) ανάλογα με την περίπτωση και  $q = 10 \text{ kPa}$  στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους («free field»).

E: σεισμός ίσος με  $\alpha = 0,16 \text{ g}$  (Ζώνη I, ΕΑΚ 2000, ΦΕΚ # 1154/12.08.2003)

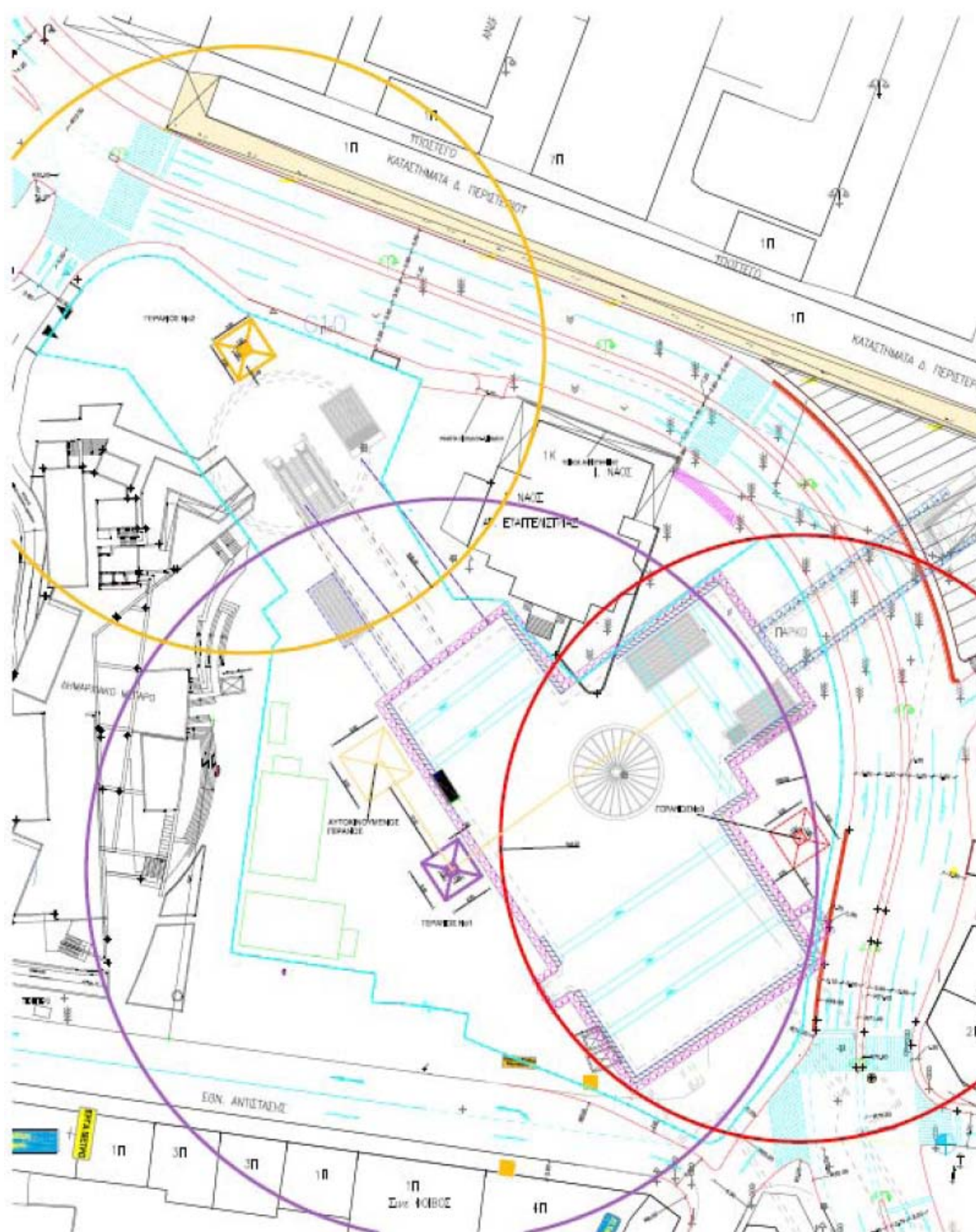
Ο σεισμός ελήφθη υπ' όψη στους υπολογισμούς ως μία επιπλέον των μονίμων και κινητών φορτίων φόρτιση (προσθέτοντας ένα επιπλέον βήμα υπολογισμού). Σημειώνεται ότι η χρήση μη γραμμικών, ελαστοπλαστικών προσομοιωμάτων ανάλυσης δεν μπορεί να εφαρμοσθεί σε συνδυασμό με επί μέρους συντελεστές αύξησης ή μείωσης των φορτίων.

Για το λόγο αυτό και προκειμένου για τη διαστασιολόγηση των επί μέρους δομικών στοιχείων εφαρμόζεται ένας συνολικός συντελεστής προσαύξησης 40%, επί των εντατικών μεγεθών που προκύπτουν από τα «στατικά» φορτία («μόνιμα» και «κινητά»), ενώ στην περίπτωση που περιλαμβάνεται και η σεισμική δράση τα εντατικά μεγέθη λαμβάνονται ως έχουν (χωρίς δηλαδή καμία προσαύξηση). Η

διαστασιολόγηση γίνεται βάσει των δυσμενέστερων τιμών των εντατικών μεγεθών που προκύπτουν από τις δύο παραπάνω περιπτώσεις, ήτοι:

$$[M, Q, F_{αγκ}]_{des} = \max \{ 1.40 (1.0 G + 1.0 Q), 1.0 (G + Q + E) \}$$

Οι ίδιες αρχές διαστασιολόγησης ισχύουν και στην περίπτωση των μετώπων της Εισόδου 2 και του Υπογείου, όπως και στην περίπτωση της αντιστήριξης των φρεάτων των ανελκυστήρων, καθώς αποτελούν τμήματα της ίδιας αντιστήριξης.



Σχήμα 9.4: Θέσεις εργοταξιακών γερανών. (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007)

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ  
ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)



#### 9.5.4 Αποτελέσματα Υπολογισμών

Τα αποτελέσματα των ελαστοπλαστικών αναλύσεων για το σταθμό (σε τρία σημεία) και το μέτωπο εισόδου του σταθμού παρουσιάζονται στους ακόλουθους πίνακες (Πίνακες 9.1, 9.2, 9.3 και 9.4)

**Πίνακας 9.1:** Αποτελέσματα ελαστοπλαστικών αναλύσεων για το τμήμα του Σταθμού γειτονικά του Ι.Ν. Ευαγγελίστριας και του μετώπου εισόδου. (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007)

Είδος αντιστήριξης:	Αγκύρια και αντηρίδες	Ανώτατα Επιτρεπόμενα Όρια:
$\delta_h^{\max}$	18.0 mm	65.0 mm
$\delta_v^{\max}$	8.0 – 9.0 mm	15.0 mm
$\delta_v^{\max}$ (σε σεισμό)	5.0 mm	15.0 mm

**Πίνακας 9.2:** Αποτελέσματα ελαστοπλαστικών αναλύσεων για τμήμα του Σταθμού γειτονικά του Ι.Ν. Ευαγγελίστριας και της περιοχής C&C προς το Δυτικό Φρέαρ. (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007)

Είδος αντιστήριξης:	Αγκύρια και αντηρίδες	Ανώτατα Επιτρεπόμενα Όρια:
$\delta_h^{\max}$	18,0 mm	65,0 mm
$\delta_v^{\max}$	8,0 – 8,5 mm	15,0 mm
$\delta_v^{\max}$ (σε σεισμό)	6,0 mm	15,0 mm

**Πίνακας 9.3:** Αποτελέσματα ελαστοπλαστικών αναλύσεων για το τμήμα που αφορά στην παρειά που γειτονεύει με το Δημαρχείο και ορισμένους «ελεύθερους» πασσάλους (που δε φέρουν φορτία αντηρίδων). (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007)

Είδος αντιστήριξης	Αγκύρια	Ανώτατα Επιτρεπόμενα Όρια
$\delta_h^{\max}$	35,0 mm	65,0 mm

$\delta_h^{\max}$ (σε σεισμό)	36,0 mm	65,0 mm
$\delta_v^{\max}$	19,0 mm	25,0 mm
$\delta_v^{\max}$ (σε σεισμό)	19,5 mm	25,0 mm

**Πίνακας 9.4: Αποτελέσματα ελαστοπλαστικών αναλύσεων για το τμήμα εισόδου (τεχνικό C&C2) (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007)**

Τμήμα	Διατομή Μετώπου Σταθμού	Ανώτατα Επιτρεπόμενα Όρια
$\delta_h^{\max}$	29,5 mm	65,0 mm
$\delta_v^{\max}$	16,0 mm	25,0 mm

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τους παραπάνω πίνακες είναι ότι σε όλες τις περιπτώσεις ικανοποιούνται τα κριτήρια περιορισμού των παραμορφώσεων που αναφέρονται στη μελέτη του έργου, ιδιαίτερα δε οι αυστηρότερες τιμές που έχουν προδιαγραφεί για τον I.N. Ευαγγελιστριάς.

Επιπλέον, προκύπτει ότι οι καθιζήσεις αλλά και η μέγιστη γωνιακή παραμόρφωση ( $\gamma$ ), σε όλο το εύρος της ζώνης επιρροής, κυμαίνονται σε επίπεδα χαμηλότερα από τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια.

Από την ανάλυση φαίνεται ότι σε κανένα σημείο δεν αναπτύσσεται ουσιαστικά «ζώνη διαρροής», παρά μόνο μία μικρή ζώνη μπροστά από το πακτωμένο τμήμα των πασσάλων, στην οποία κινητοποιείται η μέγιστη διατμητική αντοχή του εδάφους (τόσο σε στατικές όσο και σε συνθήκες σεισμού). Στην περίπτωση του **Πίνακα 9.3** η μέγιστη κινητοποιηθείσα διατμητική αντοχή του εδάφους ανέρχεται σε ποσοστό  $\tau_{rel} = 93\% - 100\%$  της διαθέσιμης (σε στατικές αλλά και σε συνθήκες σεισμού).

Μπροστά από το πακτωμένο τμήμα των πασσάλων αναπτύσσεται ζώνη παθητικής αντίστασης, χαρακτηριστικό της οποίας είναι οι υψηλές, σε σχέση με τις κατακόρυφες, «οριζόντιες» τάσεις του εδάφους ενώ όπισθεν της αντιστήριξης

παρατηρείται αλλαγή της τροχιάς των τάσεων η οποία οφείλεται στην επιβαλλόμενη προένταση και την αμελητέα ενδοτικότητα των αντηρίδων.

Σημειώνεται ότι τα αποτελέσματα που αφορούν στην ανάλυση της διατομής της αντιστήριξης του **μετώπου του υπογείου** βασίζονται στην συντηρητική παραδοχή ότι επικρατούν συνθήκες επίπεδης παραμόρφωσης, ότι δηλαδή το μέτωπο εκτείνεται σε άπειρο μήκος κατά την τρίτη διάσταση, κάτι το οποίο στην πραγματικότητα δεν ισχύει, δεδομένου ότι το πλάτος του μετώπου είναι «σχετικά μικρό», 9,0 m περίπου (δε λαμβάνεται υπ' όψη η ανακατανομή των τάσεων που συμβαίνει κατά την τμηματική διάνοιξη του υπογείου τμήματος του σταθμού).

Η διάνοιξη του υπογείου προσομοιώθηκε απενεργοποιώντας τα αντίστοιχα πεπερασμένα στοιχεία που περιγράφουν τη διατομή επιβάλλοντας, όμως, συγκεκριμένη μετακίνηση (σύγκλιση) στην οροφή και το 50% αυτής στο μέτωπο της υπόγειας εκσκαφής.

Η μετακίνηση ορίστηκε με βάση τα αποτελέσματα των υπολογισμών που εκτελέστηκαν προκειμένου να καθορισθούν τα μέτρα άμεσης υποστήριξης του υπογείου τμήματος του σταθμού λαμβάνοντας, επίσης, υπ' όψη μέγιστη επιτρεπόμενη καθίζηση στην επιφάνεια ίση με 25 mm.

#### **9.5.5 Αναλύσεις Ευστάθειας Μετώπου Σήραγγας Υπόγειου Τμήματος Σταθμού**

Για τον καθορισμό των μέτρων σταθεροποίησης του μετώπου της σήραγγας του υπογείου τμήματος του σταθμού εκτελέστηκαν και αναλύσεις χρησιμοποιώντας «συμβατική» μέθοδο οριακής ισορροπίας (limit equilibrium), συγκεκριμένα η μέθοδος Bishop, όπως αυτή έχει «ενσωματωθεί» στον κώδικα H/Y SLIDE 5.10.

Στο προσομοίωμα εισήχθησαν τα αγκύρια fiberglass σαν παθητικά (passive action) στοιχεία σταθεροποίησης του μετώπου ολόσωμης πάκτωσης, ικανά να φέρουν φορτίο έως και  $p = 300 \text{ kN}$ . Ο κάνναβος είναι  $1,0 \times 1,0 \text{ m}^2$ .

Η ευνοϊκή δράση του εκτοξευομένου σκυροδέματος δε λαμβάνεται υπ' όψη ωστόσο συμβάλλει ιδιαίτερα στη σταθεροποίηση «μικρών», τοπικού χαρακτήρα αστοχιών «σπηλαιώσεων» αλλά και στη συγκράτηση μικρών βραχοτεμαχίων. Επίσης, στην επιφάνεια του εδάφους θεωρείται ότι δρα ελάχιστο, ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο  $p = 20 \text{ kPa}$ . Σημειώνεται ότι ο χώρος αυτός τελεί υπό εργοταξιακή κατάληψη.

Ως εκ τούτου δεν προβλέπεται η κατασκευή κτηρίου, αλλά ούτε και τοποθέτηση οικοδομικού γερανού ή απόθεση μπαζών. Μεταβάλλοντας το ελάχιστο ύψος πάνω από το οποίο ο κώδικας αναζητά τις κρίσιμες επιφάνειες ολίσθησης (ουσιαστικά, με αυτό τον τρόπο, προσομοιώνονται τα διάφορα στάδια εκσκαφής του ανοικτού ορύγματος του Σταθμού) και περιορίζοντας το πάχος των επιφανειών ολίσθησης σε τιμές υψηλότερες των 3,0 m, προκειμένου έτσι να «αγνοηθούν» πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας «τοπικού» χαρακτήρα, υπολογίσθηκαν οι αντίστοιχοι συντελεστές ασφαλείας.

Σύμφωνα με τις αναλύσεις ευστάθειας που πραγματοποιήθηκαν, ακόμη και στη δυσμενή περίπτωση κατά την οποία η στάθμη εκσκαφής στο ανοικτό όρυγμα του σταθμού θα βρισκόταν στην τελική στάθμη (+31,35) ο συντελεστής ασφαλείας προκύπτει ίσος με ( $F_{Smin} = 1,63$ ) και κρίνεται ως ικανοποιητικός.

## 9.6 Μεθοδολογία Κατασκευής

Η μεθοδολογία και η αλληλουχία των επί μέρους φάσεων κατασκευής του τεχνικού, άρα και του συστήματος αντιστήριξης, καθορίστηκαν έτσι ώστε να συμβάλλουν στη συνεχή ροή των εργασιών του συνόλου του έργου που επηρεάζονται από αυτές, υπό την έννοια ότι κάθε μία ορίζεται και περιγράφεται με βάση τόσο τι προηγείται, όσο και τι ακολουθεί.

Οι εισροές νερού στο χώρο της εκσκαφής δεν ήταν σημαντικές. Αυτό οφείλεται, βασικά, στην αργιλική φύση και την εξαλλοιωμένη δομή του σχιστολίθου. Ωστόσο, για την επιλεκτική κυκλοφορία και εισροή νερού μέσα από διακλάσεις του σχιστολίθου, τοπικά, όπου αυτός διατηρεί υπολειμματική δομή βράχου (κυρίως, δηλαδή, διαμέσου ψαμμιτικών ενδιαστρώσεων με υψηλό βαθμό κερματισμού και σχετικά μικρό βαθμό αποσάθρωσης), όπως και τα τυχόν ρέοντα από τις αποστραγγιστικές οπές νερά, εφαρμόστηκαν αντλήσεις κατά περίπτωση.

Τέλος, η διαμόρφωση της επιφάνειας του εδάφους πέριξ του ορύγματος έγινε με τρόπο που να απομακρύνονται από το όρυγμα τα επιφανειακώς ρέοντα νερά.

### 9.6.1 Σταθμός

Η κατασκευή του προσωρινού συστήματος αντιστήριξης ξεκινά με την κατασκευή των φρεατοπασσάλων ( $\varnothing 100/150$ ) περιμετρικά της εκσκαφής, σε όλο το μήκος του έργου. Η σκυροδέτηση των πασσάλων γίνεται αμέσως μετά την διάτρησή τους και την τοποθέτηση των κλωβών του χαλύβδινου οπλισμού.

Στη συνέχεια, γίνεται τμηματική εκσκαφή του εδάφους σε βάθος τέτοιο που να επιτρέπει τη διαμόρφωση (καλούπωμα, σκυροδέτηση) του κεφαλόδεσμου στην κεφαλή των πασσάλων. Η εκσκαφή λαμβάνει χώρα σε κατά μήκος τμήματα ανάλογα του «βήματος» σκυροδέτησης.

Ακολουθεί η τοποθέτηση των αντηρίδων, κάτω από τον κεφαλόδεσμο στις προβλεπόμενες στάθμες. Οι αντηρίδες είναι σωληνωτές, με διατομή η οποία κυμαίνεται από  $\Phi 914.4/15.9$  έως  $\Phi 1.168.4/14.3$ , ανάλογα με τα φορτία που θα καλούνται να αναλάβουν. Η τοποθέτησή τους γίνεται σε αξονική, κατά μήκος, (τυπική) απόσταση 4,50 m.

Η προσωρινή αντιστήριξη ολοκληρώνεται με την τοποθέτηση των προεντεταμένων αγκυρώσεων, μήκους από 19,0 m έως 23,0 m, σε κάναβο 1,50 x 3,00 m<sup>2</sup>.

Πραγματοποιήθηκε τοποθέτηση δύο (2) αγκυρίων, (4  $\Phi$  0,6'', 1700/1900), η πρώτη εκ των οποίων στη στάθμη -19,50 (+37,50) Αυτού του τύπου η αντιστήριξη εφαρμόστηκε στο τμήμα του σταθμού που γειτνιάζει με τον I.N. Ευαγγελιστριάς και απαιτούνται αντηρίδες.

Στο υπόλοιπο (όπως για παράδειγμα στην νότια παρειά της εκσκαφής όπου το πλάτος του σταθμού είναι της τάξης των 50 m καθιστώντας αδύνατη τη χρήση αντηρίδων), γίνεται αντιστήριξη με επτά (7) σειρές προεντεταμένων αγκυρώσεων (4  $\Phi$  0,6'', 1700/1900), μήκους από 19,0 m έως 27,0 m με την πρώτη από αυτές να τοποθετείται στη στάθμη -1,50 και τις υπόλοιπες σε καθ' ύψος απόσταση 3,50 m.

Η διάτρηση των αγκυρίων γίνεται εναλλάξ, κατά την οριζόντια έννοια, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η διατάραξη του εδάφους. Ακολουθεί «άμεσα» η τοποθέτηση των τενόντων και η πλήρωση της οπής με το τσιμεντένεμα. Η τάνυση των αγκυρίων γίνεται αφού έχει εξασφαλισθεί η απαιτούμενη πάκτωση (πήξη του

τσιμεντενέματος). Η εκσκαφή, καθ' ύψος, εξελίσσεται αφού έχουν τανυσθεί πλήρως τα υπερκείμενα αγκύρια. Τα αγκύρια τοποθετούνται σε ορθογωνικό κάναβο  $1,50 \times 3,50 \text{ m}^2$  ( $\mu \times \nu$ ).

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε κατά τη διάρκεια της εκσκαφής του τμήματος που γειτνιάζει με τον Ι.Ν. Ευαγγελιστριάς. Στην περίπτωση αυτή και ανάλογα, πάντα, με τις λαμβανόμενες μετρήσεις από τα όργανα που τοποθετήθηκαν για τη δομητική παρακολούθηση του έργου, ήταν πιθανό να χρειασθεί να υιοθετηθούν μικρότερα βήματα εκσκαφής ή/και λήψη πρόσθετων μέτρων, τοπικά.

**Με το προτεινόμενο σύστημα αντιστήριξης ικανοποιούνται τα κριτήρια περιορισμού των μετακινήσεων, σ' όλη την περιοχή πέριξ του σταθμού, και για τον Ι.Ν. Ευαγγελιστριάς, ιδιαίτερα.**

Από τη Χ.Θ. 1+723 (ανατολική παρειά) έως τη Χ.Θ. 1+681, περίπου, η διάνοιξη του σταθμού έγινε με υπόγεια μέθοδο.

#### **9.6.2 Μέτωπα εισόδου και υπογείου**

Οι πάσσαλοι του μετώπου που υπέρκεινται της διατομής του υπογείου έχουν μεταβλητό μήκος. Η αιχμή τους ορίζεται σε στάθμη, η οποία βρίσκεται 0,50 m πάνω από τη γραμμή εκσκαφής της σήραγγας («κοντοί πάσσαλοι»). Η διάτρηση των αγκυρίων γίνεται εναλλάξ, κατά την οριζόντια έννοια, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η διατάραξη του εδάφους. Ακολουθεί «άμεσα» η τοποθέτηση των τενόντων και η πλήρωση της οπής με το τσιμεντένεμα. Η τάνυση των αγκυρίων γίνεται αφού εξασφαλισθεί η απαιτούμενη πάκτωση (πήξη του τσιμεντενέματος). Η εκσκαφή, καθ' ύψος, πραγματοποιείται αφού έχουν τανυσθεί πλήρως τα υπερκείμενα αγκύρια.

Με την εξέλιξη της εκσκαφής στο ανοικτό όρυγμα του Σταθμού προς τα κάτω αποκαλύφθηκε σταδιακά το μεταξύ των φρεατοπασσάλων εγγεγραμμένο μέτωπο της υπόγειας εκσκαφής του Σταθμού. Εδώ εφαρμόστηκαν άμεσα τα μέτρα σταθεροποίησης που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 4.2, δηλαδή (αναφέρονται με τη σειρά τοποθέτησης): εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, ποιότητας C20/25, οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188, πάχους  $t = 0,10 \text{ m}$ , παθητικά αγκύρια fiberglass, ολόσωμης

πάκτωσης, μήκους  $l = 14,0$  m, φέρουσας ικανότητας  $p = 300$  kN (με αντίστοιχη χαλύβδινη πλάκα κεφαλής).

Ο κάρναβος τοποθέτησης των αγκυρίων ορίστηκε σε  $1,0 \times 1,0$  m<sup>2</sup>, ενώ τα αγκύρια προβλέπονταν για τη στάθμη + 38,77 και άνω. Σύμφωνα με τη μελέτη διάνοιξης του «υπογείου» τμήματος του Σταθμού στη στάθμη +38,77 ορίζεται το δάπεδο της πρώτης φάσης εκσκαφής. Στο μεταξύ εξελισσόταν η εκσκαφή στο υπόλοιπο ανοικτό τμήμα αφήνοντας μία ράμπα στο μέτωπο του «υπογείου», η οποία εκτός των άλλων εξυπηρετούσε και στη διέλευση οχημάτων κι εξοπλισμού από και προς το υπογείως διανοιγόμενο τμήμα του Σταθμού.

Ωστόσο, όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 5.2 με την εφαρμογή των μέτρων σταθεροποίησης σε όλη την επιφάνεια του μετώπου υπήρχε η δυνατότητα, αν κρινόταν απαραίτητο για λόγους που έχουν να κάνουν με το χρονοδιάγραμμα εργασιών, η διάνοιξη του «υπογείου» τμήματος του Σταθμού να γίνει αφού η εκσκαφή στο ανοικτό όρυγμα θα είχε φθάσει στην τελική της στάθμη (+31,35).

### **9.6.3 Γεωτεχνική και Δομητική Παρακολούθηση**

#### **9.6.3.1 Περιγραφή Οργάνων Συστήματος ΓΔΠ**

Σύμφωνα με τα αναφερόμενα στη Μελέτη Εφαρμογής Προγράμματος Γεωτεχνικής και Δομητικής Παρακολούθησης (ΓΔΠ) του συγκεκριμένου έργου, για την παρακολούθηση των καθιζήσεων και των γωνιακών παραμορφώσεων στην περιοχή του Τεχνικού, ακολουθήθηκαν τα παρακάτω:

- i. Εγκατάσταση συστήματος ανακλαστήρων στον κεφαλόδεσμο της πασσαλοστοιχίας και στα τοιχώματα του ορύγματος (στις θέσεις όπου αναμένονται, με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων, οι μεγαλύτερες μετακινήσεις) για την εκτέλεση τρισδιάστατων (3-D) τοπογραφικών μετρήσεων.
- ii. Εγκατάσταση συστήματος ανακλαστήρων στον Ναό Ευαγγελιστρίας για την εκτέλεση τρισδιάστατων τοπογραφικών μετρήσεων.

- iii. Εγκατάσταση συστήματος χωροσταθμικών ακίδων επί του κεφαλοδέσμου και στην περιοχή πέριξ του πλησιέστερου προς το έργο τμήματος του Ναού Ευαγγελιστρίας για την μέτρηση των επιφανειακών καθιζήσεων.
- iv. Εγκατάσταση πιεζομέτρων ανοικτού τύπου (Casagrande) και δονουμένης χορδής (vibrating wire)
- v. Εγκατάσταση κλισιομέτρων σε πασσάλους και στη γεώτρηση CASN4.
- vi. Εγκατάσταση κυψελών μέτρησης φορτίου αντηρίδων και αγκυρίων.
- vii. Εγκατάσταση οριζοντίων και κατακορύφων εκτασιομέτρων (extensometers)

Από τα αναφερόμενα στην έκθεση ΓΔΠ προκύπτει ότι δεν υφίσταται «ευαίσθητο» κτήριο εντός της Ζώνης Επιρροής του Τεχνικού πλην του Ι.Ν. Ευαγγελιστρίας για τον οποίο ισχύουν αυστηρότερες τιμές περιορισμού των μετακινήσεων.

### 9.6.3.2 Συχνότητα μετρήσεων Συστήματος ΓΔΠ

Το πρόγραμμα των μετρήσεων συνοψίζεται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 9.5)

**Πίνακας 9.5: Συχνότητα και διάρκεια μετρήσεων προγράμματος ΓΔΠ. (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μέτρο, 2007)**

ΟΡΓΑΝΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	
	ΟΡΥΓΜΑ	ΟΜΟΡΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ
3-D ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	Καθημερινά κατά τη διάρκεια της εκσκαφής	Καθημερινά κατά τη διάρκεια της εκσκαφής
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΧΩΡΟΣΤΑΤΙΚΩΝ ΑΚΙΔΩΝ	Καθημερινά κατά τη διάρκεια της εκσκαφής	Καθημερινά κατά τη διάρκεια της εκσκαφής
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ	Δύο φορές την εβδομάδα	Δύο φορές την εβδομάδα
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΛΙΣΙΟΜΕΤΡΩΝ	-	Ανά τρεις ημέρες καθ' όλη τη διάρκεια της κατασκευής
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΥΨΕΛΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΤΗΡΙΔΩΝ	Καθημερινά κατά τη διάρκεια της εκσκαφής	-
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΙΣΡΟΩΝ ΝΕΡΟΥ	Καθημερινά κατά τη διάρκεια της εκσκαφής	-

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ  
ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)



### 9.6.3.3 Σχέδιο αντιμετώπισης εκτάκτων καταστάσεων

Λεπτομέρειες για το σχέδιο αντιμετώπισης εκτάκτων καταστάσεων, με βάση τις πληροφορίες από τις μετρήσεις του Προγράμματος ΓΔΠ, δίνονται στην έκθεση με κωδικό αριθμό 2SW2CW180C901A. Το σχέδιο αυτό αναφέρει ότι σε περίπτωση που οι μετρηθείσες παραμορφώσεις, ως ποσοστό των αναμενομένων με βάση την μελέτη, είναι:

- i. Μέχρι 70%, ουδεμία ενέργεια γίνεται.
- ii. Μεταξύ 70% και 100%, σημαίνει κατάσταση επιφυλακής και γίνονται οι ακόλουθες ενέργειες:
  - ✓ Ειδοποιούνται η ΑΜ και ο Μελετητής
  - ✓ Γίνεται αυτοψία επί τόπου του έργου
  - ✓ Εκτιμώνται πιθανά μέτρα εφαρμογής σε περίπτωση που κριθεί απαραίτητο
  - ✓ Αυξάνεται η συχνότητα των μετρήσεων, σε συνεννόηση με την ΑΜ
  - ✓ Συνεχίζονται οι εργασίες κατασκευής
- iii. Μεταξύ 100% και 120%, σημαίνει συναγερμός και γίνονται οι ακόλουθες ενέργειες:
  - ✓ Πραγματοποιείται σύσκεψη όλων των εμπλεκόμενων μερών
  - ✓ Γίνεται αυτοψία επί τόπου του έργου με έμφαση στον εντοπισμό ρωγματώσεων στα επί μέρους δομικά στοιχεία της προσωρινής αντιστήριξης
  - ✓ Λαμβάνεται απόφαση για λήψη μέτρων (προσθέτων ή εκτάκτου ανάγκης) και για συνέχιση ή διακοπή των εργασιών κατασκευής
- iv. Μεγαλύτερο του 120%
  - ✓ Διακόπτονται οι εργασίες κατασκευής
  - ✓ Εφαρμόζονται αμέσως τα μέτρα εκτάκτου ανάγκης.

Ως πρόσθετο μέτρο θεωρείται η προσθήκη περισσότερων αντηρίδων και η επί πλέον τάνυση των προεντεταμένων αγκυρίων (όπου υπάρχουν), ενώ ως μέτρο

εκτάκτου ανάγκης θεωρείται, επί πλέον του προηγουμένου, η άμεση επίχωση του ορύγματος με τα υλικά των εκσκαφών.

Στον **Πίνακα 9.6** φαίνονται οι τιμές των παραμορφώσεων που αφορούν στα όρια επιφυλακής και συναγερού σύμφωνα με τα παραπάνω αναφερόμενα.

**Πίνακας 9.6: Μέγιστες αναμενόμενες παραμορφώσεις σύμφωνα με τη μελέτη. (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007)**

ΕΙΔΟΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ	ΕΙΔΟΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ	ΘΕΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΟΡΙΟ ΕΠΙΦΥΛΑ- ΚΗΣ (mm)	ΟΡΙΟ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ (mm)
ΑΓΚΥΡΙΑ	ΟΛΙΚΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗ	ΟΠΙΣΘΕΝ ΚΕΦΑΛΟΔΕΣΜΟΥ	14 ÷ 19.5	19.5 ÷ 23
	ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΠΑΣΣΑΛΟΣΤΟΙΧΙΑ	25 ÷ 35	35 ÷ 42
ΑΓΚΥΡΙΑ & ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ	ΟΛΙΚΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗ	ΟΠΙΣΘΕΝ ΚΕΦΑΛΟΔΕΣΜΟΥ	6 ÷ 9	9 ÷ 11
	ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΠΑΣΣΑΛΟΣΤΟΙΧΙΑ	13 ÷ 18	18 ÷ 22

Στους **Πίνακες 9.7** και **9.8** φαίνονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των υπολογισμών που αφορούν στις μέγιστες τιμές των εντατικών μεγεθών (είτε από στατικές είτε από συνθήκες σεισμού) που αναπτύσσονται στα επιμέρους δομικά στοιχεία της αντιστήριξης καθώς και των παραμορφώσεων, σύμφωνα με την ανάλυση.

**Πίνακας 9.7:** Αποτελέσματα ελαστοπλαστικών αναλύσεων – Αντιστήριξη με αντηρίδες και αγκύρια. (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007)

ΜΕΓΕΘΟΣ	ΤΙΜΗ	ΦΑΣΗ / ΦΟΡΤΙΣΗ
<b>M (kN/m)</b>	575	Αφαίρεση 4 <sup>ης</sup> αντηρίδας
<b>Q (Kn/m)</b>	518	Αφαίρεση 2 <sup>ης</sup> αντηρίδας
<b>T<sub>1</sub> (Kn/m)</b>	223	Αφαίρεση 2 <sup>ης</sup> αντηρίδας
<b>T<sub>2</sub> (Kn/m)</b>	681	Αφαίρεση 3 <sup>ης</sup> αντηρίδας
<b>T<sub>3</sub> (Kn/m)</b>	904	Αφαίρεση 4 <sup>ης</sup> αντηρίδας
<b>T<sub>4</sub> (Kn/m)</b>	768	Σεισμός
<b>F<sub>αγκ</sub> (kN/m)</b>	590 ÷ 600	Ολοκλήρωση εκσκαφής ("top down")
<b>δ<sub>h,αντ</sub> (mm)</b>	18	Αφαίρεση 4 <sup>ης</sup> αντηρίδας
<b>δ<sub>v,εδ</sub> (mm)</b>	9	Αφαίρεση όλων των αντηρίδων

**Πίνακας 9.8:** Αποτελέσματα ελαστοπλαστικών αναλύσεων – Αντιστήριξη με προεντεταμένα αγκύρια. (Μελέτη Προσωρινής Υποστήριξης Ανοικτής Εκσκαφής, Αττικό Μετρό, 2007)

ΜΕΓΕΘΟΣ	ΤΙΜΗ	ΦΑΣΗ / ΦΟΡΤΙΣΗ
<b>M (kN/m)</b>	557,5	Σεισμός
<b>Q (Kn/m)</b>	329	Σεισμός
<b>δ<sub>h,αντ</sub> (mm)</b>	35	Αφαίρεση 4 <sup>ης</sup> αντηρίδας
<b>δ<sub>v,εδ</sub> (mm)</b>	19,5	Αφαίρεση όλων των αντηρίδων
<b>F<sub>αγκ</sub> (kN/m)</b>	423	Σεισμός

όπου

$M$  : μέγιστη καμπτική ροπή

$Q$  : μέγιστη καμπτική τέμνουσα

$F_{αγκ}$  : μέγιστη αξονική δύναμη αγκυρίων

$T_i$  : μέγιστη αξονική δύναμη αντηρίδας

$\delta_{h,αντ}$  : μέγιστη οριζόντια μετατόπιση αντιστήριξης

$\delta_{v,εδ}$  : μέγιστη καθίζηση εδάφους εντός της ζώνης επιρροής

## 10 ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ – ΤΜΗΜΑ

### ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης,

Αττικό Μετρό, 2008)

#### 10.1 Εισαγωγή

Ο σταθμός «Περιστέρι» αποτελεί τον πρώτο σταθμό της βορειοδυτικής επέκτασης της Γραμμής 2 μετά το σημερινό τερματικό σταθμό «Αγ. Αντώνιος» και εκτείνεται από την Χ.Θ. 1+680,295 έως την Χ.Θ. 1+792,89.

Το τμήμα του σταθμού που κατασκευάστηκε με υπόγεια διάνοιξη χωροθετείται εκτός των ορίων της Πλ. Δημοκρατίας, όπως αυτά διαμορφώθηκαν μετά την υλοποίηση της τροποποίησης της χάραξης της λεωφόρου Π. Τσαλδάρη στη θέση αυτή.

Το εν λόγω τμήμα του Σταθμού εκτείνεται από τη Χ.Θ. 1+680,195 έως 1+724,278 σε μήκος 44 m περίπου και σε χάραξη που ακολουθεί καμπύλη ακτίνας  $R=1100$  m και έχει μέτωπο προσβολής στο νοτιοανατολικό άκρο του ανοικτού ορύγματος, που διαμορφώθηκε εντός των ορίων της Πλατείας για την κατασκευή του υπόλοιπου τμήματος του Σταθμού μήκους 68 m (Χ.Θ. 1.724,278 έως 1.792,89).

Ο κεντρικός υπόγειος θάλαμος διανοίγεται κάτω από τη Λεωφόρο Π. Τσαλδάρη. Η διατομή του Σταθμού στο τμήμα αυτό έχει καθαρό εσωτερικό άνοιγμα 15,20 m και ύψος 11,50 m, διαστάσεις που οδηγούν σε μέσο άνοιγμα εκσκαφής 19 m περίπου και μέσο ύψος εκσκαφής 14,5 m περίπου αντίστοιχα. Το μέσο ύψος υπερκειμένων άνωθεν του θόλου του υπογείου εκσκαπτόμενου τμήματος είναι 9,00 m περίπου. Άνωθεν της υπογείου διανοιγόμενης σήραγγας υπάρχουν υφιστάμενα δίκτυα κοινής ωφέλειας μέχρι μέγιστου βάθους 4 περίπου μέτρων από την επιφάνεια.

Από τα ευρισκόμενα εκατέρωθεν της λεωφόρου κτίρια, το πλησιέστερο και σημαντικότερο από πλευράς μεγέθους ευρίσκεται στη νότια πλευρά σε απόσταση πρόσοψης 11 m περίπου από τον άξονα της σήραγγας και έχει 4 ορόφους και 1 υπόγειο. Τα υπόλοιπα παρακείμενα κτίρια απέχουν τουλάχιστον 25 m από τον άξονα της σήραγγας εισόδου.

Οι πλευρικές υπόγειες στοές πρόσβασης στις αποβάθρες που κατασκευάστηκαν εκατέρωθεν της κεντρικού ανοίγματος του σταθμού και εκτείνονται σε μέρος των πλευρών αυτού (11 και 24 m για την νότια και βόρεια πλευρά αντίστοιχα), διανοίχθηκαν μετά τη σκυροδέτηση της μόνιμης επένδυσης στην κεντρική στοά. Στα **Σχήματα 10.1, 10.2 και 10.3** που ακολουθούν φαίνεται η γενική διάταξη σε οριζοντιογραφία και κατά μήκος τομή, καθώς και η διατομή της υπόγειας διάνοιξης αντίστοιχα με σημειωμένα τα υφιστάμενα δίκτυα και το πλησιέστερο κτίριο που προαναφέρθηκαν.

Η διάνοιξη του θαλάμου έγινε με τμηματική εκσκαφή υπό την προστασία «ομπρέλας» δοκών προπορείας. Το σύστημα υποστήριξης αποτελείτο από κέλυφος εκτοξευόμενου σκυροδέματος σημαντικής ακαμψίας οπλισμένου με τη χρήση δικτυωτών χαλύβδινων πλαισίων και δομικού πλέγματος. Για την τμηματική εκσκαφή του θόλου κατασκευάστηκε ενδιάμεσο τοίχωμα από οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα που υποβοηθήθηκε με την εγκατάσταση ηλώσεων υαλοϊνών πλήρους πάκτωσης, ενώ η εξασφάλιση των βάσεων έδρασης των πλαισίων υποβοηθήθηκε από την εγκατάσταση χαλύβδινων ηλώσεων πλήρους πάκτωσης. Η ευστάθεια των μετώπων εκσκαφής ελεγχόταν από πυκνό κάναβο ηλώσεων υαλοϊνών πλήρους πάκτωσης.

Η αναλυτική περιγραφή του συστήματος και της ακολουθίας κατασκευής γίνεται στη συνέχεια. Ο έλεγχος και περιορισμός των παραμορφώσεων και η επάρκεια των στοιχείων είναι απαραίτητος καθώς εγγυάται την ασφάλεια του συστήματος και κατά συνέπεια της φερόμενης εδαφικής μάζας και των υπερκείμενων κατασκευών.

## **10.2 Σύστημα Υποστήριξης και Ακολουθία Κατασκευής**

Η επιλογή της μεθόδου διάνοιξης και των μέτρων υποστήριξης του Σταθμού, βασίστηκε στις ακόλουθες κύριες παραμέτρους ταυτότητας του έργου:

1. Το μέγεθος του ανοίγματος της σήραγγας ήταν αρκετά μεγάλο – μέσο άνοιγμα εκσκαφής ~19 m.

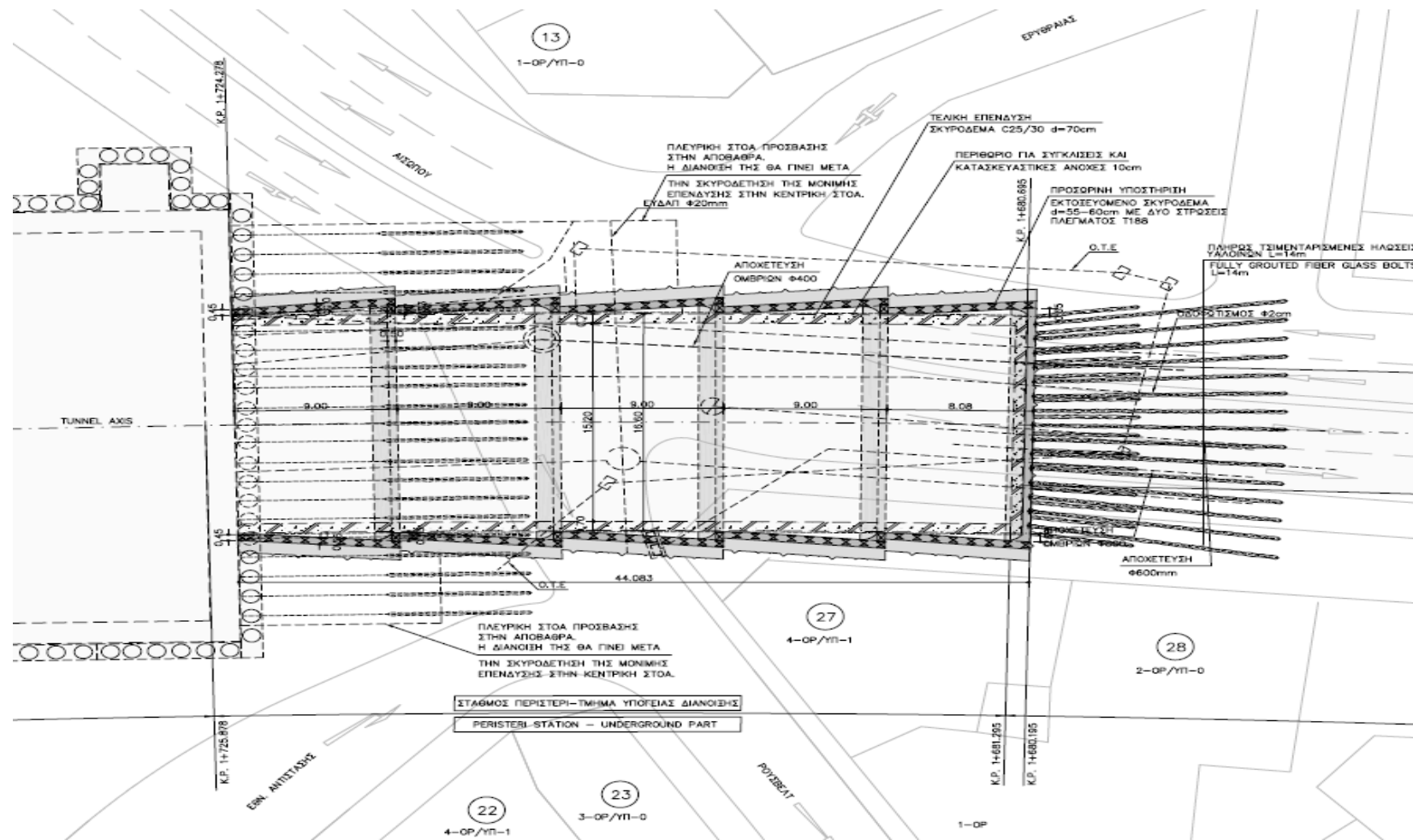
2. Το ύψος υπερκειμένων γαιών ήταν μικρό - μέσο ύψος υπερκειμένων 9,00 m. Λαμβανομένου υπόψη και του ανοίγματος της σήραγγας που ήταν σχεδόν διπλάσιο σε μέγεθος, η παράμετρος αυτή ήταν κυρίαρχης σημασίας.
3. Η ποιότητα βραχομάζας του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου, εντός του οποίου πραγματοποιήθηκε η διάνοιξη ήταν κυρίως πτωχή (κατακερματισμένος και έντονα αποσαθρωμένος) ενώ κατά θέσεις είχε εξαλλοιωμένη δομή (εδαφοποιημένος σχηματισμός).
4. Οι παραμορφώσεις στην επιφάνεια του εδάφους. Κατά την εκσκαφή ήταν απαραίτητο να διατηρηθούν σε πολύ χαμηλά επίπεδα σύμφωνα με τους περιορισμούς της σύμβασης, προκειμένου να εξασφαλισθεί η ασφάλεια των υφιστάμενων κατασκευών.

Με βάση τις ανωτέρω παραμέτρους, δύο ήταν βασικές κατευθύνσεις για τον σχεδιασμό:

α) Η υιοθέτηση συστήματος με σημαντική ακαμψία, τέτοια που να είναι ικανή να φέρει το σύνολο των φορτίων των υπερκειμένων γαιών και να περιορίσει τις παραμορφώσεις. Παράλληλα, ήταν σημαντική η δυνατότητα εκμετάλλευσης της πλήρους ακαμψίας του συστήματος κατά τη φάση που το πλήρες άνοιγμα της σήραγγας θα ήταν ενεργό.

β) Η εξασφάλιση του μετώπου διάνοιξης και η προϋποστήριξη του θόλου, προκειμένου να προληφθούν και ελεγχθούν αστάθειες και καταπτώσεις κατά την εκσκαφή που θα οδηγούσαν σε αστοχίες με σοβαρές επιπτώσεις.

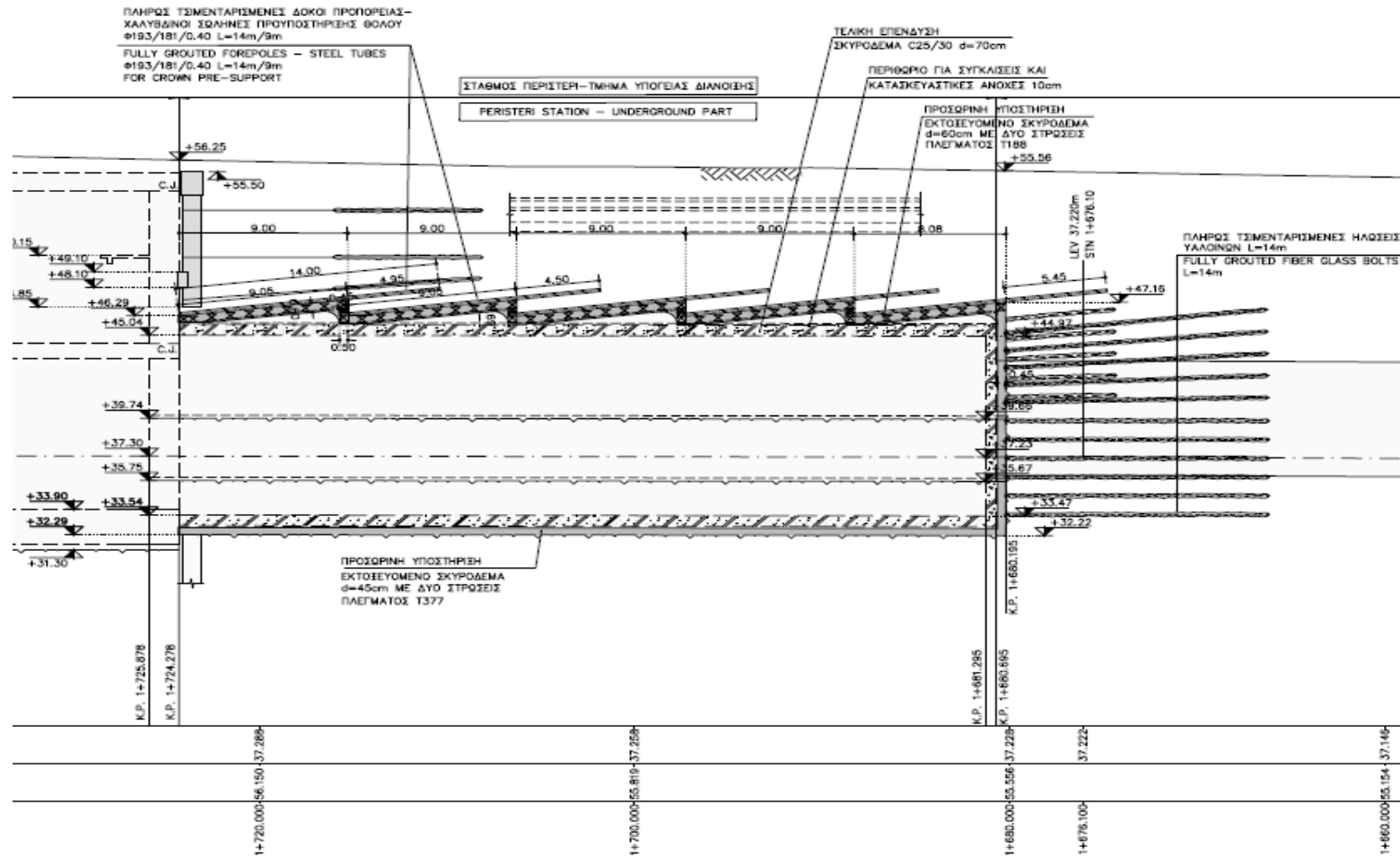
Με βάση τους παραπάνω κύριους άξονες, επελέγη η διάνοιξη του θαλάμου να γίνει με τμηματική εκσκαφή υπό την προστασία «ομπρέλας» δοκών προπορείας. Το σύστημα υποστήριξης αποτελείτο από κέλυφος εκτοξευόμενου σκυροδέματος σημαντικής ακαμψίας, οπλισμένου με τη χρήση δικτυωτών χαλύβδινων πλαισίων και δομικών πλεγμάτων. Η εκσκαφή του θόλου έγινε τμηματικά (σε δύο φάσεις) σε μήκος που ήταν συνάρτηση του μήκους των εγκαθιστούμενων δοκών προπορείας, ενώ μετά την ολοκλήρωση της εκσκαφής σε όλο το μήκος του θαλάμου, ακολούθησε η διάνοιξη της υπόλοιπης διατομής σε δύο φάσεις (βαθμίδα και δάπεδο ανεστραμμένου θόλου).



Σχήμα 10.1: Οριζοντιογραφία του έργου. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008)

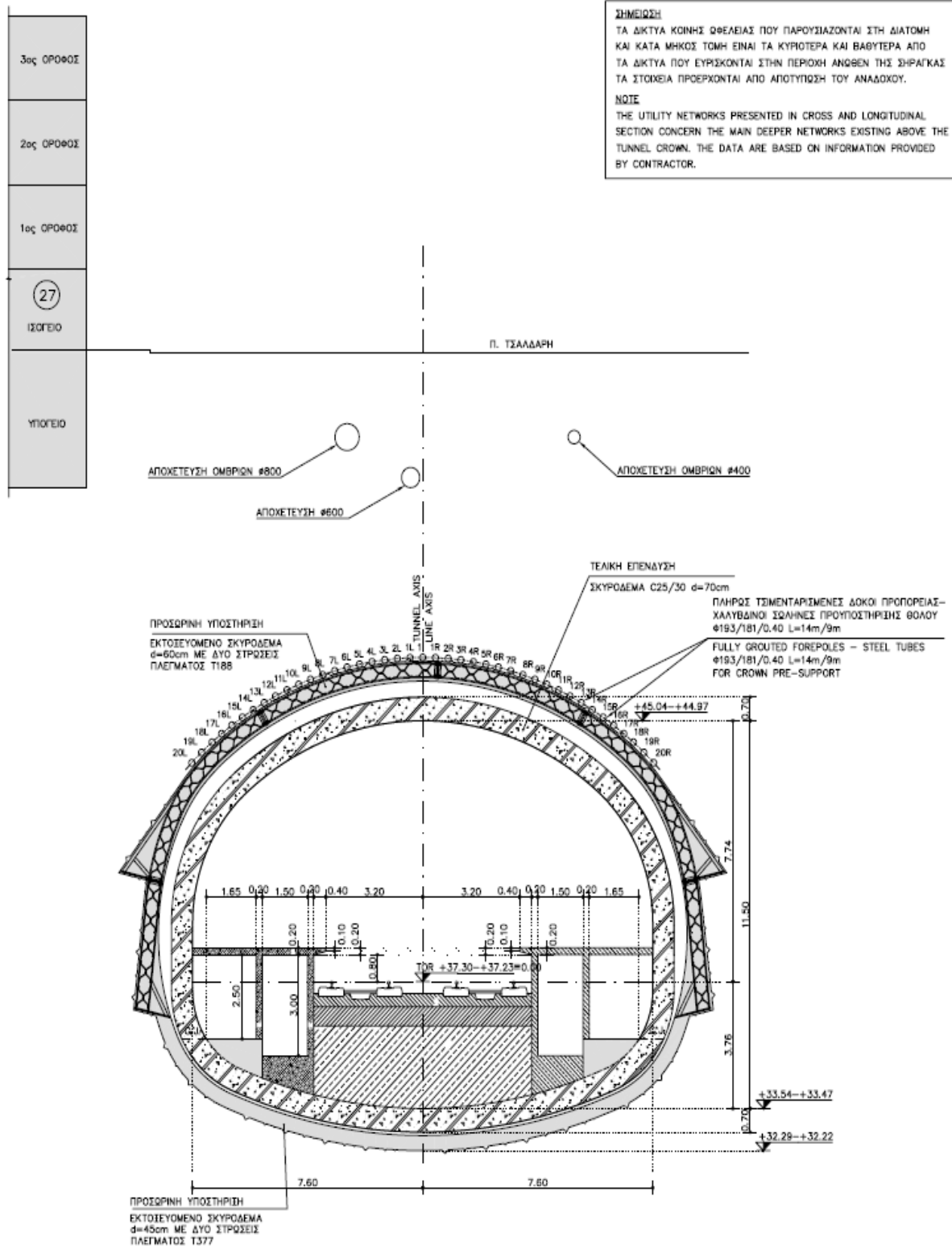
ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)





Σχήμα 10.2: Κατάμησης τομή του έργου. (Μελέτητος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008)

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)



**Σχήμα 10.3:** Διατομή τμήματος σταθμού υπόγειας διάνοιξης (μέση διατομή προσωρινής υποστήριξης) (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008)

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ  
ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)

Η εξασφάλιση των βάσεων έδρασης (θόλου και βαθμίδας) υποβοηθήθηκε από την εγκατάσταση χαλύβδινων ηλώσεων πλήρους πάκτωσης. Η ευστάθεια των μετώπων εκσκαφής της κάθε φάσης ελέγχθηκε επί πλέον από πυκνό κάρναβο ηλώσεων υαλοϊνών πλήρους πάκτωσης.

Οι τρεις κύριες φάσεις εκσκαφής (κατά την κατακόρυφη έννοια της διατομής) χαρακτηρίζονταν από τα ακόλουθα μεγέθη:

- α) Διάνοιξη θόλου με μέση διανοιγόμενη επιφάνεια  $\sim 105 \text{ m}^2$  και μέσο ύψος 7,00 m.
- β) Εκσκαφή βαθμίδας με μέση επιφάνεια εκσκαφής  $\sim 75 \text{ m}^2$ , και ύψος 4 m περίπου.
- γ) Εκσκαφή δαπέδου με επιφάνεια εκσκαφής  $\sim 45 \text{ m}^2$  και ύψος 3,5 m περίπου

Η μεγαλύτερη επιφάνεια διάνοιξης και προφανώς το στάδιο της διάνοιξης που προκαλεί το μεγαλύτερο μέρος των καθιζήσεων στην επιφάνεια είναι αυτό του θόλου της διατομής. Έτσι, κρίθηκε επιβεβλημένη η κατάτμηση της εκσκαφής σε υπο-τμήματα. Ο διαχωρισμός του μετώπου εκσκαφής σε επιμέρους τμήματα είναι ο αποτελεσματικότερος τρόπος πρόληψης των αστοχιών και ελέγχου των καθιζήσεων.

Επί πλέον, ο περιορισμός της επιφάνειας της διατομής, πέρα από την εξυπηρέτηση της κατασκευής αυτής καθεαυτής με τον περιορισμό του όγκου (και του χρόνου) εκσκαφής και αποκομιδής των υλικών κάθε κύκλου εργασιών, παρέχει την δυνατότητα κατασκευής του προβλεπόμενου άκαμπτου συστήματος του κελύφους εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε εύλογο χρόνο, χωρίς να απαιτούνται υπερβολικοί χρόνοι αναμονής για την ανάπτυξη αντοχής των διαδοχικά εφαρμοζόμενων στρώσεων (λόγω του μειωμένου ανοίγματος του υποστηριζόμενου θόλου, άρα και του μειωμένου φορτίου που καλείται να φέρει στη δεδομένη φάση). Είναι, δε, εξασφαλισμένη η πλήρης αντοχή και ακαμψία του κελύφους τη στιγμή που θα χρειαστεί να αναλάβει τα πλήρη φορτία, δηλαδή όταν πλέον θα είχε ολοκληρωθεί η διάνοιξη του θόλου μετά τη τμηματική διάνοιξη.

Στα συνημμένα **Σχήματα 10.4** και **10.5** παρουσιάζεται η γεωμετρία της διατομής προσωρινής υποστήριξης (ελάχιστη διατομή και διατομή σε θέση μέγιστης

διεύρυνσης). Αναλυτικότερα, το εφαρμοσθέν σύστημα υποστήριξης και η ακολουθία κατασκευής σύμφωνα με την οποία έγινε η διάνοιξη περιγράφεται ακολούθως.

#### Εκσκαφή και Υποστήριξη Θόλου

Η εκσκαφή του θόλου πραγματοποιήθηκε τμηματικά, σε δύο φάσεις με βήμα προχώρησης 1,00 m και κάτω από την προστασία ομπρέλας δοκών προπορείας (forepoling) μήκους 14,00 m που τοποθετούνταν κάθε 9,00 m υπό γωνία 6.7 $^{\circ}$ . Η εκσκαφή των δύο φάσεων του θόλου έγινε διαδοχικά σε μήκος 9,00 m κάθε φορά, μήκος που υπαγορεύθηκε από την ανάγκη εγκατάστασης της νέας σειράς δοκών προπορείας. Στις **Εικόνες 10.1** και **10.2** φαίνονται οι δοκοί προπορείας για το θόλο της σήραγγας του υπόγειου τμήματος του Σταθμού.



**Εικόνα 10.1:** Διαδικασία τοποθέτησης δοκών προπορείας στο θόλο του υπόγειου τμήματος του Σταθμού. (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό)



*Εικόνα 10.2: Τοποθετημένοι δοκοί προπορείας (forepoling) πριν την εκσκαφή του θόλου της σήραγγας υπογείου τμήματος του Σταθμού. (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό)*

Κατά την διάνοιξη της 1<sup>ης</sup> Φάσης κατασκευάζεται προσωρινό ενδιάμεσο τοίχωμα που ενισχύεται με την τοποθέτηση ολόσωμων χαλύβδινων διατομών και σταθεροποιείται με την χρήση ηλώσεων υαλοϊνών (**Εικόνες 10.3 και 10.4**).

Κατά την εκσκαφή της 2<sup>ης</sup> Φάσης (**Εικόνα 10.5**), που ξεκινά αφού η πρώτη φάση έχει ολοκληρωθεί στο μήκος των 9,00 m, γίνεται η διαδοχική καθαίρεση του ενδιάμεσου τοιχώματος σε απόσταση μεγαλύτερη των 3,00 m από το μέτωπο οπότε και έχουν συμπληρωθεί τα μέτρα υποστήριξης στον θόλο, ενώ για την αποκατάσταση της συνέχειας του κελύφους μετά την καθαίρεση του προσωρινού τοιχώματος εφαρμόζεται πρόσθετη στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Με την ολοκλήρωση του συνόλου της διατομής του θόλου τοποθετείται η νέα «ομπρέλα» δοκών προπορείας. Σημειώνεται επίσης ότι πραγματοποιείται επικάλυψη του δαπέδου με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και στις δύο φάσεις εκσκαφής, που κατασκευάζεται τμηματικά σε μήκος 3 m (μαζί με τη βάση έδρασης του ενδιάμεσου τοιχώματος στη Φάση 1).



*Εικόνα 10.3: Διάνοιξη 1<sup>ης</sup> φάσης. (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό)*

Η ευστάθεια του μετώπου της υπόγειας διάνοιξης εξασφαλίζεται με την τοποθέτηση ηλώσεων υαλοινών που έχουν μήκος 14,00 m και τοποθετούνται επίσης κάθε 9,00 m, έτσι ώστε να συνδυάζεται η εφαρμογή τους με το μήκος της ομπρέλας δοκών προπορείας. Στο μέτωπο μέγιστης διεύρυνσης όπου απαιτείτο κάποιος χρόνος για την εγκατάσταση των νέων σειρών δοκών προπορείας και ηλώσεων υποστήριξης μετώπου, κρίθηκε απαραίτητη επιπρόσθετα η σφράγιση του μετώπου με ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ελαχίστου πάχους 15 cm και η σκυροδέτηση της μετωπικής δοκού που διαμορφώθηκε λόγω της διεύρυνσης της διατομής.

Στα συνημμένα **Σχήματα 10.6, 10.7 και 10.8, 10.9** αντίστοιχα παρουσιάζονται σχηματικά σε διατομή και κατά μήκος τομή οι φάσεις 1 και 2 και περιγράφονται η διαδικασία κατασκευής και τα χρησιμοποιημένα μέτρα υποστήριξης.



**Εικόνα 10.4:** Προσωρινό ενδιάμεσο τοίχωμα. Διακρίνονται οι ηλώσεις υαλοϊνών.  
(Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό)



**Εικόνα 10.5:** Διάνοιξη 2<sup>ης</sup> Φάσης. (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό)

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ  
ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)

### Εκσκαφή και Υποστήριξη Βαθμίδας

Η εκσκαφή της βαθμίδας ξεκινάει μετά την ολοκλήρωση της εκσκαφής του θόλου στο σύνολο του μήκους του θαλάμου και γίνεται με βήμα προχώρησης 3,00 m (**Εικόνα 10.6**).

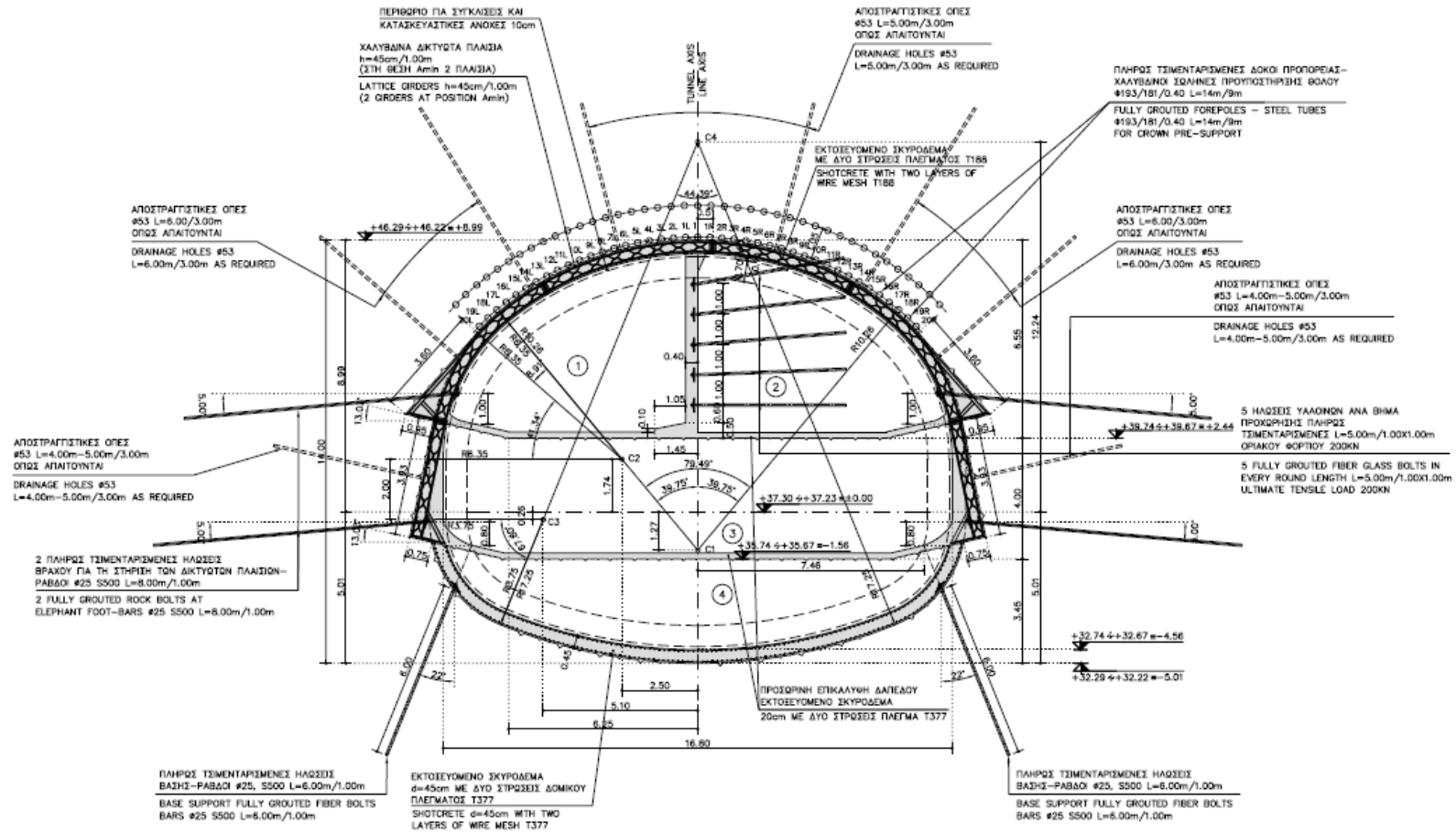
Η συμπλήρωση των μέτρων υποστήριξης γινόταν εντός μήκους 6 m, συμπεριλαμβανόμενης και της επικάλυψης του δαπέδου με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, ενώ στο πέρας της φάσης και πάντως πριν την έναρξη εκσκαφής της επόμενης φάσης, προβλεπόταν η εγκατάσταση και σφήνωση των ηλώσεων στη βάση έδρασης των πλαισίων (2 πλήρως τσιμενταρισμένες ηλώσεις / πλαίσιο μήκους 8 m) καθώς και η εγκατάσταση των ηλώσεων βάσης των οποίων η σφήνωση γινόταν εντός του κελύφους εκτοξευόμενου σκυροδέματος του δαπέδου (πλήρως τσιμενταρισμένες ηλώσεις / 1 m μήκους 6 m).

Τα μέτρα υποστήριξης που προβλέπονταν κατά την εκσκαφή της βαθμίδας παρουσιάζονται στο **Σχήμα 10.10** σε εγκάρσια τομή ενώ η διαδικασία κατασκευής σε κατά μήκος τομή στο **Σχήμα 10.11**.



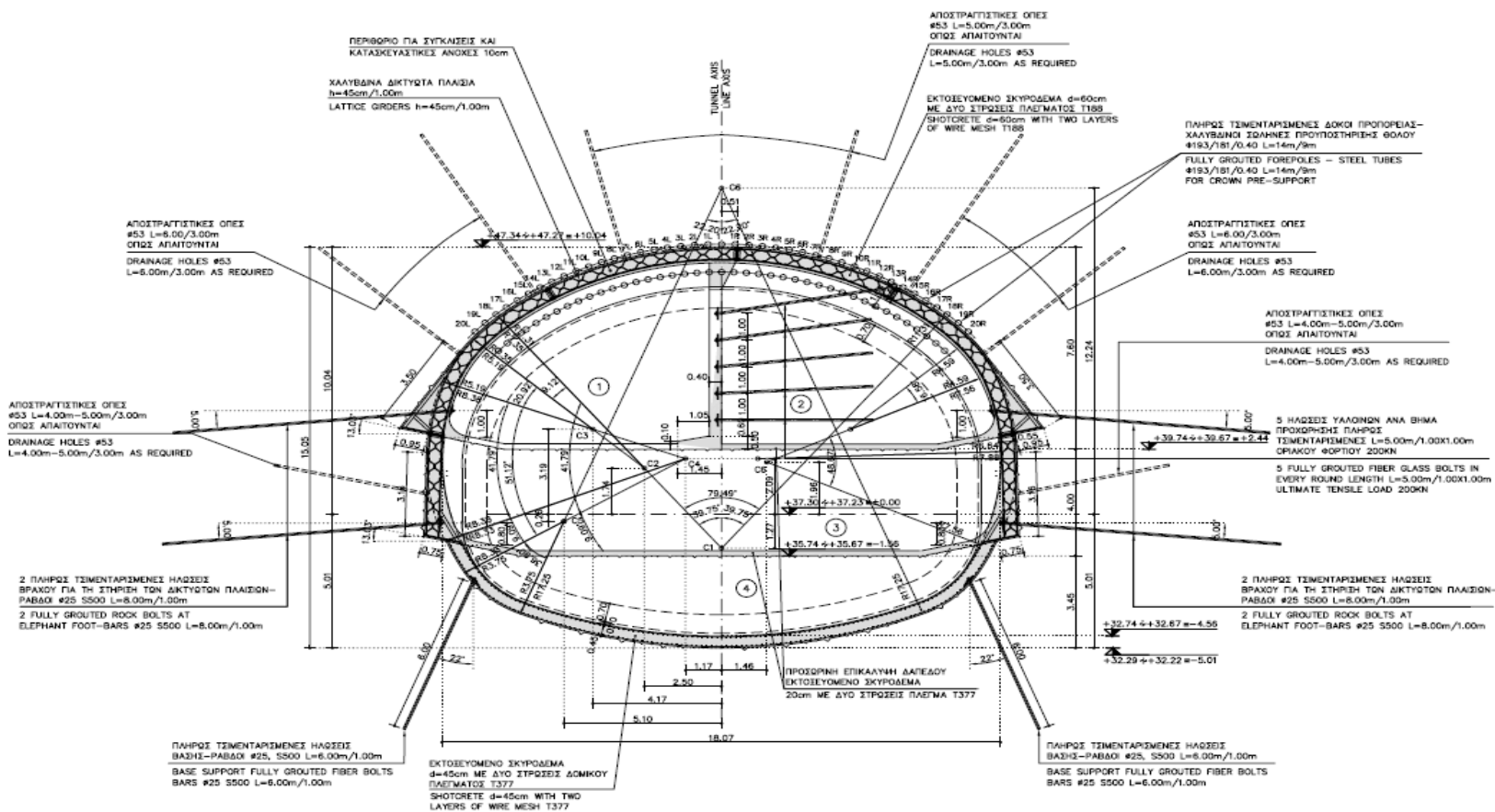
**Εικόνα 10.6:** Εκσκαφή βαθμίδας (3<sup>η</sup> Φάση). (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό)





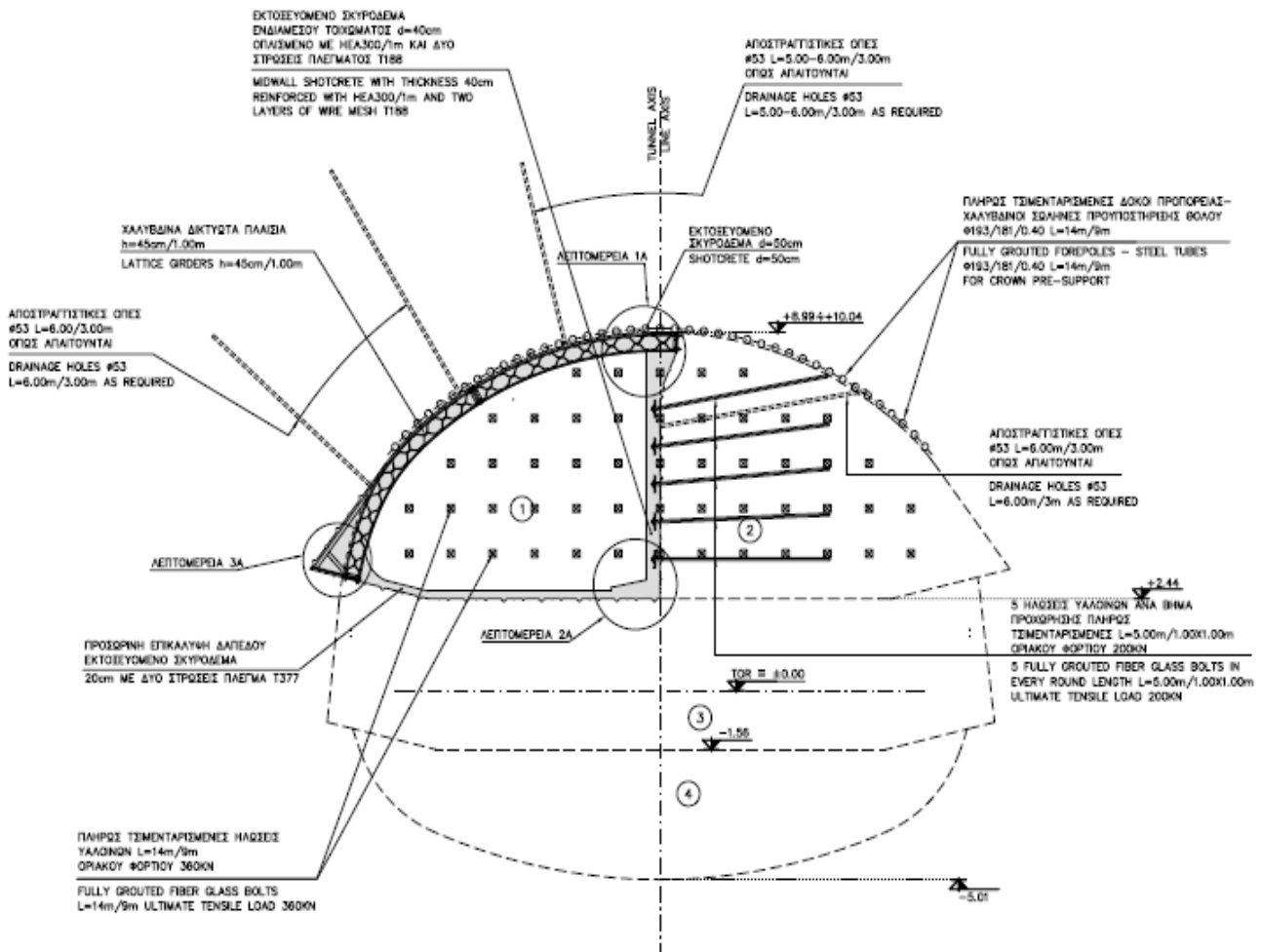
Σχήμα 10.4: Γεωμετρικά στοιχεία ελάχιστης διατομής. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοξης, Αττικό Μετρό, 2008)

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ (ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)



Σχήμα 10.5: Γεωμετρικά στοιχεία μέγιστης διατομής. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοξης, Αττικό Μετρό, 2008)

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)

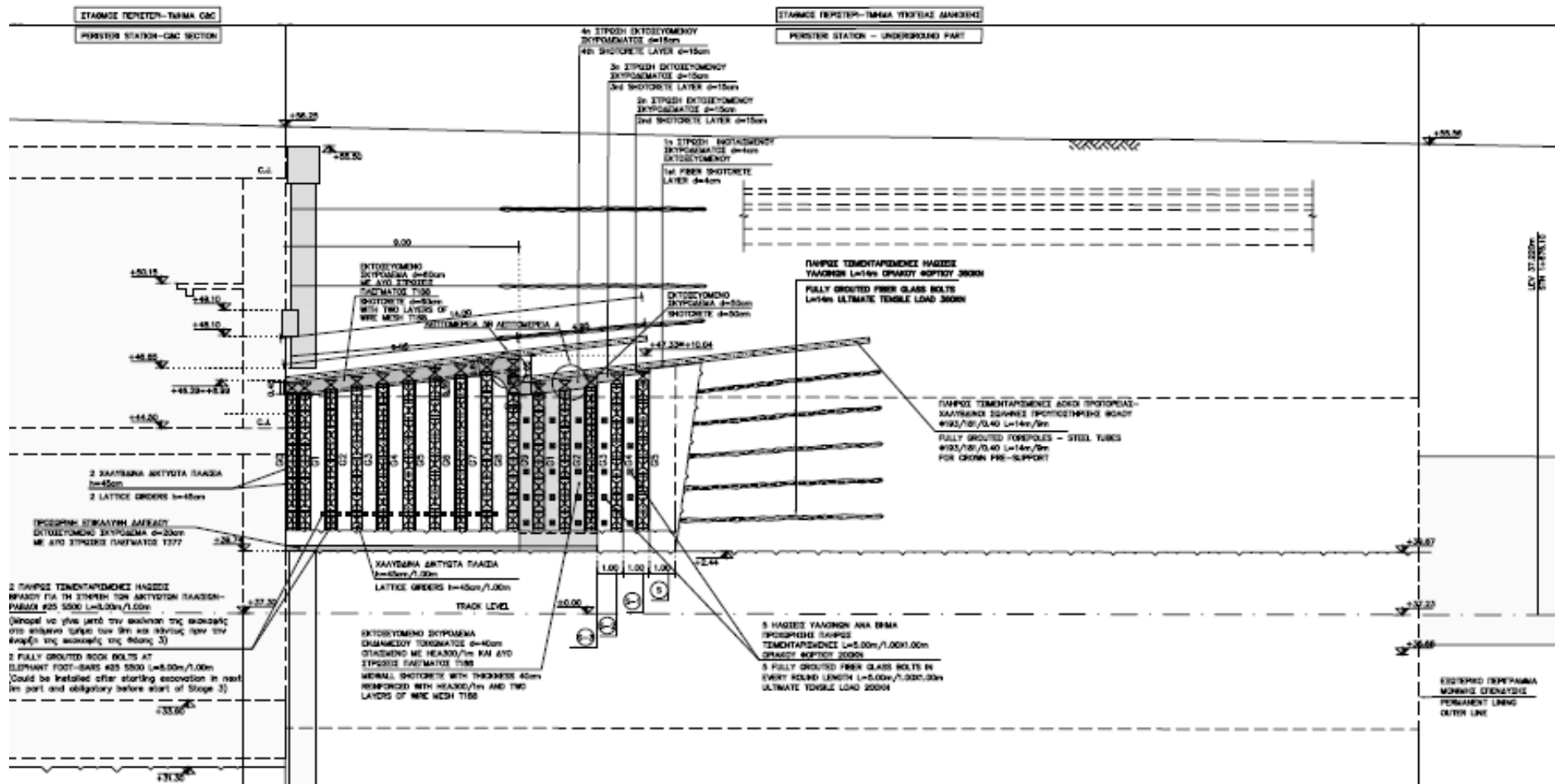


<p><b>ΦΑΣΗ 1</b> Βήμα προκάρπης 1.00m <u>Μέτρα προσωρινής υποστήριξης</u> α) Θόλος • Εκτ. Σκυρόδεμα d=50cm • Χαλύβδινα δικτυώτα πλαίσια h=45cm ανά 1m • Αποστραγγιστικές ούλες #53 L=5.00–6.00m/3.00m όπως απαιτούνται β) Ενδιάμεσο τοίχωμα • Εκτ. σκυρόδεμα d=40cm οπλισμένο με HEA300/1m και δύο στρώσεις πλέγματος T188 • 5 ηλώσεις υαλοκλών ανά βήμα προκάρπης πλήρως τσιμενταρισμένες L=5.00m/1.00x1.00 οριακού φορτίου 200kN • Αποστραγγιστικές ούλες #53, L=6.00m/3.00m όπως απαιτούνται • Επικάλυψη θαπέδου με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα 20cm με δύο στρώσεις πλέγματος T377</p>	<p><b>Stage 1</b> Round length 1.00m <u>Temporary support measures</u> a) Crown • Shotcrete d=50cm • Lattice girders h=45cm every 1m • Drainage holes #53, L=5.00–6.00m as required. b) Midwall • Shotcrete d=40cm reinforced with HEA300/1m and two layers of wire mesh T188 • 5 Reinforced Fiberglass bolts per round length L=5.00m/1.20x1.00 ultimate tensile load 200kN • Drainage holes #53 L=6.00m/3.00m as required. • Invert shotcrete 20cm with two layers of wire mesh T377</p>
---	--

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ**

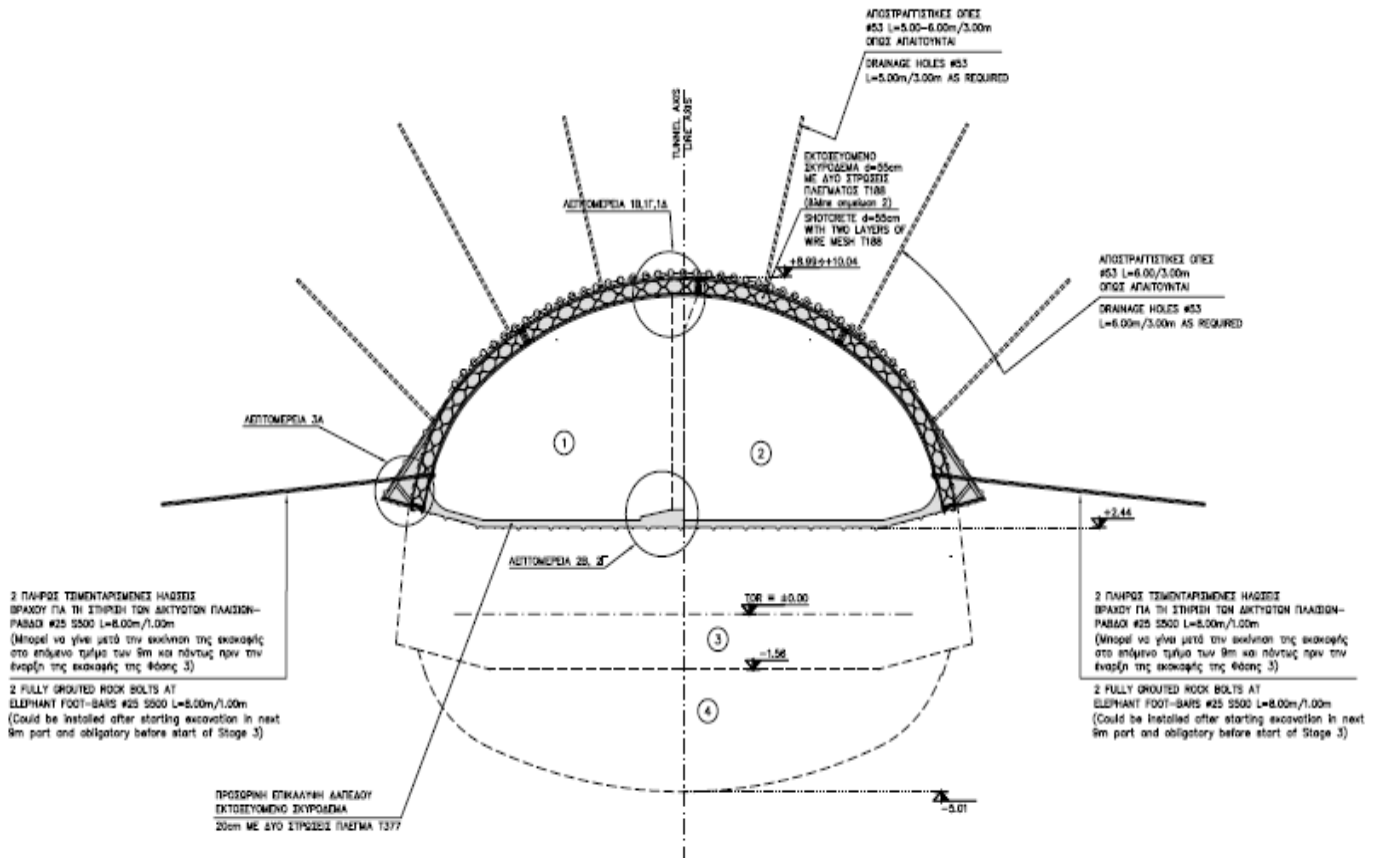
Η εκκαθή και υποστήριξη της φάσης 1 όπως περιγράφεται παραπάνω αφορά τα τμήματα μήκους 9m που σκεπάζονται με τις εγκαθιστούμενες σπείρες προπροελαίας. Η εγκατάσταση των δοκών προπροελαίας καθώς και των πλώσεων υποστήριξης μετόπισι γίνεται πριν την έναρξη των εργασιών εκκαθής του κάθε τμήματος.

**Σχήμα 10.6:** Εγκάρσια τομή εκσκαφής κατά τη Φάση 1. Διακρίνονται τα μέτρα υποστήριξης. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008)



Σχήμα 10.7: Κατά μήκος τομή της εκσκαφής κατά τη Φάση 1. Διακρίνονται τα μέτρα υποστήριξης. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοξης, Αττικό Μετρό, 2008)

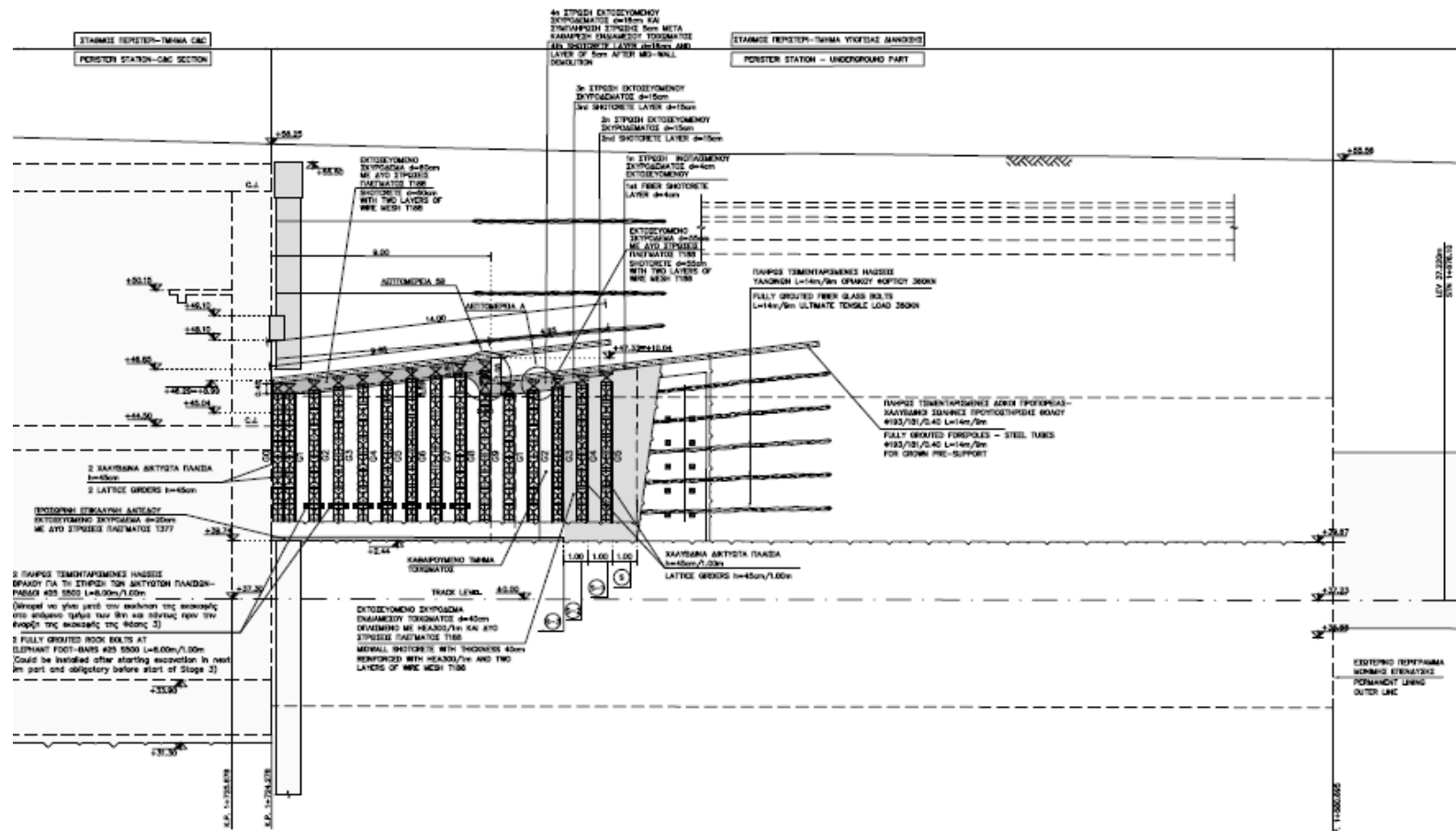
ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)



<p><b>Φάση 2</b>                  Θήκη προεκπόησης 1,00m  <u>Μέτρα προσωρινής υποστήριξης</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Εκτ. Σκυρόδεμα d=55 με δυο στρώσεις πλέγματος T188-50cm κατά την εκσκαφή της φάσης 2 και συμπύκνωση 5cm σε όλο το δάδο μετά την καθάρση του ενδιάμεσου τοιχώματος.</li> <li>• Χαλύβδινα δακτυλικά πλάκες h=45cm/1,00m</li> <li>• Αποστραγγιστικές οπές #53, L=5,00-6,00m/3,00m όπως απαιτούνται</li> <li>• Διαδοκική καθάρση ενδιάμεσου τοιχώματος μετά τη συμπύκνωση 3 θημάτων προεκπόησης σε τμήματα του 1m</li> <li>• Σκυροδότηση δοκού στο τελικό μήκος (μέγιστη θέση εκσκαφής στο ήμισυ των 9m)</li> <li>• Επικόλληση δαπέδου με εκτοξευμένο σκυρόδεμα 20cm με δυο στρώσεις πλέγματος T377</li> <li>• Εγκατάσταση πλάσων στήριξης δακτυλίων πλάσων – 2X2 πλέγας τομεντομετρικής πλάσας/1,00m #25 S500 L=8,00m (Μπορεί να γίνει μετά την εκκίνηση της εκσκαφής στο επόμενο τμήμα των 9m και πάντως πριν την έναρξη της εκσκαφής της φάσης 3)</li> </ul>	<p><b>Stage 2</b>                  Round length 1.00m  <u>Temporary support measures</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Shotcrete d=55 with two layers of wire mesh T188-50cm during stage 2 excavation and 5cm in all open perimeter after midwall demolition</li> <li>• Lattice girders h=45cm/1,00m</li> <li>• Drainage holes #53 L=5,00-6,00m/3,00m as required.</li> <li>• Consecutive demolition of midwall after completion of 3 round lengths in 1m parts</li> <li>• Concreting of beam at final face (maximum position at the end of 9m parts)</li> <li>• Invert shotcrete 20cm with two layers of wire mesh T377</li> <li>• Installation of 2X2 fully grouted rock bolts at elephant foot bars #25 S500 L=8,00m/1,00m (Could be installed after starting excavation in next 9m part and obligatory before start of Stage 3)</li> </ul>
--	--

- ΣΗΜΕΙΩΣΗ**
1. Η εκσκαφή των φάσεων 1&2 προβάλλεται να ολοκληρωθεί σε όλο το μήκος της οδού.
  2. Η τελευταία στρώση 5cm εκτοξ. σκυροδέματος για τη συμπύκνωση του συνολικού πάχους 50cm τοποθετείται στο ολοκληρωμένο τμήμα του δάδου μετά την εγκατάσταση της νέας σειράς δοκών προετοιμασίας που απαιτούνται για την εκσκαφή του επόμενου τμήματος 9m-απαιτείται να γίνει και μετά την εκκίνηση της εκσκαφής στο επόμενο τμήμα των 9m.
  3. Η ολοκλήρωση της σκυροδότησης της μετωπικής δοκού (στο τελικό μήκος-μήγιστη θέση εκσκαφής στο ήμισυ των 9m) γίνεται πριν την εγκατάσταση της νέας σειράς των δοκών προετοιμασίας που απαιτούνται για την εκσκαφή του επόμενου τμήματος 9m.

**Σχήμα 10.8:** Εγκάρσια τομή της εκσκαφής κατά τη Φάση 2. Διακρίνονται τα μέτρα υποστήριξης. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιας, Αττικό Μετρό, 2008)



Σχήμα 10.9: Κατά μήκος τομή της εκσκαφής κατά τη Φάση 2. Διακρίνονται τα μέτρα υποστήριξης. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008)

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)

### Εκσκαφή και Υποστήριξη Δαπέδου

Στη τελική φάση, το δάπεδο ανεστραμμένου θόλου εκσκάπτεται σε βήματα μήκους 3,00 m με εκκίνηση σε απόσταση 12,00 m τουλάχιστον από την ολοκληρωμένη εκσκαφή της βαθμίδας. Το προβλεπόμενο κέλυφος εκτοξευόμενου σκυροδέματος είχε πάχος 45 cm και ήταν οπλισμένο με δύο στρώσεις πλέγματος T 377, ενώ κατά την εφαρμογή των πρώτων στρώσεων εκτοξευόμενου σκυροδέματος προβλεπόταν η σφήνωση των ήδη εγκατεστημένων από την προηγούμενη φάση ηλώσεων.

Τα μέτρα υποστήριξης της ολοκληρωμένης διατομής φαίνονται στο **Σχήμα 10.12**, ενώ στο **Σχήμα 10.13**, σε κατά μήκος τομή, παρουσιάζεται η ακολουθία κατασκευής.

Η εκσκαφή του θόλου έγινε με μέτωπο προσβολής από το ανοιχτό όρυγμα του Σταθμού το οποίο έχει διαμορφωθεί σύμφωνα με τη σχετική μελέτη αντιστήριξης προκειμένου να εξασφαλίζει την ευστάθεια του ορύγματος και να επιτρέπει παράλληλα την προσβολή του υπόγειου ανοίγματος.

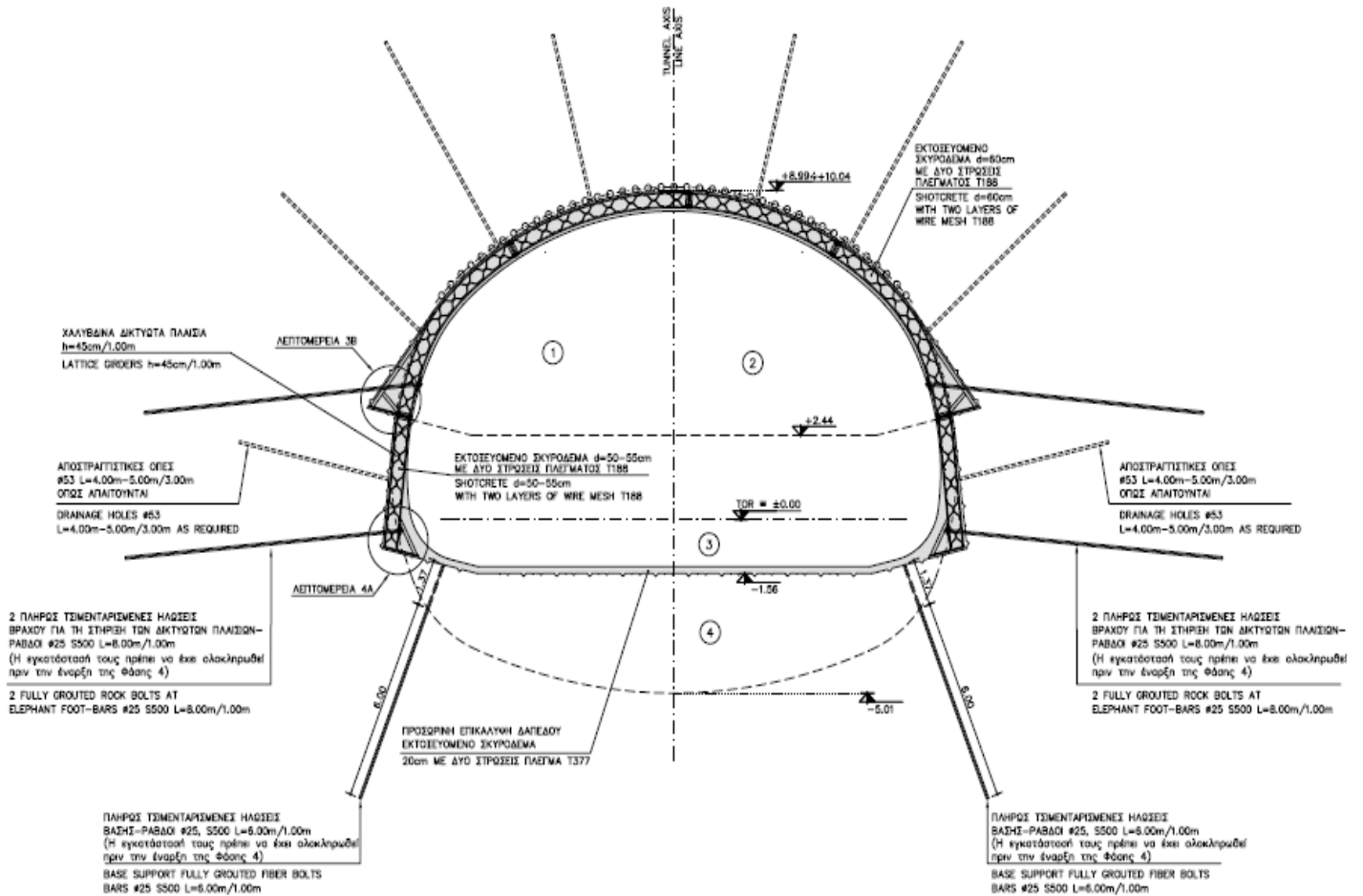
Η εκσκαφή της βαθμίδας και του δαπέδου ανεστραμμένου τόξου σε περιπτώσεις όπως η προκείμενη μπορεί να γίνει με κατεύθυνση από το πέρασ του θαλάμου προς το ανοικτό όρυγμα ή εναλλακτικά και από το ανοιχτό όρυγμα. Ωστόσο, συνηθίζεται να γίνεται με κατεύθυνση από το ανοικτό όρυγμα προς το θάλαμο για λόγους διευκόλυνσης του αναδόχου εκτός αν συντρέχει ιδιαίτερος λόγος που υπαγορεύει το αντίθετο (π.χ. αν προηγείται χρονικά η κατασκευή του υπόγειου τμήματος).

Στο τελικό μέτωπο εκσκαφής στο πέρασ των 44 m τοποθετήθηκαν ηλώσεις υαλοϊνών μήκους 14 m, σε κάρναβο 1,10 x 1,10 και σε όλη την επιφάνεια του μετώπου. Παράλληλα, κατασκευάστηκε πέτασμα εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους  $d = 45$  cm οπλισμένου με διπλό πλέγμα T 377. Στην **Εικόνα 10.7** φαίνεται η ολοκληρωμένη διατομή του τμήματος υπόγειας διάνοιξης.



*Εικόνα 10.7: Ολοκληρωμένη διατομή του υπόγειου τμήματος του Σταθμού. (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό)*

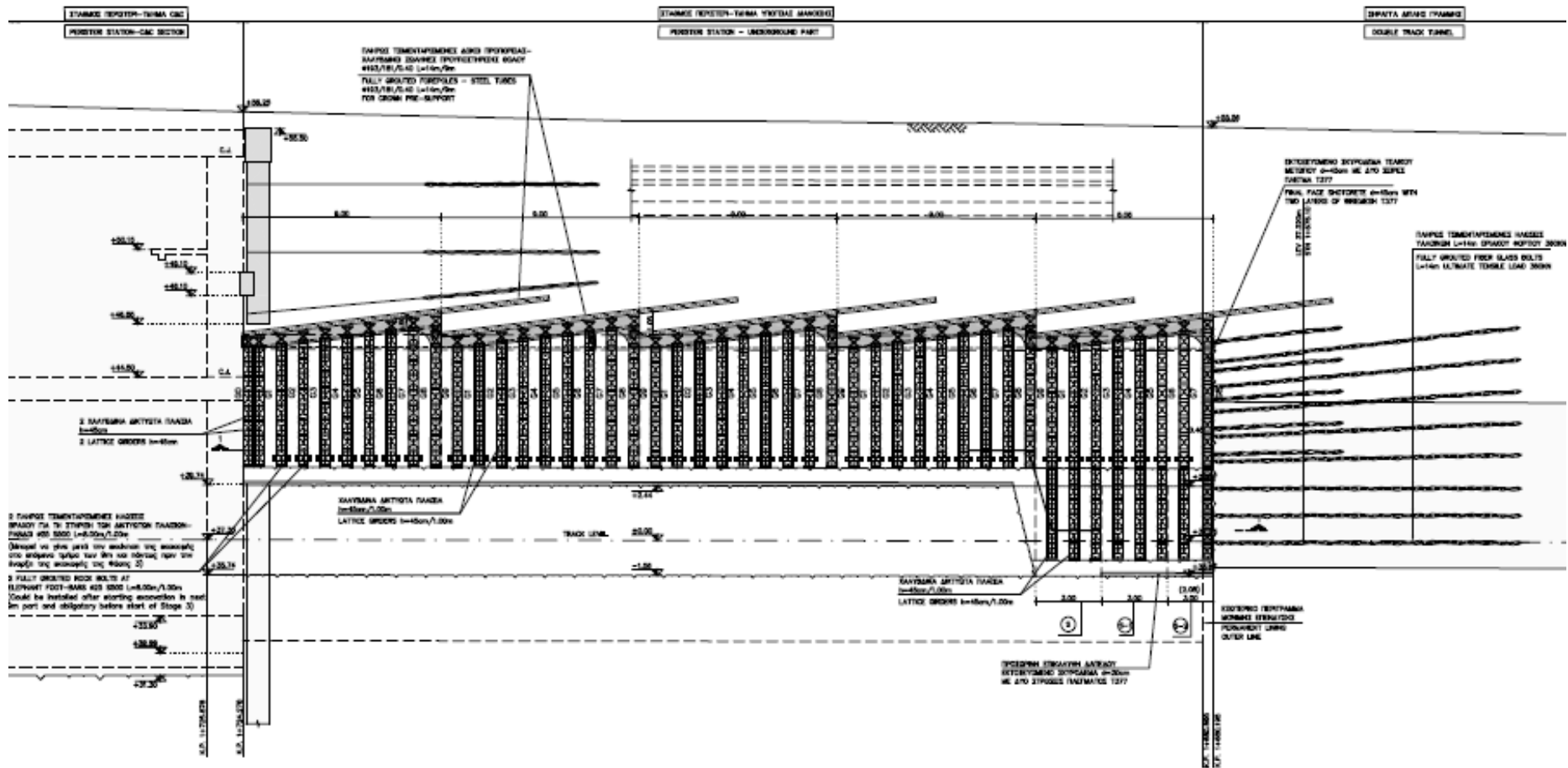




<p><b>Φάση 3</b> Εκσκαφή και προσωρινή υποστήριξη βαθμίδας Βήμα προκάμψης 3.00m Μέτρα προσωρινής υποστήριξης</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Εκτ. Σκυρόδεμα d=50-55cm με δυο στρώσεις πλέγματος T188</li> <li>• Πρόεκταση των καλωθθίνων δικτυωτών πλάσιων στην παρούσα στάση εκσκαφής</li> <li>• Επικάλυψη θεμελίων με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα d=20cm με δυο στρώσεις πλέγματος T377</li> <li>• Αποστραγγιστικές οπές #53, L=4.00-5.00m/3.00m όπως απαιτούνται.</li> <li>• 2X2 Ηλώσεις πλήρως ταμενταρισμένες για στήριξη πλάσιων #25 S500 L=8.00m/1.00m.</li> <li>• Εγκατάσταση πλάσιων βάσης-Ράβδων #25 S500 L=6.00m/1.00m.</li> </ul>	<p><b>Stage 3</b> Bench excavation and temporary support Round length 3.00 m Temporary support measures</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Shotcrete d=50-55cm with two layers of wire mesh T188</li> <li>• Extension of lattice girders to the current excavation level</li> <li>• Invert shotcrete d=20cm with two layers of wire mesh T377</li> <li>• Drainage holes #53, L=4.00-5.00m / 3.00m as required</li> <li>• 2X2 Fully grouted rock bolts at elephant foot #25 S500 L=8.00m/1.00m.</li> <li>• Installation of base support bolts bars #25, S500 L=6.00m/1.00m</li> </ul>
---	--

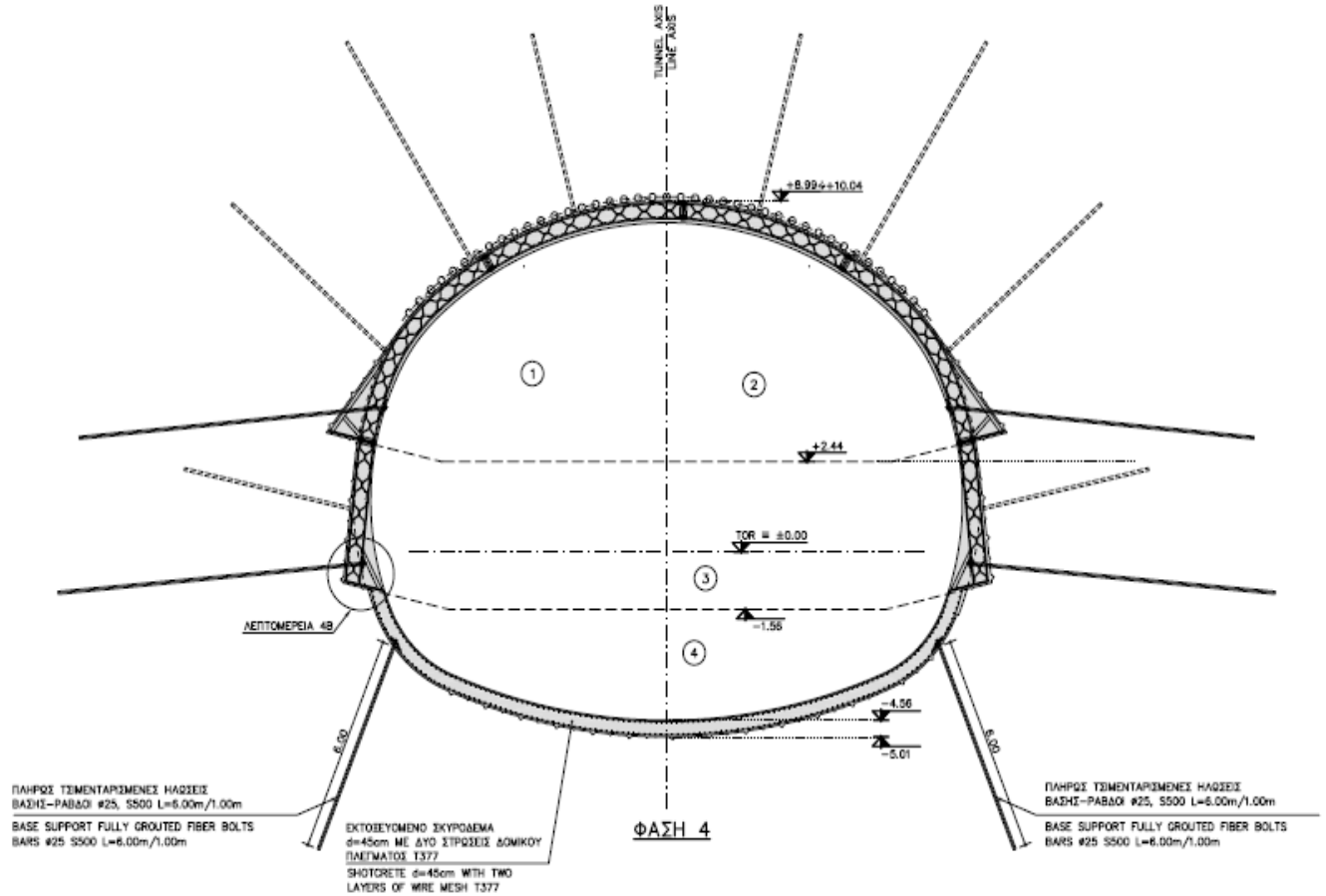
**ΣΗΜΕΙΩΣΗ**  
Η εκσκαφή της φάσης 3 θα ξεκινήσει μετά την ολοκλήρωση των φάσεων 1&2 σε όλο το μήκος της οδού.

**Σχήμα 10.10:** Εγκάρσια τομή της εκσκαφής βαθμίδας (Φάση 3). Διακρίνονται τα μέτρα υποστήριξης. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008)



Σχήμα 10.11: Κατά μήκος τομή της εκσκαφής βαθμίδας (Φάση 3). Διακρίνονται τα μέτρα υποστήριξης. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008)

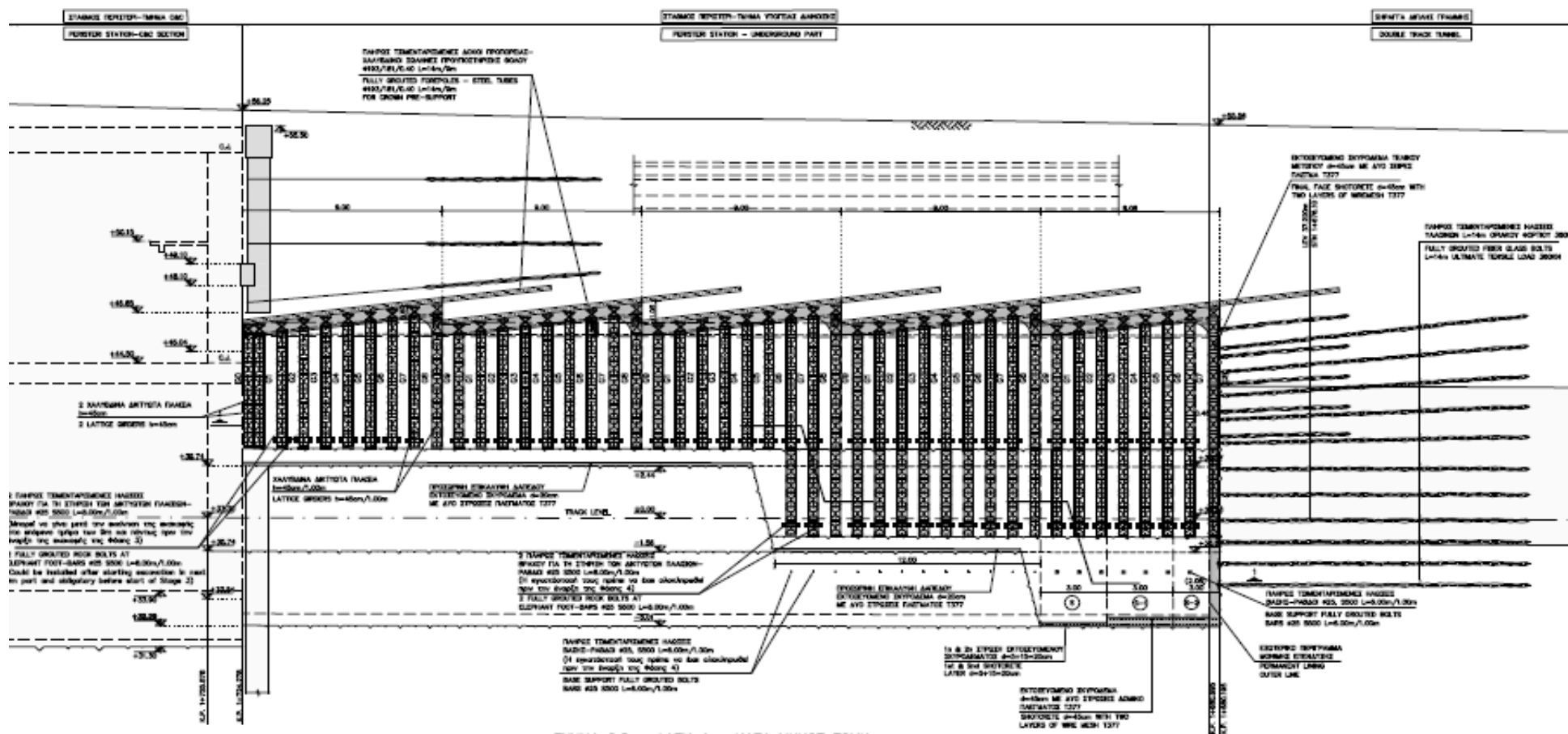
ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)



<p>Στάδιο 4 Εκακαφή και Υποστήριξη Δαπέδου Ανεστραμμένου Θόλου Θέμα προκύρσης 3.00m Μέτρα προσωρινής υποστήριξης</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Σφήνιση πλάσεων βάσης</li> <li>• Εκτ. Σκυρόδεμα d=45cm οπλισμένο με διπλό δομικό πλέγμα T377</li> </ul>	<p>Stage 4 Invert Excavation and Support Round length 3.00 m <u>Temporary support measures</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Base support bolts fixing</li> <li>• Shotcrete d=45cm reinforced with double wiremesh T377</li> </ul>
---	---

ΣΗΜΕΙΩΣΗ  
Η εκακαφή της φάσης 4 θα ξεκινήσει μετά την ολοκλήρωση της φάσης 3 για 12m τουλάχιστον

**Σχήμα 10.12:** Εγκάρσια τομή της ολοκληρωμένης εκσκαφής (Φάση 4). Διακρίνονται τα μέτρα υποστήριξης. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοξης, Αττικό Μετρό, 2008)



Σχήμα 10.13: Κατά μήκος τομή της ολοκληρωμένης εκσκαφής (Φάση 4). Διακρίνονται τα μέτρα υποστήριξης. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008)

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ (ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)

Οι ακόλουθες επισημάνσεις αφορούν κατασκευαστικές λεπτομέρειες που είχαν σημασία για την επιτυχημένη εφαρμογή και λειτουργία του συστήματος:

- Η συνέχεια του κελύφους του θόλου στο σημείο ένωσης της 1ης και 2ης φάσης εξασφαλίζεται όσον αφορά την εξωτερική παρειά με την τοποθέτηση πρόσθετων ράβδων συνέχειας που αναδιπλώνονται κατά την διάνοιξη της 2ης φάσης.
- Στην εσωτερική παρειά του θόλου κατά την φάση συμπλήρωσης πρόσθετης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος (μετά την σταδιακή καθαίρεση του ενδιάμεσου τοιχώματος), τοποθετείται πλέγμα T 188, η δε εφαρμογή της στρώσης αυτής γίνεται ενιαία σε όλη την εσωτερική επιφάνεια του θόλου.
- Η συνέχεια του κελύφους του θόλου στη βάση έδρασης με τα πλευρικά τοιχώματα της βαθμίδας εξασφαλίζεται και με πρόσθετες ράβδους συνέχειας που αναδιπλώνονται κατά την εκσκαφή της βαθμίδας.
- Η συνέχεια των πλευρικών τοιχωμάτων της βαθμίδας με το κέλυφος του δαπέδου ανεστραμμένου θόλου εξασφαλίζεται με ράβδους συγκολλούμενες στην πλάκα έδρασης των πλαισίων και πρόσθετες ράβδους συνέχειας που αναδιπλώνονται κατά την εκσκαφή του δαπέδου ανεστραμμένου θόλου.
- Η συνέχεια του προσωρινού δαπέδου του θόλου (μεταξύ των δύο φάσεων εκσκαφής του), εξασφαλίζεται με πρόσθετες ράβδους συνέχειας που τοποθετούνται στην 1η φάση και αναδιπλώνονται κατά την 2η φάση.

Η σήραγγα διπλής γραμμής διανοίγεται από το φρέαρ - θάλαμο πρόσβασης που έχει κατασκευασθεί στη Χ.Θ. 1+553,97. Κρίθηκε σκόπιμο για λόγους που σχετίζονται με την ασφάλεια της κατασκευής, η διάνοιξη της σήραγγας διπλής γραμμής να μείνει σε ασφαλή απόσταση δύο περίπου διαμέτρων (~ 25 m) από το μέτωπο διάνοιξης του θαλάμου μέχρι την ολοκλήρωση της διάνοιξης του θόλου (φάσεις 1 και 2).

Στη συνέχεια και αναλόγως των διαμορφωμένων συνθηκών και των μετρημένων μετακινήσεων κατά τη διάνοιξη του θαλάμου στο σύνολο του μήκους και ειδικότερα στη περιοχή του μετώπου, η μελέτη προέβλεπε να αξιολογηθεί αν

υπάρχει η δυνατότητα διάνοιξης του υπολοιπούμενου τμήματος της σήραγγας στη φάση αυτή ή αν θα πρέπει αυτό να γίνει μετά την ολοκλήρωση της διάνοιξης του θαλάμου στο σύνολο της διατομής.

Εναλλακτικά, η διάνοιξη της σήραγγας διπλής γραμμής θα μπορούσε να γίνει με κατεύθυνση από το Σταθμό Περιστερί προς τον Σταθμό Αγ. Αντωνίου μετά την εκσκαφή της βαθμίδας ή και την ολοκλήρωση της εκσκαφής του δαπέδου στην εγγύς του τελικού του μετώπου περιοχή και πάντα αναλόγως των δεδομένων της γεωδομητικής παρακολούθησης ως προς τις καθιζήσεις. Η εναλλακτική αυτή λύση εκσκαφής τελικά δεν ακολουθήθηκε καθώς δεν κρίθηκε απαραίτητο.

Τέλος, είναι σημαντικό να επισημανθεί ο κυρίαρχος ρόλος της λεπτομερούς παρακολούθησης των συνεπειών της διάνοιξης κατά την εξέλιξη των φάσεων εργασίας. Από τα πρώτα στάδια διάνοιξης, η αξιολόγηση των μετρήσεων των παραμορφώσεων - καθιζήσεων με βάση τα αποτελέσματα των εκτιμηθέντων από το αριθμητικό προσομοίωμα της μελέτης σε συνδυασμό με τις συναντώμενες γεωτεχνικές συνθήκες παρείχε την δυνατότητα βελτίωσης της ακρίβειας των προβλέψεων. Αυτό θα επέτρεπε, σε περίπτωση που θα υπήρχαν σημαντικές αποκλίσεις, την λήψη συμπληρωματικών μέτρων για τον περιορισμό των καθιζήσεων.

Παρακάτω αναφέρονται ενδεικτικά τα πρόσθετα μέτρα που μπορεί να ληφθούν σε τέτοιες περιπτώσεις κατά την εξέλιξη των εργασιών όπου αυτό απαιτείται (εμφάνιση κρίσιμων καταστάσεων):

- Μείωση του βήματος προχώρησης ή και συμπλήρωση των μέτρων υποστήριξης σε μικρότερη απόσταση από το μέτωπο.
- Πρόσθετες ηλώσεις στην παρειά της εκσκαφής της 1ης φάσης επί του ενδιάμεσου τοιχώματος.
- Πρόσθετες ηλώσεις στο μέτωπο και συστηματική εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε αυτό.
- Διατήρηση αναβαθμού στο μέτωπο.

- Ενίσχυση του κελύφους με πρόσθετες στρώσεις εκτοξευόμενου σκυροδέματος.
- Γέμισμα των διευρύνσεων της διατομής με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με πιθανή πρόσθετη παράλληλη ενίσχυση με διαδοκίδες στην θέση των πλαισίων (με την προσθήκη 2ης διατομής πλαισίου).
- Διατήρηση του ενδιάμεσου τοιχώματος σε όλο το μήκος των 9 m (και πιθανόν και σε προηγούμενο του διανοιγομένου τμήματος 9 m αν αυτό απαιτηθεί).
- Πρόσθετες ηλώσεις στα πλευρά του θόλου.
- Μικροπάσσαλοι στις βάσεις έδρασης του πλαισίου (στο θόλο ή και στη βαθμίδα).

Από τα παραπάνω μέτρα τελικά αποφασίστηκε για λόγους επιπλέον ασφάλειας να διατηρηθεί προληπτικά αναβαθμός στο μέτωπο, καθώς επίσης και το ενδιάμεσο τοίχωμα καθ' όλο το μήκος της προχώρησης των 9 m. Δηλαδή, τα μέτρα αυτά δεν υπαγορεύτηκαν από δυσμενείς συνθήκες αλλά εφαρμόστηκαν ως επιπρόσθετο μέτρο ασφάλειας.

### 10.3 Παραδοχές Σχεδιασμού

Για το σχεδιασμό του συστήματος υποστήριξης και την κατασκευή του ελήφθη υπόψη ένα σύνολο κανονισμών και παραδοχών.

#### 10.3.1 Κανονισμοί

Αναλυτικότερα, ο σχεδιασμός και η εφαρμογή του συστήματος βασίστηκε στους ακόλουθους κανονισμούς:

[1] Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος (Ε.Κ.Ω.Σ.-2000) ΦΕΚ 1329/Β/06.11.00, όπως τροποποιήθηκε (ΦΕΚ 447/Β/05.04.04)

[2] Ευρωκώδικας 2 (EC2)

[3] Ευρωκώδικας 4 (EC4): Σχεδιασμός Συμμίκτων Κατασκευών από Χάλυβα και Σκυρόδεμα

[4] Ελληνικός Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Κ.Τ.Σ.-1997) ΦΕΚ 315/Β/17.04.97, όπως τροποποιήθηκε (Απόφαση Δ14/50504-ΦΕΚ 537/Β/01.05.02)

[5] Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος (Κ.Τ.Χ.-2000) ΦΕΚ 381/Β/24.03.00

### 10.3.2 Φορτία

Για το σχεδιασμό χρησιμοποιήθηκαν επίσης τα ακόλουθα φορτία:

#### Φορτία στην επιφάνεια του εδάφους

Φορτία κυκλοφορίας 30 kN/m<sup>2</sup>

#### Μόνιμα Φορτία

Ίδιο βάρος ωπλισμένου σκυροδέματος 25 kN/m<sup>3</sup>

Φαινόμενο βάρος εδάφους 21 kN/m<sup>3</sup> (Επιφανειακές αποθέσεις)  
22,5 kN/m<sup>3</sup> (Αθηναϊκός  
Σχιστόλιθος και Κροκαλοπαγές)

Φορτίο από παρακείμενες κατασκευές Παραδοχή 10 kN/m<sup>2</sup> ανά όροφο

### 10.3.3 Υλικά

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα ακόλουθα:

Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	C 25/30
Άοπλο σκυρόδεμα (γενικώς)	C 12/15
Χάλυβας ράβδων δικτυωτών πλαισίων	S 500s
Χάλυβας μεταλλικών στοιχείων σύνδεσης	Fe 360
Ράβδοι ηλώσεων Fiber glass	Οριακό φορτίο 360 kN (μετώπων) και 200 kN (ενδιαμέσου τοιχώματος)
Ράβδοι ηλώσεων από χάλυβα	S 500s



### 10.3.4 Επιτρεπόμενες παραμορφώσεις

Η επιλογή της μεθοδολογίας διάνοιξης και ο σχεδιασμός του συστήματος των μέτρων υποστήριξης βασίστηκε στην απαίτηση για την εξασφάλιση γενικής ευστάθειας του υπόγειου ανοίγματος και κυριότατα στην ικανοποίηση των περιορισμών των συμβατικών τευχών που σχετίζονται με τις μετακινήσεις του συστήματος και τις καθιζήσεις στην επιφάνεια του εδάφους. Οι περιορισμοί αυτοί όπως προκύπτουν από τα συμβατικά τεύχη και τις προδιαγραφές μελετών έργων πολιτικού μηχανικού συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα (**Πίνακας 10.1**)

**Πίνακας 10.1: Περιοριστικές τιμές των παραμορφώσεων. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008)**

A/A	Μετακίνηση, παραμόρφωση	Ευαίσθητα κτήρια ή κατασκευή	Άλλα κτήρια	Οδοί, πεζοδρόμια ή δίκτυα Ο.Κ.Ω.
1	Συνολική καθίζηση, mm	20	25	30
2	Γωνιακή παραμόρφωση	1 : 800	1:600	1:600
3	Οριζόντια παραμόρφωση,%	0,15	0,25	0,30

## 10.4 Μεθοδολογία ανάλυσης & υπολογισμών

### 10.4.1 Ανάλυση

Η ανάλυση της διάνοιξης και της εφαρμογής των μέτρων προσωρινής υποστήριξης διεξήχθη με προσομοίωμα συνεχούς μέσου (κώδικας πεπερασμένων διαφορών FLAC 5.0). Με αυτόν τον τρόπο προσομοιώνεται κατά τον δυνατόν η συμπεριφορά του συστήματος εδάφους – κατασκευής λαμβάνοντας υπόψη και την αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο. Το προσομοίωμα που αναπτύχθηκε βασίστηκε στην

παραδοχή επίπεδης παραμόρφωσης (διδιάστατο προσομοίωμα). Η επιρροή της τρίτης διάστασης, που στην προκείμενη περίπτωση λόγω του σχετικώς μικρού λόγου του μήκους της διάνοιξης προς το άνοιγμα της διατομής θα είχε ευμενή επίδραση, αγνοήθηκε κατά τους υπολογισμούς.

Όπως είναι φυσικό, η απόκριση ενός συστήματος υποστήριξης κατά την διάρκεια της υπόγειας διάνοιξης, είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων:

(α) εγγενών μεταβλητών που σχετίζονται με το έδαφος: λιθολογικοί τύποι υλικών και δομή, αρχική εντατική κατάσταση, φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά, υπόγεια νερά, και

(β) εξωτερικών μεταβλητών που σχετίζονται με τη διατομή και την ίδια την κατασκευή: μέγεθος και γεωμετρία διατομής, μέθοδος διάνοιξης, τύπος – φέρουσα ικανότητα – χρόνος τοποθέτησης και κατασκευαστική αρτιότητα εφαρμογής του συστήματος υποστήριξης.

Ιδιαίτερα στην προκείμενη περίπτωση που η διάνοιξη θα γινόταν με την εφαρμογή μεθόδου τμηματικής διάνοιξης της διατομής, η προσομοίωση ήταν σημαντικό να έχει καλή αντιστοιχία προς τις πραγματικές φάσεις της κατασκευής. Αυτό επετεύχθη με την υιοθέτηση αντίστοιχων σταδίων στην ανάλυση.

Προκειμένου να προσομοιωθεί επιτυχώς η απόκριση του συστήματος υποστήριξης που σε κάθε φάση εκσκαφής τοποθετείται διαδοχικά με την προχώρηση του μετώπου εκσκαφής, χρειάζεται να εισαχθεί καταλλήλως η βαθμιαία αποτόνωση της βραχομάζας σε κάθε στάδιο ανάλυσης που αντιπροσωπεύει διαφορετικές αποστάσεις από το μέτωπο και κατά συνέπεια υποστήριξη του ανοίγματος από διαφορετικά μέτρα υποστήριξης (σε αναφορά είδους και ακαμψίας). Η εισαγωγή της αποτόνωσης της βραχομάζας έγινε με την εφαρμογή του κατάλληλου συντελεστή αποτόνωσης που στο στάδιο ολοκλήρωσης της εκσκαφής και υποστήριξης της κάθε φάσης (που αντιστοιχεί σε ικανή από το μέτωπο απόσταση), επιτρέπει την πλήρη ανάπτυξη των φορτίων στο όριο της διατομής.

Η εκτίμηση των συντελεστών αποτόνωσης γίνεται γενικώς με βάση τις υπολογιζόμενες συγκλίσεις κυκλικής διατομής ισοδύναμης επιφανείας με την

εξεταζόμενη διανοιγόμενη φάση με θεώρηση συνθηκών αξονικής συμμετρίας. Το προσομοίωμα που αναπτύχθηκε είχε σκοπό τον προσδιορισμό της έντασης που τα στοιχεία του προτεινόμενου συστήματος καλούνταν να παραλάβουν και την εκτίμηση των προκαλούμενων εδαφικών μετακινήσεων στην περίμετρο του υπόγειου ανοίγματος και στην επιφάνεια του εδάφους.

Παράλληλα, για τον έλεγχο της επάρκειας του κελύφους εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο θόλο (Φάσεις 1 & 2) διεξήχθη ανάλυση με «απ' ευθείας εκσκαφή και εγκατάσταση», δηλαδή χωρίς την μεσολάβηση διαδοχικών φάσεων και σταδιακή αποτόνωση της βραχομάζας.

#### 10.4.2 Θεώρηση αποστράγγισης

Σύμφωνα με τις μετρήσεις του υπογείου ύδατος στην περιοχή του έργου [03/04/08, πιεζόμετρο CASP1T] η στάθμη κυμαινόταν σε βάθος 20 m από την εδαφική επιφάνεια, (δηλαδή περί τη βάση της βαθμίδας). Επομένως, για τους σκοπούς της ανάλυσης, δεν απαιτήθηκε ειδική εξέταση των μετακινήσεων λόγω αποστράγγισης. Εύλογα υποθέτει κανείς ότι αυτές περιλαμβάνονταν στις ήδη καταγραφείσες τιμές καθιζήσεων κατά την διάρκεια της εκσκαφής του ανοιχτού ορύγματος του Σταθμού.

Στο σημείο αυτό επισημαίνονται τα ακόλουθα:

Είναι αντιληπτό ότι δεδομένου ότι οι μετρήσεις υπογείου ύδατος είχαν ληφθεί από πιεζόμετρο που βρισκόταν στην άμεση γειτονιά του σκάμματος, δηλαδή στην αρχή της υπόγειας διάνοιξης (βλέπε **Σχήμα 10.14**), ήταν πιθανό η στάθμη του νερού να ήταν ψηλότερα σε θέσεις με μεγαλύτερη απόσταση από αυτό, δηλαδή στο τέλος των 44 m. Κατά συνέπεια, εκεί ενδεχομένως να υπήρχαν κάποιες επιπτώσεις (στην καθίζηση), από την αποστράγγιση που θα δημιουργείτο λόγω εκσκαφής. Ωστόσο, επειδή το πέτρωμα που αποστραγγίστηκε είναι σχετικά συνεκτικό (και όχι εδαφικό υλικό), λειτούργησε ως «σκελετός» και η αποστράγγιση που υπέστη δεν προκάλεσε ουσιαστική αλλαγή στη δομή του.

Σημειώνεται ότι οι εκτιμηθείσες από την ανάλυση καθιζήσεις λόγω εκσκαφής αφορούσαν τις μέγιστες πιθανές να αναπτυχθούν τιμές (βάσει του προσομοιώματος). Αυτό προφανώς αφορούσε θέσεις κατά μήκος της εκσκαφής που βρίσκονταν σε

απόσταση 2D τουλάχιστον πίσω από τον τελικό μετωπικό τοίχο (άρα στην γειτονιά του ανοιχτού ορύγματος). Παρ' όλα αυτά οι μέγιστες τιμές των υφιστάμενων καθιζήσεων (που αφορούσαν τη γειτονική του ανοιχτού ορύγματος περιοχή), είχαν προστεθεί στις εκτιμώμενες από την εκσκαφή του θαλάμου σε ό,τι αφορά τις τιμές αναφοράς και τα οριζόμενα όρια επιφυλακής και συναγερμού που ισχύουν για όλη την σήραγγα, ανεξαρτήτως απόστασης από το ανοιχτό όρυγμα.

Αυτό έγινε προκειμένου να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι η αποστράγγιση μπορεί να είχε κάποια επίπτωση στις καθιζήσεις σε θέσεις απομακρυσμένες από το C&C του σταθμού, όπου όμως οι υφιστάμενες καθιζήσεις είναι πολύ μικρές ή αμελητέες.

Παράλληλα, δεδομένου ότι οι κλίσεις των καμπυλών καθιζήσεων από αποστράγγιση είναι πάντοτε ηπιότερες αυτών που προκύπτουν από την εκσκαφή, επισημαίνεται ότι δεν ετέθη θέμα πιθανότητας αύξησης της μέγιστης κλίσεως των καμπυλών στην περίπτωση που θα υπάρχει καθίζηση από αποστράγγιση. Αντιθέτως, ο συνδυασμός των δύο καμπυλών δίνει εξομάλυνση της κλίσεως.

#### **10.4.3 Προσδιορισμός των συντελεστών αποτόνωσης**

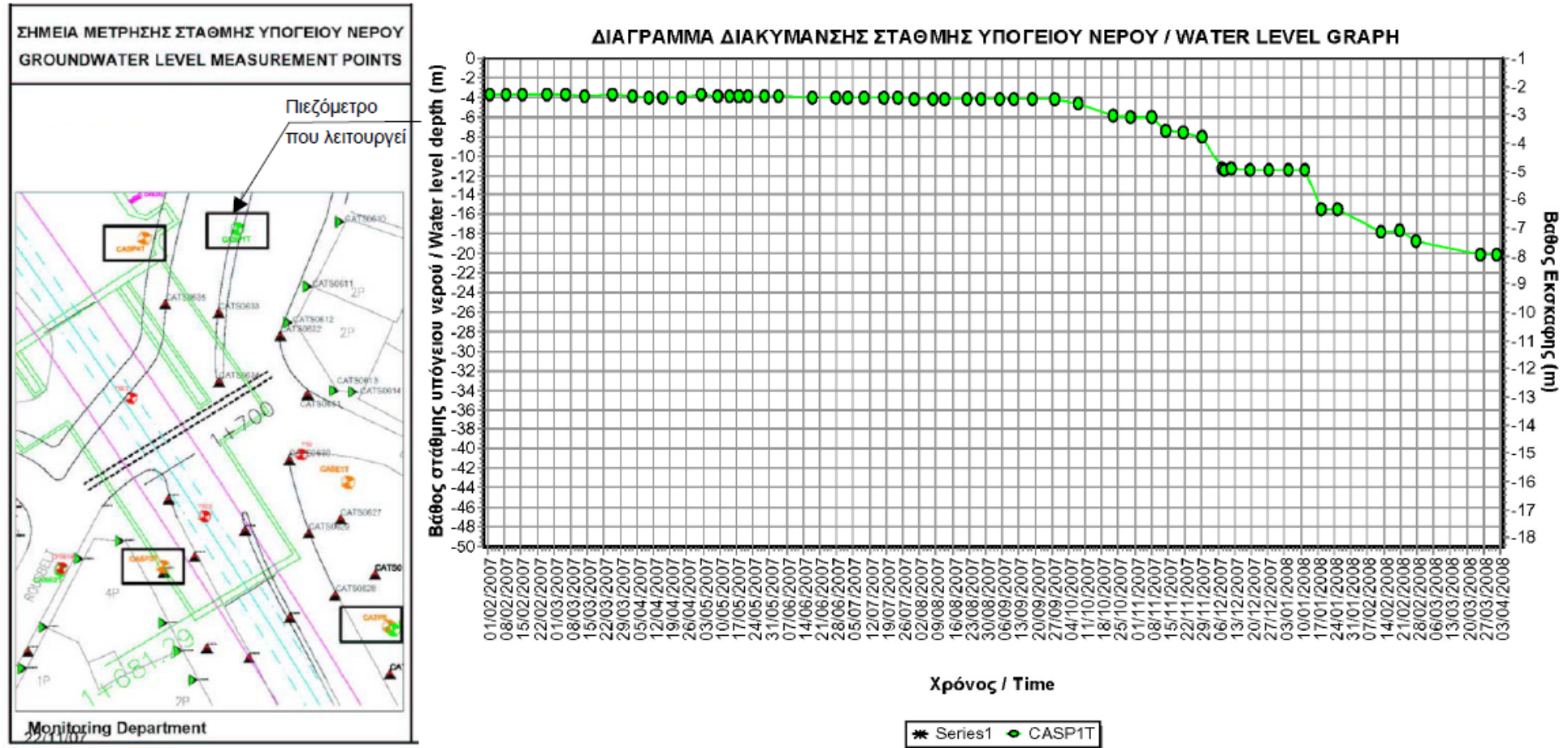
Όπως έχει προαναφερθεί, η διάνοιξη είναι πολυφασική (φάσεις 1 έως 4) και διεξάγεται σε ό,τι αφορά τη διάνοιξη του θόλου σε επιμέρους τμήματα, μήκους 9 m το καθένα κατά την διαμήκη διεύθυνση του έργου (που σχετίζονται με το μήκος των τοποθετούμενων δοκών προπορείας).

Ο προσδιορισμός των συντελεστών αποτόνωσης έγινε αναλυτικά για την 1η φάση εκσκαφής στην παρακάτω παράγραφο.

##### **10.4.3.1 Διαδικασία εύρεσης συντελεστών αποτόνωσης**

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε δίδεται συνοπτικά στα ακόλουθα βήματα:

- 1) Προσδιορισμός της καμπύλης σύγκλισης - αποτόνωσης της ανεπένδυτης διατομής με διανοιγόμενη γεωμετρία διατομής αυτή της φάσης (Φάση 1<sup>η</sup>).



Σχήμα 10.14: Μετρήσεις διακύμανσης στάθμης υπογείου ύδατος (03-04-08). (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008)

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)

- 2) Αξονοσυμμετρική ανάλυσή κατά την οποία προσομοιώνεται επακριβώς η αλληλουχία εφαρμογής των μέτρων υποστήριξης κατά τα βήματα κατασκευής. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, τα μέτρα υποστήριξης είναι οι επάλληλες στρώσεις εφαρμογής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Αυτές μπορούν και εισάγονται στην αξονοσυμμετρική ανάλυση λεπτομερώς τόσο σε γεωμετρία (μήκος εφαρμογής, απόσταση από μέτωπο) όσο και σε ακαμψία (πάχος ισοδύναμου δοκού, μέτρο ελαστικότητας). Να σημειωθεί εδώ ότι η ύπαρξη των δοκών προπορείας δεν λαμβάνεται υπόψη κατά τους υπολογισμούς. Τα αποτελέσματα δίνονται υπό την μορφή ακτινικής σύγκλισης συναρτήσεως της απόστασης από το μέτωπο.
- 3) Η ως άνω εκτιμηθείσα συμπεριφορά του συστήματος προβάλλεται στο διάγραμμα σύγκλισης – αποτόνωσης και με βάση την ακαμψία των μέτρων υποστήριξης προσδιορίζεται η διαδρομή του συστήματος υποστήριξης και από αυτή οι αντίστοιχοι συντελεστές αποτόνωσης. (Σχήμα 10.15).

#### **10.4.4 Απευθείας εκσκαφή και εγκατάσταση κελύφους εκτοξευόμενου σκυροδέματος**

Λόγω του μεγάλου ανοίγματος της διατομής και του μικρού ύψους υπερκειμένων, κρίθηκε σκόπιμο για τον έλεγχο και μόνο της επάρκειας του κελύφους του θόλου υπό πλήρες φορτίο, να γίνει ανάλυση προσομοιώματος στο οποίο γίνεται απευθείας εκσκαφή όλης της διατομής του θόλου χωρίς την μεσολάβηση φάσεων και χωρίς την εφαρμογή αποτόνωσης της βραχομάζας πριν την εγκατάσταση του κελύφους. Το προσομοίωμα αυτό δεν εξετάζεται από πλευράς παραμορφώσεων μια και δεν είναι αντιπροσωπευτικό για το σκοπό αυτό.

#### **10.4.5 Φορτία επιφάνειας**

Η σήραγγα εισόδου διανοίχθηκε κάτω από την Λεωφόρο Παναγή Τσαλδάρη. Τα υφιστάμενα εκατέρωθεν της οδού κτίρια έχουν μικρό αριθμό ορόφων, το ισοδύναμο φορτίο των οποίων δεν ξεπερνά το φορτίο κυκλοφορίας που ούτως ή άλλως υιοθετείται σε όλη την έκταση της οδού. Εξάιρεση αποτελεί ένα κτήριο που είναι και το πλησιέστερο προς τα όρια της σήραγγας (πρόσοψη σε απόσταση 11 m

περίπου από τον άξονα της). Το φορτίο που αντιστοιχεί σε αυτό (4 όροφοι και 1 υπόγειο) είναι  $60 \text{ kN/m}^2$  (θεώρηση  $10 \text{ kN/m}^2$  ανά όροφο) και τοποθετήθηκε σαν φόρτιση στο προσομοίωμα στην αντίστοιχη θέση και έκταση. Κατά τα λοιπά υιοθετήθηκε γενικά το φορτίο  $30 \text{ kN/m}^2$  που αντιστοιχεί σε φορτίο κυκλοφορίας και καλύπτει και τα υπόλοιπα κτίρια που είναι χαμηλά με ισοδύναμο φορτίο  $< 30 \text{ kN/m}^2$ .

#### 10.4.6 Μεθοδολογία ελέγχων και διαστασιολόγησης

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε για τον έλεγχο και την διαστασιολόγηση των μέτρων υποστήριξης του συστήματος. Συγκεκριμένα, σε έλεγχο υπόκεινται:

##### **A. ΤΟ ΚΕΛΥΦΟΣ του ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ:**

(A) ENANTI ΚΑΜΨΗΣ στις διατομές με την μέγιστη ροπή και λαμβάνοντας την αντίστοιχη αξονική,

(B) ΥΠΟ ΕΛΕΓΧΟ ΘΛΙΠΤΙΚΩΝ ΤΑΣΕΩΝ στις διατομές με την μέγιστη αξονική.

Για το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα οι ανωτέρω έλεγχοι διεξάγονται κατά ΕΚΩΣ για ορθογωνική διατομή με συμμετρικό οπλισμό και χρήση διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης.

##### **B. ΤΟ ΠΡΟΣΩΡΙΝΟ ΔΑΠΕΔΟ από ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ:**

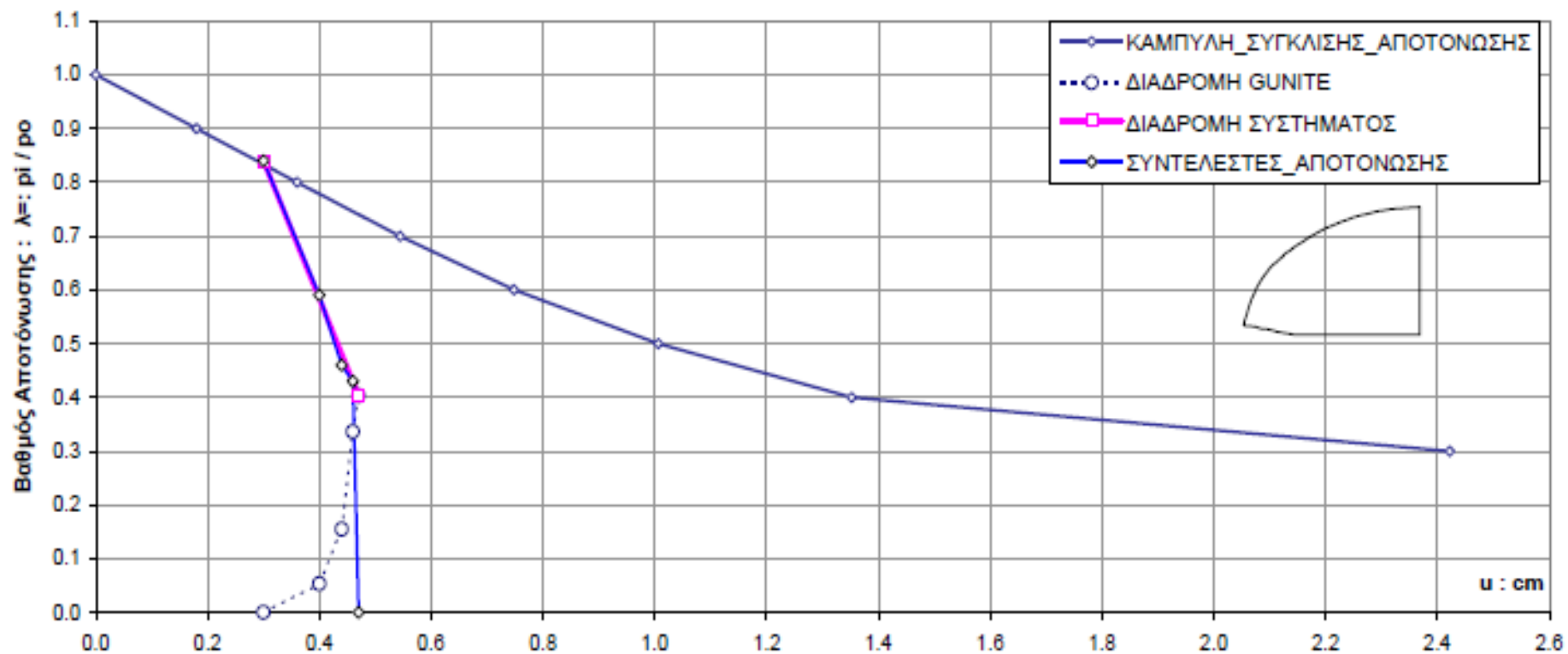
Για το προσωρινό δάπεδο, υπολογίζεται το διάγραμμα αλληλεπίδρασης της διατομής βάσει του διαθέσιμου οπλισμού του και ελέγχεται αν τα αποτελέσματα της ανάλυσης αναγόμενα σε τιμές σχεδιασμού ξεπερνούν ή όχι την διαθέσιμη αντοχή.

##### **Γ. Η ΣΥΜΜΙΚΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΤΟΥ ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΥ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ**

(A) ENANTI ΚΑΜΨΗΣ στις διατομές με την μέγιστη ροπή και λαμβάνοντας την αντίστοιχη αξονική,

(B) ENANTI ΛΥΓΙΣΜΟΥ στις διατομές με την μέγιστη αξονική υπολογίζοντας “πρόσθετη” ροπή λόγω φαινομένων 2ης τάξεως, σύμφωνα με την μέθοδο του “πρότυπου” υποστηλώματος.

Για το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα του ενδιάμεσου τοιχώματος, οι έλεγχοι διεξάγονται κατά EC 4 με χρήση διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης για την σύμμικτη διατομή οπλισμένη με HEA 300. Ο υπολογισμός του διαγράμματος αλληλεπίδρασης της σύμμικτης διατομής γίνεται με χρήση αναλυτικών τύπων.



Σχήμα 10.15: Διάγραμμα σύγκλισης – αποτόνωσης. (Μελέτη Τμήματος Υπόγειας Διάνοιξης, Αττικό Μετρό, 2008)



#### **Δ. ΟΙ ΑΠΛΕΣ ΗΛΩΣΕΙΣ ΒΡΑΧΟΥ:**

Ελέγχονται έναντι ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ με βάση:

- (Α) το μήκος πάκτωσης της ήλωσης,
- (Β) την φέρουσα ικανότητα του χάλυβα.

#### **Ε. ΟΙ ΗΛΩΣΕΙΣ ΥΑΛΟΙΝΩΝ (fiber-glass):**

Ελέγχονται έναντι ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ σύμφωνα με:

- (Α) το μήκος πάκτωσης της ήλωσης,
- (Β) την φέρουσα ικανότητα της υάλου.

#### **ΣΤ. Η ΕΔΡΑΣΗ των ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ και του ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΥ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ**

Έναντι ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ της θεμελίωσης και στα στάδια με τα δυσμενέστερα αξονικά μεγέθη. Λαμβάνονται οι μέγιστες τάσεις που μεταβιβάζονται στο περιβάλλον έδαφος στην θέση έδρασης από τα αποτελέσματα της ανάλυσης και συγκρίνονται με την φέρουσα ικανότητα «επιφανειακής» θεμελιολωρίδας πλάτους αναλόγου της έδρασης του πλαισίου ή του θεμελίου του τοιχώματος, ώστε να εξασφαλίζεται συντελεστής ασφαλείας  $FS = 2,0$ . Στους υπολογισμούς λαμβάνονται υπόψη οι εκκεντρότητες των θεμελίων λόγω σχήματος.

#### **Ζ. ΟΙ ΔΟΚΟΙ ΠΡΟΠΟΡΕΙΑΣ**

ΕΝΑΝΤΙ ΚΑΜΨΗΣ υπολογίζοντας την μέγιστη πίεση,  $p_f$  που μπορούν να παραλάβουν οι δοκοί προπορείας βάση της πλαστικής ροπής της δοκού,  $M_{yield}$ , και συγκρίνοντας με την κατακόρυφη πίεση  $p_i$ , που ασκείται στους σωλήνες. Στον έλεγχο λαμβάνεται η μέση διατομή της εκσκαφής, δηλαδή αυτή με το μέσο υπερκείμενο, και ελέγχεται σωλήνας περί το μέσον του τόξου.

#### **Η. ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΜΕΤΩΠΟΥ ΕΚΣΚΑΦΗΣ και του ΤΕΛΙΚΟΥ ΜΕΤΩΠΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ**

Ελέγχεται το μέτωπο εκσκαφής σε κάθε διακριτές περιπτώσεις των φάσεων κατασκευής εξετάζοντας την οριακή ισορροπία εδαφικού πρίσματος που αναπτύσσεται από την χαμηλότερη στάθμη του μετώπου εκσκαφής και εκτείνεται έως την εδαφική επιφάνεια. Υπολογίζονται ο τα απαραίτητα σταθεροποιητικά μέτρα

ώστε: **FS = 1,50** σε όλα τα εξεταζόμενα στάδια. Να σημειωθεί ότι **δεν** λαμβάνεται υπόψη η ύπαρξη δοκών προπορείας στο μέτωπο κατά τον υπολογισμό της ευστάθειας του μετώπου.

## 11 ΣΗΡΑΓΓΑ ΔΙΠΛΗΣ ΤΡΟΧΙΑΣ

### 11.1 Υφιστάμενη Κατάσταση (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)

Η θέση κατασκευής της σήραγγας διπλής τροχίας βρίσκεται κατά μήκος της οδού Παναγή Τσαλδάρη και εκτείνεται από την Χ.Θ. 1+392,50 έως την Χ.Θ. 1+681,29 (αρχή Σταθμού «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ»). Η περιοχή του έργου είναι επίπεδη, χωρίς ιδιαίτερα μορφολογικά χαρακτηριστικά (πρόκειται για μία τυπική αστική περιοχή). Στην **Εικόνα 11.1** παρατίθεται η οριζοντιογραφία της περιοχής κατασκευής της σήραγγας με τα επί μέρους φρεάτια κατά μήκος αυτής.



**Εικόνα 11.1:** Οριζοντιογραφία περιοχής και θέσεις γεωτρήσεων Σήραγγας Διπλής Τροχίας. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)

### 11.2 Συνοπτική περιγραφή των προβλεπομένων έργων (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)

Η σήραγγα κατασκευάστηκε με συμβατική διάνοιξη με μηχανικά μέσα και προσωρινή αντιστήριξη σύμφωνα με τις αρχές της «Νέας Αυστριακής Μεθόδου Σηράγγων» (NATM). Το πλάτος της διατηρείται σταθερό κατά μήκος της χάραξης, ενώ το πάχος των υπερκειμένων της σήραγγας εδαφικών σχηματισμών, από την

στέψη αυτής έως την επιφάνεια του εδάφους, κυμαίνεται από 11,45 m στην Χ.Θ. 1+681,29 έως 13,75 m στην Χ.Θ. 1+392,50. Το σύστημα προσωρινής υποστήριξης κατά την διάνοιξη της σήραγγας αποτελείται, ανάλογα με την κατηγορία υποστήριξης, από συνδυασμούς εκτοξευόμενου σκυροδέματος, αγκυρίων, χαλύβδινων ή δικτυωτών πλαισίων, δοκών προπορείας και ηλώσεων μετώπου, ενώ σε κάποιες κατηγορίες εφαρμόζεται και κατασκευή ανάστροφου τόξου δαπέδου, λόγω των γεωλογικών συνθηκών που συναντήθηκαν.

### **11.3 Η Μέθοδος NATM (Αττικό Μετρό, 2007)**

#### **Α. Γενικά**

Η μέθοδος υπόγειας διάνοιξης σηράγγων με συμβατικά μηχανικά μέσα (έχει επικρατήσει να ονομάζεται μέθοδος NATM ή Νέα Αυστριακή Μέθοδος Σηράγγων) είναι η δεύτερη κατασκευαστική διαδικασία που εφαρμόζεται διεθνώς για την κατασκευή σηράγγων με υπόγεια μέθοδο διάνοιξης, μετά από αυτήν με μηχανήματα διάνοιξης σηράγγων (TBM). Στις αστικές περιοχές όπου κατασκευάζονται Μητροπολιτικοί Σιδηρόδρομοι (Μετρό) ενδιαφέρει πρωτίστως να μην διαταραχθούν οι λειτουργίες της πόλης, έστω και αν αυτό συνεπάγεται αύξηση του κόστους των έργων. Με τις υπόγειες μεθόδους κατασκευής σταθμών και σηράγγων ελαχιστοποιείται η κατάληψη χώρων στην επιφάνεια (πλατειών, οδών, ιδιωτικών οικοπέδων, κλπ), οι μετατοπίσεις αγωγών κοινής ωφελείας (νερού, ηλεκτρισμού, τηλεφώνου, κλπ), οι παρακάμψεις της οδικής κυκλοφορίας και οι αρχαιολογικές ανασκαφές.

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

## **B. Μεθοδολογία κατασκευής**

Βασική αρχή της μεθόδου αυτής είναι να διατηρηθεί η αντοχή του περιβάλλοντος στη σήραγγα εδάφους αλλά και να γίνει πλήρης αξιοποίησή της. Ελεγχόμενη παραμόρφωση του εδάφους παρουσία εύκαμπτης υποστήριξης - σε αντίθεση με τις παλαιότερες απόψεις περί «βαρειάς» υποστήριξης - επιδρά θετικά και έχει ως αποτέλεσμα την ασφαλή ανάπτυξη της αντοχής του. Πιο αναλυτικά στην υποστήριξη του υπογείου ορύγματος η μεθοδολογία μελέτης και κατασκευής είναι η ακόλουθη:

1. Αρχικά εκτελείται γεωτεχνική/γεωλογική έρευνα και δοκιμές (επί τόπου και εργαστηριακές) για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του εδάφους στην περιοχή όπου έχει σχεδιασθεί να γίνει η διάνοιξη της σήραγγας.
2. Ακολουθεί η μελέτη (υπολογισμοί και σχέδια) εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης της σήραγγας, βάσει των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών του εδάφους που προέκυψαν στο προηγούμενο στάδιο. Επίσης, γίνεται και η μελέτη της μόνιμης (τελικής) επένδυσης της σήραγγας.
3. Στη συνέχεια εκτελείται η εκσκαφή με συμβατικά μηχανικά μέσα (εκσκαφέας σημειακής κοπής, συμβατικός εκσκαφέας, κλπ, **Εικόνα 11.2**) και ενίοτε γίνεται και άμεση υποστήριξη του μετώπου εκσκαφής κατά φάσεις, ανάλογα με την ποιότητα του εδάφους.



*Εικόνα 11.2: Μηχανικός εκσκαφέας. (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό)*

4. Μετά την εκσκαφή, που γίνεται τμηματικά αναλόγως των χαρακτηριστικών των πετρωμάτων και του έργου, ακολουθεί η τοποθέτηση ενός συστήματος προσωρινής αντιστήριξης που αποτελείται από επένδυση εκτοξευομένου σκυροδέματος (gunitite), ηλοί/αγκύρια (rockbolts), σιδηρά πλαίσια, κλπ. Σε περίπτωση εδαφών με φτωχά χαρακτηριστικά πριν από την εκσκαφή τοποθετούνται δοκοί προπορείας (forepoling) σε όλη την περιοχή πάνω από το θόλο της σήραγγας σε μορφή «ομπρέλας» προστασίας του μετώπου εκσκαφής. Αρκετές φορές η εκσκαφή γίνεται σε δύο φάσεις, άνω ημιδιατομή (θόλος) και κάτω ημιδιατομή (πυθμένας). Ανάλογα με το υπέδαφος και τη γεωμετρία της σήραγγας μπορεί να χρειασθεί η εκσκαφή να γίνει και σε περισσότερες φάσεις. Η χρονική στιγμή τοποθέτησης της αρχικής αντιστήριξης καθώς και η ολοκλήρωση του πλήρους δακτυλίου της επένδυσης είναι βασικής σημασίας για τον έλεγχο των παραμορφώσεων. Το σύστημα της άμεσης υποστήριξης μαζί με το περιβάλλον έδαφος αποτελούν το στατικό φορέα της σήραγγας στη φάση αυτή. Είναι σύνηθες στο υπέδαφος

της Αθήνας να συναντούνται υπόγεια ύδατα, οπότε τότε γίνεται συστηματική άντληση κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

5. Καθ' όλη τη διάρκεια της κατασκευής γίνονται συστηματικές μετρήσεις παρακολούθησης (monitoring) της συμπεριφοράς του υπεδάφους και της προσωρινής αντιστήριξης, δηλαδή μετρώνται οι καθιζήσεις στην επιφάνεια του εδάφους και στα γειτονικά κτίρια, οι συγκλίσεις μέσα στη σήραγγα, η αυξομείωση της στάθμης του υπογείου ύδατος, κλπ. Η ασφάλεια των κτιρίων που βρίσκονται κοντά ή ακριβώς επάνω από τη χάραξη της σήραγγας είναι ένα ιδιαίτερα κρίσιμο θέμα και αντιμετωπίζεται με τη συνεχή ενόργανη παρακολούθηση αλλά και τις επί τόπου επισκέψεις των αρμοδίων μηχανικών. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συγκρίνονται με τις παραδοχές και τα αποτελέσματα της μελέτης και, εάν χρειάζεται, γίνονται οι απαραίτητες τροποποιήσεις στο σύστημα υποστήριξης και τη χρονική σειρά των εργασιών. Επίσης, τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό ή και τον έλεγχο των παραδοχών της μελέτης της μόνιμης επένδυσης της σήραγγας που θα ακολουθήσει στη συνέχεια.
6. Τέλος η τελική (μόνιμη) επένδυση της σήραγγας κατασκευάζεται όταν το σύστημα της αρχικής υποστήριξης έχει φθάσει σε συνθήκες ισορροπίας. Η μόνιμη επένδυση προσφέρει αυξημένη ασφάλεια στο χρόνο ζωής του έργου, δημιουργεί μία ομοιόμορφη εσωτερική επιφάνεια και βελτιώνει την στεγανότητά της. Η μόνιμη επένδυση των σηράγγων κατασκευάζεται απο οπλισμένο σκυρόδεμα, έγχυτο επί τόπου.

Χρησιμοποιούνται ειδικοί σιδηρότυποι, συνήθως αυτοφερόμενοι, κάτι που μειώνει σημαντικά το χρόνο και το κόστος του έργου. Υπάρχουν υδραυλικοί μοχλοί που μπορούν να ρυθμίζουν το επιθυμητό πάχος της επένδυσης. Το συνολικό μήκος τέτοιων καλουπιών είναι της τάξεως των 10-12 μ, αναλόγως της διατομής. Σε πρώτη φάση κατασκευάζεται το κάτω μέρος της σήραγγας (πυθμένας) και στους κατασκευαστικούς αρμούς τοποθετούνται ειδικοί υδατοφραγμοί (waterstop) για

υδατοστεγάνωση. Σε επόμενη φάση σκυροδετείται ο θόλος με τη χρήση του αυτοφερόμενου σιδηρότυπου.

Ο χρόνος αφαίρεσης του σιδηροτύπου είναι της τάξεως ωρών απο την έγχυση. Για την ανάπτυξη επαρκούς αντοχής του σκυροδέματος σε σύντομο χρόνο, χρησιμοποιούνται στη σύνθεση του ειδικά χημικά πρόσμεικτα. Επειδή πάντοτε απομένει μικρό κενό μεταξύ της στέψης του σκυροδέματος και του εδάφους στην οροφή της σήραγγας, ακολουθούν τσιμεντενέσεις πλήρωσης αυτών των κενών.

#### **11.4 Υδατοστεγανότητα (Αττικό μετρό 2007)**

Στις Τεχνικές Προδιαγραφές των έργων του Μετρό ορίζονται οι απαιτούμενοι βαθμοί υδατοστεγανότητας για τα διάφορα τμήματα των κατασκευών. Αρχικά στο Βασικό Έργο οι σταθμοί προδιαγράφονταν πλήρως υδατοστεγανοί, ενώ στις σήραγγες ήταν αποδεκτή η ύπαρξη περιορισμένων σημείων υγρασίας στις περιοχές κατασκευαστικών αρμών. Η βάση για την ικανοποιητική στεγάνωση των υπογείων έργων είναι πάντοτε η καλή μελέτη και κατασκευή. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην σύνθεση του σκυροδέματος, στην συμύκνωση και συντήρηση μετά τη διάστρωση, καθώς και στην επαρκή επικάλυψη του οπλισμού.

Για τις σήραγγες του Μετρό δεν απαιτείτο γενικά η τοποθέτηση υδατοστεγανούς μεμβράνης, ενώ η περιορισμένη διήθηση νερού ήταν αποδεκτή. Στις νέες όμως επεκτάσεις του Μετρό οι προδιαγραφές έγιναν ακόμη αυστηρότερες και πλέον απαιτείται η τοποθέτηση συστήματος υδατοστεγάνωσης ακόμα και στις σήραγγες του Έργου (**Εικόνα 11.3**). Σε Σταθμούς του Μετρό τυχόν διήθηση και επιφανειακές κηλίδες υγρασίας δεν είναι αποδεκτές καθόσον εκεί στεγάζονται αίθουσες επιβατών ή προσωπικού, χώροι μηχανημάτων και ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων, αρχιτεκτονικά τελειώματα, κλπ. Για να διασφαλιστεί αυτό χρησιμοποιούνται συστήματα υδατοστεγάνωσης με υλικά και εργασία κατάλληλης ποιότητας.

Οι υδατοστεγανωτικές μεμβράνες είναι συνήθως από PVC ή απο πολυαιθυλένιο και τοποθετούνται μεταξύ της προσωρινής και της οριστικής επένδυσης της σήραγγας, προστατευόμενες με γεωφάσματα.





**Εικόνα 11.3:** Σύστημα υδατοστεγάνωσης στη σήραγγα διπλής τροχιάς του έργου. (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό)

Τα τμήματα (ρολά) των μεμβρανών συγκολλούνται μεταξύ τους με κατάλληλο τρόπο, ενώ στις θέσεις των αρμών της κατασκευής (διακοπής σκυροδέτησης ή αρμού μετακίνησης) τοποθετούνται υδατοφραγμοί. Όλα τα υλικά υπόκεινται σε δοκιμές τοποθετημένα επί τόπου στο έργο και ακολουθούν τις Γερμανικές προδιαγραφές DS 853 και DIN 16726.

### **11.5 Σχεδιασμός προσωρινής αντιστήριξης** (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007)

Τα προσωρινό σύστημα αντιστήριξης στη σήραγγα διπλής τροχιάς, σχεδιάστηκε έτσι ώστε:

- Να περιορισθούν οι μετακινήσεις σε τιμές μικρότερες των μεγίστων επιτρεπομένων.
- Να εξασφαλίζονται ικανοποιητικές συνθήκες ευστάθειας έναντι γενικής θραύσης του εδάφους.

Ταυτόχρονα καταβλήθηκε προσπάθεια ώστε να μην διαφοροποιείται το σύστημα προσωρινής υποστήριξης σημαντικά, κατά μήκος της σήραγγας, ακόμα και σε ότι

αφορά τα επί μέρους γεωμετρικά χαρακτηριστικά του, αποφεύγοντας ενδεχόμενη υπερδιαστασιολόγηση. Το βασικότερο κριτήριο σχεδιασμού της προσωρινής υποστήριξης ήταν ο περιορισμός των παραμορφώσεων που πιθανόν να προέκυπταν κατά τη διάνοιξη της σήραγγας.

Οι μέγιστες επιτρεπόμενες μετακινήσεις / παραμορφώσεις σύμφωνα με το σχεδιασμό του έργου είναι:

α) Μέγιστη Καθίζηση Εδάφους,  $\delta_v \max < 25\text{mm}$

β) Μέγιστη Γωνιακή Παραμόρφωση,  $\delta_{\gamma \max} < 1:600$

γ) Μέγιστη Οριζόντια Μετακίνηση,  $\delta_{h \max} < 0,25\% H$

Οι τιμές αυτές ισχύουν για «κανονικές» κατασκευές, που δεν είναι δομημένες από τοιχοποιία, αργολιθοδομή ή παρόμοια δομή, δεν έχουν καταπονηθεί και δεν εμπίπτουν στην κατηγορία του μνημείου ή των μεγάλης κλίμακας δημοσίων έργων (π.χ. γέφυρες, αποχετευτικά συστήματα μεγάλης διατομής κλπ.).

Για τον έλεγχο της προσωρινής υποστήριξης της σήραγγας χρησιμοποιήθηκε στους υπολογισμούς κατανεμημένο φορτίο 15 kPa στην επιφάνεια του εδάφους, και τα αντίστοιχα φορτία των κτιρίων που βρίσκονται στην περιοχή της ζώνης επιρροής της σήραγγας (σε απόσταση τριών διαμέτρων (3D) από τον άξονα αυτής). Τα φορτία αυτά είναι 10 kPa για κάθε όροφο των κτιρίων και 15 kPa για κάθε υπόγειο. Έγιναν και αναλύσεις με κατανεμημένο φορτίο 50 kPa, το οποίο αντιστοιχεί σε τετραόροφο κτίριο. Η φόρτιση αυτή αφορά στις μόνιμες επενδύσεις και όχι στις προσωρινές.

Πλέον των παραπάνω, έγιναν και αναλύσεις με την επιβολή αυξημένου φορτίου υπερκειμένων γαιών έως και κατά 50% (ιδιαίτερα συντηρητική παραδοχή) για την προσομοίωση του τρισδιάστατου φαινομένου στην περιοχή της ένωσης της σήραγγας διπλής τροχιάς με τον θάλαμο πρόσβασης και την ένωση με το ανατολικό φρέαρ αερισμού.

### **11.5.1 Μεθοδολογία σχεδιασμού προσωρινής αντιστήριξης της σήραγγας**

Ο σχεδιασμός των υπογείων έργων μπορεί να γίνει με τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις:

*ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ  
ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)*

- i) Χρήση Εμπειρικών Συστημάτων Ταξινόμησης Βραχομάζας και Υποστήριξης Υπογείων Εκσκαφών (RMR, Q, RSR, NATM),
- ii) Χρήση Αναλυτικών Μεθόδων που βασίζονται σε Εξισώσεις Κλειστής Μορφής (Kastner, Duncan Famma, Caranza-Torres, Panet)
- iii) Χρήση Αριθμητικών Μεθόδων (Μέθοδοι Πεπερασμένων Στοιχείων, Πεπερασμένων Διαφορών, Διακριτών Στοιχείων).

Στο συγκεκριμένο τμήμα του έργου εφαρμόστηκαν και οι τρεις παραπάνω προσεγγίσεις. Τα πλέον συνήθη συστήματα ταξινόμησης κατά RMR και Q, συνιστούν μέτρα υποστήριξης για σήραγγες που διανοίγονται με συμβατικές μεθόδους (drill + blast) και ουσιαστικά αποτελούν «εμπειρικές μεθόδους» εκτίμησης μέτρων υποστήριξης υπόγειων ανοιγμάτων. Στην μελέτη για τη σήραγγα διπλής τροχιάς ελέγχθηκαν τα «προτεινόμενα» κατά RMR και Q μέτρα υποστήριξης και συνεκτιμήθηκαν με βάση τα αποτελέσματα αναλυτικών και αριθμητικών μεθόδων, για την τελική επιλογή τους. Επίσης χρησιμοποιήθηκε και η ποιοτική περιγραφή βραχομάζας κατά NATM και συνεκτιμήθηκαν τα προτεινόμενα μέτρα υποστήριξης.

### 11.5.2 Κριτήρια Σχεδιασμού - Παραδοχές

Η παραλαβή των εξασκουμένων φορτίων από την βραχομάζα επιτυγχάνεται από την άμεση υποστήριξη με την έγκαιρη τοποθέτηση των στοιχείων ή συνδυασμών στοιχείων που την αποτελούν, έτσι ώστε τελικά οι μετακινήσεις να περιορίζονται σε επιθυμητά – ανεκτά όρια. Γενικά, οι μέγιστες παραμορφώσεις του περιβάλλοντος μέσου, κατά τη χρονική στιγμή εφαρμογής της υποστήριξης, πρέπει να είναι συμβατές με τις μέγιστες παραμορφώσεις που μπορεί να αναπτυχθούν στον «δακτύλιο» υποστήριξης. Από πρακτικής πλευράς, ως ανεκτές παραμορφώσεις για το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με πλέγμα και για τα πλαίσια θεωρούνται τα 25 mm και 30 mm, αντίστοιχα. Στις αναλύσεις έγιναν οι ακόλουθες παραδοχές:

- Βαρυτικό πεδίο τάσεων με  $\sigma_v = \gamma \times h$ , όπου  $\gamma$  το φαινόμενο βάρος και  $h$  το ύψος της κάθε στρωματογραφικής ενότητας των υπερκειμένων της σήραγγας γεωυλικών,

- Ο συντελεστής  $K_0 = \sigma_v / \sigma_h$  εκτιμήθηκε συντηρητικά  $K_0 = 0,50 \div 0,70$  για το σώμα της σήραγγας με μέση τιμή σχεδιασμού  $K_0 = 0,60$ .
- Χρησιμοποιήθηκαν τα κριτήρια αστοχίας Mohr – Coulomb και Hoek and Brown,
- Το μέγιστο ύψος (H) των υπερκειμένων, για το οποίο έγινε ο σχεδιασμός των μέτρων υποστήριξης, κυμαίνεται περί τα 10,0 m ÷ 12,00 m πάνω από την οροφή της σήραγγας. Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν οι γεωτεχνικές παράμετροι που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο X για τα γεωτεχνικά προσομοιώματα Da1, Da2, Da3, Db, Dc1, Dc2.

### 11.5.3 Γεωμετρία υπόγειας εκσκαφής

Σε γενικές γραμμές οι Τυπικές Διατομές Άμεσης Υποστήριξης I και II είναι **σταθερής γεωμετρίας** κατά το μήκος διάνοιξής τους ενώ η Τυπική Διατομή Άμεσης Υποστήριξης III είναι **μεταβλητής γεωμετρίας** λόγω της κατασκευής των δοκών προπορείας («χοανοειδής» διατομή).

Το άνω μέρος του θόλου είναι ημικύκλιο, εξωτερικής ακτίνας  $R_1 = 4,92 \div 5,04$  m. Το υπόλοιπο τμήμα της διατομής – βαθμίδα είναι περίπου ορθογωνικό πλάτους 9,90 m ÷ 10,04 m και ύψους 3,27 m ÷ 3,44 m. Η μόνιμη επένδυση έχει το ίδιο πάχος, 40 cm. Εξαίρεση αποτελεί η Τυπική Διατομή Άμεσης Υποστήριξης III η οποία και έχει πάχος μόνιμης επένδυσης 60 cm, και κατά συνέπεια η γεωμετρία της προσωρινής αντιστήριξης είναι αυξημένη κατά 20 cm από τις προαναφερόμενες τιμές. Το αναγκαίο πάχος της άμεσης υποστήριξης εκτιμήθηκε σε 0,15 m ÷ 0,30 m και η συμβατική σύγκλιση σε 0,07 m ÷ 0,10 m, ενώ δόθηκε επιπλέον κατασκευαστική ανοχή 0,05 m. Η Α΄ Φάση εκσκαφής αφορά στο άνω τμήμα της διατομής, που είναι ημικυκλικό, και στη συνέχεια ακολουθεί η Β΄ Φάση εκσκαφής, η οποία έχει στρογγυλευμένο ορθογωνικό σχήμα με οριζόντιο άνοιγμα ίσο με το άνοιγμα του άνω τμήματος.

#### 11.5.4 Μηχανισμοί αστοχίας οροφής και παρειών

Οι αστάθειες που παρατηρούνται κατά τη διάνοιξη υπογείων έργων με χαρακτηριστικά και συνθήκες παρόμοιες με αυτές του συγκεκριμένου έργου, μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο, κυρίως, κατηγορίες:

- Αστάθειες που οφείλονται σε μετακινήσεις, δομικώς ή επιγενώς διακριτών τμημάτων της βραχομάζας, λόγω του ίδιου βάρους (σφήνες, πρίσματα).
- Αστάθειες που οφείλονται σε παραμορφώσεις της βραχομάζας λόγω διαφοροποίησης (μεταβολής) του πεδίου τάσεων (ανακατανομή τάσεων) στην περιοχή της σήραγγας κατά τη διάρκεια και μετά την εκσκαφή αυτής.

Κατά συνέπεια, τα μέτρα άμεσης υποστήριξης, για τις συγκεκριμένες κατηγορίες πετρώματος, υπολογίσθηκαν έτσι ώστε να διασφαλίζεται η ευστάθεια της εκσκαφής, τόσο για τυχόν «αποσφηνώσεις» όσο και για τις παραμορφώσεις της βραχομάζας λόγω της μεταβολής του εντατικού πεδίου.

#### 11.6 Επιλογή μέτρων άμεσης υποστήριξης (*Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007*)

Στη διαδικασία επιλογής του κατάλληλου συστήματος άμεσης υποστήριξης, ανά κατηγορία βραχομάζας της σήραγγας, απαιτήθηκε μία αρχική εκτίμηση των μέτρων άμεσης υποστήριξης, τα οποία ελέγχθηκαν για την επάρκειά τους με την εκτέλεση των αναγκαίων υπολογισμών και, όπου απαιτήθηκε, αναμορφώθηκαν έτσι ώστε, τελικά, το επιλεγέν σύστημα μέτρων υποστήριξης να καλύπτει επαρκώς τις απαιτήσεις του έργου. Για την επιλογή του συστήματος μέτρων υποστήριξης ελήφθησαν υπ' όψη τα ακόλουθα:

- Η σειρά οδηγιών, που εξέδωσε ο Bieniawski (1989), για τη διάνοιξη και υποστήριξη σήραγγας πεταλοειδούς διατομής, ανοίγματος 10 m, σε βράχο με χρήση εκρηκτικών, σε πεδίο κατακορύφων τάσεων μικροτέρων των 25 MPa (ή επικάλυψη < 900 m), για διάφορες κατηγορίες βραχομάζας. Αυτές οι βασικές παραδοχές ισχύουν καταρχήν, και για την υπό μελέτη σήραγγα.

- Η μέθοδος επιλογής μέτρων προσωρινής και μόνιμης υποστήριξης υπογείων εκσκαφών, που πρότεινε ο Barton (1974) στα πλαίσια της παρουσίασης του συστήματος κατάταξης Q, η οποία βασίζεται σε επιλογή τιμών παραμέτρων των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών του πετρώματος, όπως αυτά υπολογίζονται από το σύστημα Q, με χρήση σχετικών διαγραμμάτων και πινάκων. Οι βασικές αρχές υπολογισμού του συστήματος υποστήριξης αναθεωρήθηκαν (1989) και αποτέλεσαν σημαντικό στοιχείο για την εκτίμηση των μέτρων υποστήριξης της υπό μελέτη σήραγγας.
- Τα μέτρα υποστήριξης ανάλογα με την ποιοτική περιγραφή της βραχομάζας κατά τη Νέα Αυστριακή Μέθοδο Σηράγγων (NATM).
- Η Γενική Οριστική Μελέτη της ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.

### **11.7 Τυπικές διατομές άμεσης υποστήριξης σήραγγας** (*Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007*)

Κατά τις αναλύσεις της εκσκαφής και της άμεσης υποστήριξης των τυπικών διατομών της σήραγγας, χρησιμοποιήθηκαν οι δυσμενέστεροι συνδυασμοί των γεωτεχνικών συνθηκών με το αντίστοιχο μέγιστο ύψος υπερκειμένων. Οι απαιτήσεις, κατά την ανάλυση της άμεσης υποστήριξης της διατομής, σε κατάσταση λειτουργίας είναι:

- Οι συγκλίσεις του τοιχώματος να είναι εντός των αποδεκτών ορίων.
- Η έκταση της πλαστικής ζώνης της περιβάλλουσας βραχομάζας να είναι περιορισμένη.
- Το ποσοστό των αγκυρίων, που φθάνουν στο φορτίο διαρροής, να μην υπερβαίνει το 20% (απαίτηση συντελεστή ασφαλείας  $> 1,30$  για την άμεση υποστήριξη).
- Να μην υπάρξουν διαρροές από τον δακτύλιο του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, καθώς δεν διαθέτει τη δυνατότητα αναδιανομής της έντασης, σε περίπτωση ανάπτυξης πλαστικής άρθρωσης.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των γεωλογικών εργασιών και των γεωτεχνικών ερευνών, ο κατακερματισμός της «βραχομάζας» της περιοχής του έργου δεν επιτρέπει

τον σχηματισμό σφηνών μεγάλου μεγέθους. Παρ' όλα αυτά, η διενέργεια επιπρόσθετων μετρήσεων των ασυνεχειών της βραχομάζας, κατά τη διάρκεια της κατασκευής του έργου, εντός της σήραγγας κρίθηκε σκόπιμη προκειμένου να εξασφαλισθεί ότι δεν θα σχηματισθούν επισφαλείς όγκοι βραχομάζας εντός της σήραγγας, οι οποίοι δεν ήταν δυνατόν να προσδιορισθούν από τις ήδη εκτελεσθείσες επιφανειακές μετρήσεις. Οι αναλύσεις της εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης της σήραγγας έγιναν μόνο για στατική φόρτιση, χωρίς να ληφθεί υπ' όψη σεισμική επιφόρτιση για τους εξής λόγους:

- Η φορτική κατάσταση είναι προσωρινή και συνεπώς, στο μικρό χρονικό διάστημα της κατασκευής του έργου η πιθανότητα εκδήλωσης ισχυρού σεισμού είναι μικρή.
- Η επιφόρτιση της επένδυσης της σήραγγας, λόγω σεισμού, είναι μικρή εν γένει και συνήθως δεν είναι κρίσιμη για το σχεδιασμό της. Κατά την διάνοιξη της σήραγγας, χρησιμοποιούνται τρεις τυπικές διατομές εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης (Τυπική Διατομή Άμεσης Υποστήριξης I, II, III), οι οποίες περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.

#### **11.7.1 Τυπική διατομή εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης I**

Το μήκος εφαρμογής της είναι σε συνολικό μήκος περίπου 20 m στην περιοχή του γεωτεχνικού προσομοιώματος Da1 από την Χ.Θ. 1+530 έως την Χ.Θ. 1+565, όπου και εντοπίστηκε η καλύτερη ποιότητα βραχομάζας. Σε γενικές γραμμές η τυπική αυτή διατομή εφαρμόζεται σε ποιότητα βραχομάζας  $GSI = 50 \div 70$  διατομή αυτή εφαρμόστηκε και στην περιοχή του γεωτεχνικού προσομοιώματος Db από την Χ.Θ.1+392,50 έως την Χ.Θ. 1+ 530,00 όπου εντοπίστηκε καλής ποιότητας βραχομάζα με εύρη τιμών  $GSI = 40 \div 70$ . διάνοιξη  $GSI = 40 \div 70$ .

Η διατομή εφαρμόστηκε στην περιοχή αυτή όπου κατά τη διάνοιξη βρέθηκε βραχομάζα πολύ καλής ποιότητας με εύρη τιμών  $GSI = 50 \div 70$ . Στην περιοχή αυτή το μήκος εφαρμογής της έφτασε περίπου τα 50 m. Το ύψος των υπερκειμένων κυμαίνεται από 10 m έως 12 m και δεν υπάρχει διαφοροποίηση καθ'όλο το μήκος

εφαρμογής της. Η διατομή αυτή δεν εφαρμόστηκε πέρα της Χ.Θ. 1+565 και μέσα στο γεωτεχνικό προσομοίωμα Da2.

### 11.7.2 Τυπική διατομή εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης II

Το μήκος εφαρμογής της είναι σε συνολικό μήκος περίπου 20 m στην περιοχή του γεωτεχνικού προσομοιώματος Da2 από την Χ.Θ. 1+565 έως την Χ.Θ. 1+590, όπου και έχει εντοπιστεί η καλύτερη ποιότητα βραχομάζας στη περιοχή της Α΄ Φάσης εκσκαφής. Σε γενικές γραμμές η τυπική αυτή διατομή εφαρμόζεται σε ποιότητα βραχομάζας  $GSI = 40 \div 50$ .

### 11.7.3 Τυπική διατομή εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης III

Το μήκος εφαρμογής της είναι σε συνολικό μήκος περίπου 15 m στην περιοχή του γεωτεχνικού προσομοιώματος Da3 από την Χ.Θ. 1+591 έως την Χ.Θ. 1+600, όπου και εντοπίστηκε η καλύτερη μεν ποιότητα βραχομάζας στη περιοχή της Α΄ Φάσης εκσκαφής, αλλά η κάτω ημιδιατομή της Α΄ Φάσης και ολόκληρη η Β΄ Φάση βρίσκεται στον τεκτονισμένο μεταψαμμίτη.

Εφαρμόστηκε επίσης σε συνολικό μήκος περίπου 60 m στην περιοχή του γεωτεχνικού προσομοιώματος Dc1 από την Χ.Θ. 1+600 έως την Χ.Θ. 1+660, όπου και εντοπίστηκε καλή μεν ποιότητα βραχομάζας στη περιοχή της άνω ημιδιατομής της Α΄ Φάσης εκσκαφής, αλλά η κάτω ημιδιατομή της Α΄ Φάσης και ολόκληρη η Β΄ Φάση βρίσκεται στον τεκτονισμένο μεταψαμμίτη, ενώ κάτω από το τελικό δάπεδο της σήραγγας αναδύει και ο ασθενής αργιλικός σχιστόλιθος.

Τέλος, εφαρμόστηκε και σε συνολικό μήκος περίπου 21 m στην περιοχή του γεωτεχνικού προσομοιώματος Dc2 από την Χ.Θ. 1+660 έως την Χ.Θ. 1+681.29 όπου και η σήραγγα διανοίχθηκε στη περιοχή της άνω ημιδιατομής της Α΄ Φάσης εκσκαφής στον τεκτονισμένο μεταψαμμίτη, αλλά η κάτω ημιδιατομή της Α΄ Φάσης και ολόκληρη η Β΄ Φάση διανοίχθηκε στον ασθενή αργιλικό σχιστόλιθο. Εκτός των περιοχών αυτών εφαρμόστηκε και για δύο μήκη των τριών μέτρων εκατέρωθεν του θαλάμου πρόσβασης εντός του γεωτεχνικού προσομοιώματος Da1. Σε γενικές γραμμές η τυπική αυτή διατομή εφαρμόζεται σε ποιότητα βραχομάζας  $GSI = 15 \div 40$ . Η Τυπική Διατομή Άμεσης Υποστήριξης III χωρίζεται σε τέσσερις υποκατηγορίες:



1. Η Τυπική διατομή άμεσης υποστήριξης IIIα, η οποία και δεν περιέχει την κατασκευή των τσιμεντέσεων ή μικροπασσάλων στην περιοχή τις διευρυμένης εδρασης τις πεδιλοδοκού, και η οποία εφαρμόστηκε στις περιοχές που η ποιότητα τις βραχομάζας είναι στο εύρος τιμών βραχομάζας  $GSI = 15 \div 40$  καθώς και στην περιοχή εκατέρωθεν του θαλάμου πρόσβασης.
2. Η τυπική διατομή άμεσης υποστήριξης IIIβ, η οποία και περιέχει την κατασκευή τσιμεντέσεων ενίσχυσης θεμελίωσης στην περιοχή τις διευρυμένης εδρασης τις πεδιλοδοκού, και η οποία εφαρμόστηκε τις περιοχές που η ποιότητα τις βραχομάζας είναι στο εύρος τιμών βραχομάζας  $GSI < 15$ , συναρτήση πάντα με τα αποτελέσματα τις δομητικής παρακολούθησης.
3. Η Τυπική διατομή άμεσης υποστήριξης IIIγ, η οποία και είναι διευρυμένης διατομής η οποία περιείχε την κατασκευή των ενεμάτων στην περιοχή τις διευρυμένης εδρασης τις πεδιλοδοκού, αναλόγως με το εύρος τιμών τις ποιότητας τις βραχομάζας ( $GSI < 15$  με τσιμεντέσεις ή μικροπασσάλους –  $GSI = 15 \div 40$  χωρίς τσιμεντέσεις ή μικροπασσάλους).
4. Η Τυπική διατομή άμεσης υποστήριξης IIIδ, η οποία και περιείχε την κατασκευή των μικροπασσάλων στην περιοχή τις διευρυμένης εδρασης τις πεδιλοδοκού, και η οποία τις και έχει προαναφερθεί εφαρμόζεται τις περιοχές που η ποιότητα τις βραχομάζας είναι στο εύρος τιμών βραχομάζας  $GSI < 15$ , συνάρτηση πάντα των αποτελεσμάτων τις δομητικής παρακολούθησης.

Πρέπει να αναφερθεί ότι στη σήραγγα διπλής τροχιάς από τις υποκατηγορίες τις τυπικής διατομής III εφαρμόστηκε μόνο η τυπική διατομή IIIα διότι κατά τη διάρκεια της κατασκευής δεν συναντήθηκαν συνθήκες δυσμενέστερες από αυτές που προέβλεπε η συγκεκριμένη υποκατηγορία. Οι άλλες τρεις υποκατηγορίες αφορούν σε δυσμενέστερες συνθήκες από εκείνες της υποκατηγορίας IIIα. Για λόγους πληρότητας αναφέρονται και οι 4 υποκατηγορίες της τυπικής διατομής III.

### 11.8 Μεθοδολογία εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)

Η άμεση υποστήριξη της εκσκαφής των σιηράγγων εγκαθίσταται κατά τρόπο ώστε να ενεργοποιείται, κατά το πλείστον, η αντοχή της περιβάλλουσας βραχομάζας και τα φορτία των υπερκειμένων γαιών να αναλαμβάνονται, στο μεγαλύτερό τους ποσοστό, από το τόξο γεωυλικού, χωρίς σημαντική επιβάρυνση των μέτρων της άμεσης υποστήριξης της διατομής.

Στην προκειμένη περίπτωση, όμως, οι βραχώδεις σχηματισμοί της περιοχής επέβαλλαν, όπως προαναφέρθηκε, την όσο το δυνατόν γρηγορότερη εφαρμογή των μέτρων υποστήριξης, προς αποφυγή χαλάρωσης της βραχομάζας, που θα μπορούσε να οδηγήσει σε καταπτώσεις σχηματιζόμενων σφηνών στο θόλο και στις παρειές της σήραγγας. Η άμεση υποστήριξη της σήραγγας κατασκευάζεται σε μικρό χρονικό διάστημα μετά από την εκσκαφή κάθε βήματος ώστε η ενίσχυση του εδάφους να πραγματοποιείται πριν από την πλήρη αποτόνωση των γεωστατικών τάσεων και την κινητική ενεργοποίηση των σχηματιζόμενων σφηνών.

Τα εκτιμώμενα βήματα εκσκαφής σε κάθε φάση για την κάθε μία τυπική διατομή μελέτης της σήραγγας αναφέρονται στον **Πίνακα 11.1**.

**Πίνακας 11.1: Βήμα εκσκαφής (σε m).** (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)

ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	ΦΑΣΗ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	
	A'	B'
Τυπική Διατομή I	2.00	4.00
Τυπική Διατομή II	1.50	3.00
Τυπική Διατομή IIIα	1.00	2.00
Τυπική Διατομή IIIβ	1.00	2.00
Τυπική Διατομή IIIγ	1.00	2.00
Τυπική Διατομή IIIδ	1.00	2.00

Θα πρέπει να επισημανθεί, αναφορικά με τις Τυπικές Διατομές Άμεσης Υποστήριξης, ότι η Β' Φάση εκσκαφής και υποστήριξης ολοκληρώνεται μετά την

ολοκλήρωση της διάνοιξης της Α΄ Φάσης σε όλο το μήκος εφαρμογής της, ακόμα και μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα από την ολοκλήρωση της διάνοιξης της Α΄ Φάσης της Σήραγγας Διπλής Τροχιάς.

Η εφαρμογή της άμεσης υποστήριξης της διατομής εκτελείται με την παρακάτω αλληλουχία εργασιών:

#### **11.8.1 Μεθοδολογία κατασκευής άμεσης υποστήριξης τυπικής διατομής I**

- i. Εκσκαφή Α΄ Φάσης. Η εκσκαφή της Α΄ Φάσης μπορεί να γίνει μέχρι το υψόμετρο του ανοιχτού οριζώντιου πυθμένα.
- ii. Εφαρμογή πρώτης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος με  $40 \text{ kg/m}^3$  μεταλλικές ίνες (περίπου 5 cm) αμέσως μετά την εκσκαφή της διατομής. Εάν οι επί τόπου συνθήκες το καθιστούν αναγκαίο, «σφράγισμα» και του μετώπου με ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα επαρκούς πάχους (περίπου 5 cm) για την προσωρινή σταθεροποίηση του «καθρέπτη» και ασφαλή εργασία του προσωπικού (όπου και αν απαιτηθεί) .
- iii. Τοποθέτηση του συνόλου των αγκυρίων αμέσως μετά το βήμα (ii). Την διάτρηση και τοποθέτηση των αγκυρίων ακολουθεί η πλήρωσή τους με τσιμεντένεμα. Η τοποθέτηση των περικοχλίων και το σφίξιμο των τελευταίων θα συντελεστεί μετά την στερεοποίηση του τσιμεντενέματος και πριν την εφαρμογή της τελικής στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος.
- iv. Κατασκευή των αποστραγγιστικών οπών στο θόλο της σήραγγας
- v. Διάτρηση ανακουφιστικών οπών στο εκτοξευμένο σκυρόδεμα βάθους 0,50 m ÷ 1,0 m σε κάρναβο 4,0 m x 4,0 m.
- vi. Εφαρμογή δεύτερης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm αμέσως μετά το βήμα (iv) και κάλυψη των αγκυρώσεων. Τοποθέτηση μίας στρώσης δομικού πλέγματος T188 στο κάτω τμήμα της παρειάς της Α΄ φάσης και εξασφάλιση αναμονών με ράβδους οπλισμού Φ12/15 συνολικού μήκους

- 2,0 m (1,0 m στην επένδυση της Α΄ Φάσης και 1,0 m αναμονή για την επένδυση της Β΄ Φάσης). Οι ράβδοι μπορούν να λυγίσουν στον ανοιχτό οριζόντιο πυθμένα.
- vii. Εφαρμογή τρίτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm αμέσως μετά το βήμα (vi). Τοποθέτηση μίας στρώσης δομικού πλέγματος T188 στο κάτω τμήμα της παρειάς της Α΄ Φάσης και εξασφάλιση αναμονών με ράβδους οπλισμού Φ12/15 συνολικού μήκους 2,0 m (1,0 m στην επένδυση της Α΄ Φάσης και 1,0 m αναμονή για την επένδυση της Β΄ Φάσης). Οι ράβδοι μπορούν να λυγίσουν στον ανοιχτό οριζόντιο πυθμένα.
- viii. Εκσκαφή Β΄ Φάσης. Η εκσκαφή της Β΄ Φάσης γίνεται μετά την ολοκλήρωση της Α΄ Φάσης σε όλο το μήκος της σήραγγας και σε μεταγενέστερο χρονικό διάστημα (ολοκλήρωση Α΄ και Β΄ Φάσης εκσκαφής της σήραγγας διπλής τροχιάς).
- ix. Εφαρμογή πρώτης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος με  $40 \text{ kg/m}^3$  μεταλλικές ίνες (περίπου 5 cm) αμέσως μετά την εκσκαφή της διατομής
- x. Εφαρμογή δεύτερης στρώσης οπλισμένου με μία στρώση δομικού πλέγματος T188 εκτοξευόμενου σκυροδέματος (περίπου 0,10 m) αμέσως μετά το βήμα (vii). Το δομικό πλέγμα T188 θα δεθεί με τις αναμονές του σιδηροπλισμού Φ12/15.
- xi. Εφαρμογή τρίτης στρώσης οπλισμένου με μία στρώση δομικού πλέγματος T188 εκτοξευόμενου σκυροδέματος (περίπου 0,5 m) αμέσως μετά το βήμα (x). Το δομικό πλέγμα T188 δένεται με τις αναμονές του σιδηροπλισμού Φ12/15.

### **11.8.2 Μεθοδολογία κατασκευής άμεσης υποστήριξης τυπικής διατομής II**

- i. Εκσκαφή Α΄ Φάσης. Η εκσκαφή της Α΄ Φάσης μπορεί να γίνει μέχρι το υψόμετρο του ανοιχτού οριζόντιου πυθμένα.

- ii. Εφαρμογή πρώτης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος με  $40\text{kg/m}^3$  μεταλλικές ίνες (περίπου 5 cm) αμέσως μετά την εκσκαφή της διατομής. Εάν οι επί τόπου συνθήκες το καθιστούν αναγκαίο, «σφράγισμα» και του μετώπου με ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα επαρκούς πάχους (περίπου 5 cm) για την προσωρινή σταθεροποίηση του «καθρέπτη» και ασφαλή εργασία του προσωπικού (όπου και αν απαιτηθεί) .
- iii. Τοποθέτηση και σφήνωση των χαλύβδινων δικτυωτών πλαισίων αμέσως μετά το βήμα (ii). Συνήθης πρακτική είναι η αρχική ένωση και των τριών τμημάτων του πλαισίου και το εν συνεχεία σήκωμά τους και η σύνδεση και στήριξη του πλαισίου με το προηγούμενο πλαίσιο με διαδοκίδες. Η έδραση των πλαισίων πραγματοποιείται ταυτόχρονα με την κατασκευή διαμήκους οπλισμένης πεδιλοδοκού (elephant foot). Η έδραση των πλαισίων γίνεται με τρόπο που να επιτρέπει την «ανεύρεση» των αναμονών του σιδηροπλισμού Φ12/15, που χρησιμοποιούνται για την σύνδεση με τον προσωρινό ανάστροφο πυθμένα και στη συνέχεια με τις παρειές κατά την Β΄ Φάση εκσκαφής και αντιστήριξης.
- iv. Εφαρμογή δεύτερης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 cm αμέσως μετά το βήμα (iii). Τοποθέτηση μίας στρώσης δομικού πλέγματος T188 στο κάτω τμήμα της παρειάς της Α΄ Φάσης και των πεδιλοδοκών και εξασφάλιση αναμονών σιδηροπλισμού Φ12/15 συνολικού μήκους 2,0 m (1,0 m στην επένδυση της Α΄ Φάσης εντός της πεδιλοδοκού και 1,0 m αναμονή για την επένδυση του προσωρινού ανάστρου πυθμένα και εν συνεχείας της Β΄ Φάσης) τα οποία χρησιμοποιούνται για την σύνδεση με τον προσωρινό ανάστροφο πυθμένα και εν συνεχεία με τις παρειές κατά την Β΄ Φάση εκσκαφής και αντιστήριξης. Ο σιδηροπλισμός μπορεί να λυγίσει στον ανοιχτό οριζόντιο πυθμένα.
- v. Τοποθέτηση του συνόλου των αγκυρίων αμέσως μετά το βήμα (iv). Την διάτρηση και τοποθέτηση των αγκυρίων ακολουθεί η πλήρωσή τους με τσιμεντένεμα. Η τοποθέτηση των περικοχλίων και το σφίξιμο των τελευταίων πραγματοποιείται μετά την στερεοποίηση του τσιμεντενέματος και πριν την εφαρμογή της τελικής στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

- vi. Κατασκευή των αποστραγγιστικών οπών στο θόλο της σήραγγας.
- vii. Διάτρηση ανακουφιστικών οπών στο εκτοξευμένο σκυρόδεμα βάθους 0,50 m ÷ 1,0 m σε κάρναβο 4,0 m x 4,0 m.
- viii. Εφαρμογή τρίτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm αμέσως μετά το βήμα (vi) και κάλυψη των αγκυρώσεων. Τοποθέτηση μίας στρώσης δομικού πλέγματος T188 στο κάτω τμήμα της παρειάς της Α΄ Φάσης και εξασφάλιση αναμονών σιδηροπλισμού Φ12/15 συνολικού μήκους 2,0 m (1,0 m στην επένδυση της Α΄ Φάσης εντός της πεδילוδοκού και 1,0 m αναμονή για την επένδυση του προσωρινού ανάστροφου πυθμένα και εν συνεχείας της Β΄ φάσης), τα οποία χρησιμοποιούνται για την σύνδεση με το δομικό πλέγμα του προσωρινού ανάστροφου πυθμένα και εν συνεχείας με τις παρειές κατά την Β΄ Φάση εκσκαφής και αντιστήριξης. Ο σιδηροπλισμός μπορεί να λυγίσει στον ανοιχτό οριζόντιο πυθμένα.
- ix. Εκσκαφή του προσωρινού ανάστροφου τόξου πυθμένα και κλείσιμο του δαπέδου με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα δύο στρώσεων, πάχους 15 cm και 10 cm και οπλισμένων με δομικό πλέγμα T188 ή κάθε μία. Και οι δύο στρώσεις ενώνονται με τις αναμονές του σιδηροπλισμού Φ12/15 των πεδילוδοκών.
- x. Κάλυψη του δαπέδου με προϊόντα εκσκαφής για την προστασία του και δημιουργία δαπέδου εργασίας.
- xi. Εκσκαφή Β΄ Φάσης. Η εκσκαφή της Β΄ Φάσης γίνεται μετά την ολοκλήρωση της Α΄ Φάσης σε όλο το μήκος της σήραγγας και σε μεταγενέστερο χρονικό διάστημα (ολοκλήρωση Α΄ και Β΄ Φάσης εκσκαφής της σήραγγας διπλής τροχιάς).
- xii. Εφαρμογή πρώτης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος με 40kg/m<sup>3</sup> μεταλλικές ίνες (περίπου 5 cm) αμέσως μετά την εκσκαφή της διατομής
- xiii. Εφαρμογή δεύτερης στρώσης οπλισμένου με μία στρώση δομικού πλέγματος T188 εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 cm αμέσως μετά το βήμα (xii). Το δομικό πλέγμα T188 δένετε με τις αναμονές του σιδηροπλισμού Φ12/15 το οποίο και πρέπει να «διασωθεί» κατά το σπάσιμο του προσωρινού πυθμένα.

- xiv. Εφαρμογή τρίτης στρώσης οπλισμένου με μία στρώση δομικού πλέγματος T188 εκτοξευόμενου σκυροδέματος 5 cm αμέσως μετά το βήμα (xiii). Το δομικό πλέγμα T188 δένεται με τις αναμονές του σιδηροοπλισμού Φ12/15 το οποίο και πρέπει να «διασωθεί» κατά το σπάσιμο του προσωρινού πυθμένα

### **11.8.3 Μεθοδολογία κατασκευής άμεσης υποστήριξης τυπικής διατομής III**

- i. Κατασκευή δοκών προπορείας (ανά 8,0 m προχώρησης της Α΄ Φάσης) στο ήδη διαμορφωμένο μετωπικό πρανές. Η τοποθέτηση των σωλήνων γίνεται αμέσως μετά την διάτρηση ή ταυτόχρονα με αυτήν (odex) όταν απαιτείται. Οι σωλήνες έχουν περιμετρικές οπές σε αποστάσεις 05 m – 1,0 m κατά το μήκος, έτσι ώστε το τσιμεντένεμα να διαχυθεί και να πληρώσει την οπή διάτρησης και εδαφικά κενά που έχουν σχηματιστεί.
- ii. Εκσκαφή Α΄ Φάσης. Η εκσκαφή της Α΄ Φάσης μπορεί να γίνει μέχρι το υψόμετρο του ανοιχτού οριζόντιου πυθμένα (μετά τον απαραίτητο χρόνο στερεοποίησης του τσιμεντένεματος των δοκών προπορείας). Αναλόγως με τις επί τόπου συνθήκες ευστάθειας του μετώπου η εκσκαφή πραγματοποιείται περιμετρικά της διατομής και παραμένει ο κεντρικός πυρήνας αντιστήριξης του μετώπου. Στην περίπτωση αυτή ο πυρήνας δεν θα παραμένει σε μήκος μεγαλύτερο των 2 m, καθώς θα ακολουθεί η κατασκευή του προσωρινού ανάστροφου πυθμένα.
- iii. Εφαρμογή πρώτης στρώσης ινοοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος με 40kg/m<sup>3</sup> μεταλλικές ίνες (περίπου 5 cm) αμέσως μετά την εκσκαφή της διατομής. Εάν οι επί τόπου συνθήκες το καθιστούν αναγκαίο, «σφράγισμα» και του μετώπου με ινοοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα επαρκούς πάχους (περίπου 5 cm) για την προσωρινή σταθεροποίηση του «καθρέπτη» και ασφαλή εργασία του προσωπικού (όπου και αν απαιτηθεί).
- iv. Τοποθέτηση και σφήνωση των χαλυβδίνων δικτυωτών πλαισίων αμέσως μετά το βήμα (ii). Συνήθης πρακτική είναι η αρχική ένωση και των τριών τμημάτων του πλαισίου και το εν συνεχεία σήκωμά τους και η σύνδεση και στήριξή του πλαισίου με το προηγούμενο πλαίσιο με διαδοκίδες. Στην περίπτωση της Τυπικής Διατομής Προσωρινής Υποστήριξης IIIβ ακολουθεί διάτρηση των

οπών των τσιμεντενέσεων, τοποθέτηση των βαλβιδωτών σωλήνων και η εν συνεχεία ενεμάτωσή τους. Στην περίπτωση της Τυπικής Διατομής Προσωρινής Υποστήριξης ΙΙδ ακολουθεί διάτρηση των μικροπασσάλων κάτω από την έδραση της διαμήκους πεδιλοδοκού (elephant foot) με γωνία  $20^\circ \div 30^\circ$  από την κατακόρυφο, τοποθέτηση των χαλυβδοσωλήνων και πλήρωσή τους με ισχνό σκυρόδεμα. Η έδραση των πλασίων πραγματοποιείται ταυτόχρονα με την κατασκευή διαμήκους οπλισμένης πεδιλοδοκού (elephant foot). Η έδραση των πλασίων γίνεται με τρόπο που να επιτρέπει την «ανεύρεση» των αναμονών του σιδηροπλισμού Φ12/15, που χρησιμοποιούνται για την σύνδεση με τα πλαίσια και τις παρειές κατά την Β΄ Φάση εκσκαφής και αντιστήριξης.

- v. Εφαρμογή δεύτερης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 cm αμέσως μετά το βήμα (iu). Τοποθέτηση μίας στρώσης δομικού πλέγματος T188 στο κάτω τμήμα της παρειάς της Α΄ φάσης και των πεδιλοδοκών και εξασφάλιση αναμονών σιδηροπλισμού Φ12/15 συνολικού μήκους 2,0 m (1,0 m στην επένδυση της Α΄ φάσης εντός της πεδιλοδοκού και 1.0 m αναμονή για την επένδυση του προσωρινού ανάστροφου πυθμένα και εν συνεχείας της Β΄ φάσης) τα οποία χρησιμοποιούνται για την σύνδεση με τον προσωρινό ανάστροφο πυθμένα και εν συνεχεία με τις παρειές κατά την Β΄ Φάση εκσκαφής και αντιστήριξης. Ο σιδηροπλισμός μπορεί να λυγίσει στον ανοιχτό οριζόντιο πυθμένα.
- vi. Τοποθέτηση του συνόλου των αγκυρίων αμέσως μετά το βήμα (iv). Την διάτρηση και τοποθέτηση των αγκυρίων ακολουθεί η πλήρωσή τους με τσιμεντένεμα. Η τοποθέτηση των περικοχλίων και το σφίξιμο των τελευταίων θα συντελεστεί μετά την στερεοποίηση του τσιμεντενέματος και πριν την εφαρμογή της τελικής στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος.
- vii. Κατασκευή των αποστραγγιστικών οπών στο θόλο της σήραγγας.
- viii. Διάτρηση ανακουφιστικών οπών στο εκτοξευμένο σκυρόδεμα βάθους 0,50 m  $\div$  1,0m σε κάναβο 4,0 m x 4,0 m.



- ix. Εφαρμογή τρίτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm αμέσως μετά το βήμα (vi) και κάλυψη των αγκυρώσεων. Τοποθέτηση μίας στρώσης δομικού πλέγματος T188 στο κάτω τμήμα της παρειάς της Ά Φάσης και εξασφάλιση αναμονών σιδηροπλισμού Φ12/15 συνολικού μήκους 2,0 m (1,0 m στην επένδυση της Α΄ Φάσης και 1,0 m αναμονή για την επένδυση του προσωρινού ανάστροφου πυθμένα της Β΄ Φάσης) και εν συνεχεία με τις παρειές κατά την Β΄ Φάση εκσκαφής και αντιστήριξης. Ο σιδηροπλισμός μπορεί να λυγίσει στον ανοιχτό οριζόντιο πυθμένα.
- x. Εκσκαφή του προσωρινού ανάστροφου τόξου πυθμένα και κλείσιμο του δαπέδου με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα δύο στρώσεων, πάχους 15 cm και οπλισμένων με δομικό πλέγμα T188 ή κάθε μία. Και οι δύο στρώσεις ενώνονται με τις αναμονές του σιδηροπλισμού Φ12/15 των πεδילוδοκών.
- xi. Κάλυψη του δαπέδου με προϊόντα εκσκαφής για την προστασία του και δημιουργία δαπέδου εργασίας.
- xii. Εκσκαφή Β΄ Φάσης. Η εκσκαφή της Β΄ Φάσης γίνεται μετά την ολοκλήρωση της Α΄ Φάσης σε όλο το μήκος της σήραγγας και σε μεταγενέστερο χρονικό διάστημα (ολοκλήρωση Α΄ και Β΄ φάσης εκσκαφής της σήραγγας διπλής τροχιάς).
- xiii. Εφαρμογή πρώτης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος με  $40\text{kg/m}^3$  μεταλλικές ίνες (περίπου 5 cm) αμέσως μετά την εκσκαφή της διατομής
- xiv. Εφαρμογή δεύτερης στρώσης οπλισμένου με μία στρώση δομικού πλέγματος T188 εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 cm αμέσως μετά το βήμα (xii). Το δομικό πλέγμα T188 δένεται με τις αναμονές του σιδηροπλισμού Φ12/15 το οποίο και πρέπει να «διασωθεί» κατά το σπάσιμο του προσωρινού πυθμένα.
- xv. Τοποθέτηση του συνόλου των αγκυρίων αμέσως μετά το βήμα (xiii). Την διάτρηση και τοποθέτηση των αγκυρίων ακολουθεί η πλήρωσή τους με τσιμεντένεμα. Η τοποθέτηση των περικοχλίων και το σφίξιμο των τελευταίων

πραγματοποιείται μετά την στερεοποίηση του τσιμεντενέματος και πριν την εφαρμογή της τελικής στρώσης εκτοξευομένου σκυροδέματος.

xvi. Εφαρμογή τρίτης στρώσης οπλισμένου με μία στρώση δομικού πλέγματος T188 εκτοξευομένου σκυροδέματος 10 cm αμέσως μετά το βήμα (xiv). Το δομικό πλέγμα T188 δένεται με τις αναμονές του σιδηροπλισμού Φ12/15 το οποίο και πρέπει να «διασωθεί» κατά το σπάσιμο του προσωρινού πυθμένα.

Αμέσως μετά την ολοκλήρωση της πρώτης ομπρέλας συνολικού μήκους 8,0 m, η κατασκευαστική ακολουθία έχει ως εξής:

1. Αντιστήριξη του μετώπου («καθρέπτη») της σήραγγας με στρώση οπλισμένου με μονή στρώση δομικού πλέγματος T188 εκτοξευομένου σκυροδέματος, πάχους 10 cm. Τοποθέτηση και τόξου πρόσθετης στρώσης δομικού πλέγματος T188 στο άνω τόξο του θόλου στο οποίο διατρώνονται οι δοκοί προπορείας με πλάτος 1,00 m, όπου απαιτηθεί.
2. Διάτρηση, τοποθέτηση και πάκτωση στο μέτωπο υαλόκαρφων φέρουσας ικανότητας 20 t, μήκους 12 m (8,0 m προχώρηση και 4,0 m επικάλυψη) σε κάρναβο 2,0 m καθ' ύψος και 1,5 m κατά πλάτος (17 τεμάχια). Στη συνέχεια επαναλαμβάνεται από το 1ο βήμα η κατασκευαστική ακολουθία για την διάνοιξη της επόμενης «ομπρέλας» της σήραγγας.

Στις **Εικόνες 11.4** έως **11.8** φαίνονται τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης που πάρθηκαν κατά τη διάνοιξη της σήραγγας διπλής τροχιάς.



**Εικόνα 11.4:** Σύστημα προσωρινής αντιστήριξης (δομικό πλέγμα και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα). (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό)



**Εικόνα 11.5:** Αγκύρια περιμετρικά του θόλου της σήραγγας διπλής τροχιάς. (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό)

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ  
ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)



**Εικόνα 11.6:** Διάταξη δομικού πλέγματος πριν την εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος.  
(Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό)



**Εικόνα 11.7:** Τοποθέτηση πεδילוδοκού (elephant foot). (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό)

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ  
ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)



*Εικόνα 11.8: Δοκοί προπορείας (forepoling). (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό)*

### **11.9 Μέθοδος εκσκαφής στον θάλαμο πρόσβασης (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007)**

Με βάση τα γεωτεχνικά δεδομένα, η εκσκαφή της σήραγγας στην περιοχή μέσα στον θάλαμο πρόσβασης γίνεται με μηχανικά μέσα («τσάπα» και «σφυρί»). Στις περιπτώσεις των γεωτεχνικών προσομοιωμάτων Da, Db όπου και το πέτρωμα παρουσιάζεται ιδιαίτερα σκληρό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και εκσκαφέας σημειακής κοπής τύπου “roadheader”. Δεν επιτρέπεται από την ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. η εκσκαφή με χρήση εκρηκτικών και τεχνικές ήπιων και ελεγχόμενων εκρήξεων. Στην **Εικόνα 11.9** φαίνεται η είσοδος από το φρέαρ πρόσβασης στη σήραγγα διπλής τροχιάς.



*Εικόνα 11.9: Είσοδος από το φρέαρ πρόσβασης στη σήραγγα διπλής τροχιάς. (Φωτογραφικό Αρχείο Αττικό Μετρό)*

### **11.10 Μεθοδολογία κατασκευής σήραγγας διπλής τροχιάς από τον θάλαμο πρόσβασης (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007)**

Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται κατά την διάνοιξη της σήραγγας διπλής τροχιάς από τον θάλαμο πρόσβασης, όπου και παρουσιάζεται δυσμενής ανακατανομή του εντατικού πεδίου, στον τρισδιάστατο χώρο. Για τον λόγο αυτό η κατασκευή της σήραγγας διπλής τροχιάς από τον θάλαμο πρόσβασης πραγματοποιείται με την εφαρμογή της δυσμενέστερης Τυπικής Διατομής Αντιστήριξης III, η οποία εφαρμόζεται σε μήκος τουλάχιστον 3 m από τις παρειές του θαλάμου πρόσβασης. Λόγω του στενού χώρου του θαλάμου πρόσβασης, η Τυπική Διατομή Αντιστήριξης III (Τυπική Διατομή Αντιστήριξης Dc σύμφωνα με την Γενική Οριστική Μελέτη), διαφοροποιείται και αντί των δοκών προπορείας μήκους 12 m κατασκευάζεται διπλή ομπρέλα αγκυρίων προενίσχυσης οροφής μήκους 6 m, τα οποία και τοποθετούνται σε

*ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ  
ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ  
(ΤΜΗΜΑ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ)*

οπές που διανοίγονται με διατρητικό φορείο (wagon drill), καθώς, λόγω περιορισμένου χώρου, δεν είναι δυνατή η διάτρηση και τοποθέτηση δοκών προπορείας ή αγκυρίων μήκους 12 m. Ανάλογα με τις επί τόπου συνθήκες, εφαρμόζεται στη συνέχεια η Τυπική Διατομή Αντιστήριξης Ι, για την περιοχή Da1. Στο σημείο όπου εφαρμόζεται η πρώτη διατομή τοποθετούνται δύο χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια, αντίστοιχα με της Τυπικής Διατομής ΙΙΙ, αλλά με διαφοροποιημένη γεωμετρία (λίγο μεγαλύτερα), έτσι ώστε να θεμελιώνονται στο δάπεδο της Α΄ Φάσης του θαλάμου πρόσβασης.

Πλέον αυτών, κατασκευάζονται παθητικές αγκυρώσεις ολόσωμης πάκτωσης Φ25, μήκους  $L = 6$  m, σε διάτρημα Φ46, φέρουσας ικανότητας 22 t, στο τόξο της ενισχυμένης δοκού από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα οπλισμένο με τα δύο δικτυωτά πλαίσια (lattice girders)  $h = 0,20$  m 4Φ32. Οι αγκυρώσεις συγκράτησης της ενισχυμένης δοκού κατασκευάζονται ανά δύο μέτρα (εννέα συνολικά αγκυρώσεις) και διατρούονται ανάμεσα στα δύο δικτυωτά πλαίσια με γωνία  $45^\circ$  έξω από το επίπεδο της δοκού. Η αποκατάσταση της συνέχειας του οπλισμού της κατασκευής της σήραγγας διπλής τροχιάς με τον θάλαμο πρόσβασης πραγματοποιείται με την προσθήκη ράβδων οπλισμού Φ25 σε αποστάσεις ανά 25 cm και μήκους 1,0 m (0,50 m + 0,50 m) μορφής Γ, περιμετρικά του περιτυπώματος της σήραγγας διπλής τροχιάς (αψίδας), που ενώνουν το εναπωμένων δομικό πλέγμα της προσωρινής αντιστήριξης του θαλάμου πρόσβασης με τον οπλισμό της αψίδας των δύο χαλύβδινων δικτυωτών πλαισίων που παραλαμβάνουν τα φορτία κατά την καθαίρεση της παρειάς του θαλάμου πρόσβασης.

Η διάνοιξη της Σήραγγας Διπλής Τροχιάς ξεκίνησε προς τη μία πλευρά και, αφού ολοκληρώθηκε η Α΄ Φάση αυτής σε επαρκές μήκος μεγαλύτερο της μίας διαμέτρου (περί τα 10 m), άρχισε η διάνοιξη από τον θάλαμο πρόσβασης και προς την αντίθετη κατεύθυνση.

### **11.11 Πρόσθετα μέτρα άμεσης υποστήριξης** (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)

Με βάση τις γεωτεχνικές συνθήκες που θα συναντιούνταν κατά τη διάνοιξη καθώς και από τα αποτελέσματα της παρακολούθησης των συγκλίσεων της σήραγγας, ήταν αναγκαία κάποιες φορές η λήψη προσθέτων μέτρων άμεσης αντιστήριξης. Οι παρακάτω επεμβάσεις είναι καθαρά ενδεικτικές και η εφαρμογή κάποιας ή συνδυασμού αυτών εξαρτάται από την αξιολόγηση των μετρήσεων για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς της σήραγγας.

Τα μέτρα αυτά και ανάλογα με την κατηγορία της τυπικής διατομής περιγράφονται στις παρακάτω παραγράφους.

#### **11.11.1 Εφαρμογή πρόσθετων μέτρων άμεσης προσωρινής υποστήριξης τυπικής διατομής I**

- i. Πρόσθετες αγκυρώσεις μεγαλύτερου μήκους στις παρειές ή ακόμα και στο θόλο της Α΄ Φάσης και της Β΄ Φάσης.
- ii. Πρόσθετες στρώσεις εκτοξευόμενου σκυροδέματος με πάχος έως και 5 cm η κάθε μία, οπλισμένου με δομικό πλέγμα T188 σε κάθε στρώση. Σημειώνεται ότι οι διαστάσεις της σήραγγας πρόσβασης επιτρέπουν την κατασκευή 2 ή και 3 πρόσθετων στρώσεων εκτοξευόμενου σκυροδέματος καθώς οι συμβατικές συγκλίσεις ανέρχονται σε 10 cm ενώ υπάρχει και κατασκευαστική ανοχή 5 cm.
- iii. Πρόσθετη ενίσχυση του θόλου της Α΄ Φάσης εκσκαφής της σήραγγας με τσιμεντενέσεις.
- iv. Προενίσχυση μετώπου με υαλόκαρφα σε περιπτώσεις εμφάνισης προβλημάτων αστάθειας στο μέτωπο.
- v. Εφαρμογή αγκυρώσεων προενίσχυσης της οροφής τύπου spilling σε περίπτωση που τα προβλήματα αστάθειας του μετώπου συνδυάζονται με δομικές αστοχίες στην οροφή της σήραγγας λόγω χάρη κατάπτωση σφηνών .



### **11.11.2 Εφαρμογή πρόσθετων μέτρων άμεσης προσωρινής υποστήριξης τυπικής διατομής II**

Τα πρόσθετα μέτρα που πάρθηκαν για την τυπική διατομή II ήταν τα ίδια με εκείνα που αναφέρθηκαν στην τυπική διατομή I αλλά επιπλέον πάρθηκαν τα ακόλουθα:

- i. Ενίσχυση της θεμελίωσης της διεγερμένης έδρασης πλαισίου με χρήση τσιμεντενέσεων.
- ii. Σε περίπτωση προβλημάτων μεγαλύτερων συγκλίσεων των αναμενόμενων ή καθιζήσεων στην επιφάνεια του εδάφους προβλέπονταν η κατασκευή δίδυμων μικροπασσάλων θεμελίωσης  $\Phi 200 \div \Phi 300$  σε κάθε πεδילוδοκό, με οπλισμό χαλυβδοσωλήνα  $\Phi 114/102 \div \Phi 219/207.2$  και μήκους 6 m ανά 1.5 m (σε κάθε πλαίσιο). Η γωνία διάτρησης τους κυμαινόταν από  $20^\circ$  έως  $30^\circ$  ως προς την κατακόρυφο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η κατασκευή των μικροπασσάλων προηγείται της κατασκευής των πεδילוδοκών έτσι ώστε να μπορούν να παραλάβουν το μέγιστο ικανό φορτίο και να συνεισφέρουν στην θεμελίωση της σήραγγας κατά τη Α΄ αλλά και Β΄ Φάση διάνοιξης. Η εκ των υστέρων κατασκευή των μικροπασσαλων διατηρώντας την πεδילוδοκό, ελάχιστη θετική συνεισφορά μπορεί να προσδώσει.

### **11.11.3 Εφαρμογή πρόσθετων μέτρων άμεσης προσωρινής υποστήριξης τυπικής διατομής III**

Στην τυπική διατομή III εφαρμόστηκαν τα ίδια μέτρα που πάρθηκαν στην Τυπική διατομή I, το μέτρο ii της τυπικής διατομής II καθώς και τα ακόλουθα:

- i. Σε περίπτωση που τα προβλήματα αστάθειας του μετώπου συνδυάζονται με μεγάλες συγκλίσεις στην οροφή της σήραγγας ή καθιζήσεις στην επιφάνεια μπορούν να εφαρμοστούν βαρύτεροι δοκοί προπορείας.
- ii. Σε περίπτωση που τα προβλήματα αστάθειας του μετώπου δεν αντιμετωπίζονται με τα παρακάτω μέτρα προενίσχυσής του, απαιτείται η διάνοιξη της Α΄ Φάσης σε περισσότερες επιμέρους φάσεις. Ενδεικτικά, μπορεί να κατασκευαστεί το άνω μέρος της διατομής μέχρι το περίγραμμα του

«καπέλου» του χαλύβδινου δικτυωτού πλαισίου, στη συνέχεια η κατασκευή των δύο «ποδαρικών» («γάμπες») του πλαισίου, και στη συνέχεια εκσκαφή του κεντρικού πυρήνα.

#### **11.11.4 Εφαρμογή πρόσθετων μέτρων άμεσης προσωρινής υποστήριξης για τη Κατασκευή της σήραγγας διπλής τροχιάς από το θάλαμο πρόσβασης**

Και στο συγκεκριμένο τμήμα της σήραγγας χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια πρόσθετα μέτρα με την τυπική διατομή I και ακόμα άρθηκε το ακόλουθο μέτρο:

- i. Κατασκευή δίδυμων μικροπασσάλων θεμελίωσης Φ200 σε κάθε πεδילוδοκό, με οπλισμό χαλυβδοσωλήνα Φ114/102 και μήκους 6 m ανά 1 m (σε κάθε πλαίσιο). Η γωνία διάτρησης τους κυμαίνεται από 20° έως 30° ως προς την κατακόρυφο.

#### **11.12 Έλεγχος επάρκειας και διαστασιολόγηση επιμέρους κατασκευών (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007)**

Σε αυτό το κεφάλαιο περιλαμβάνονται οι έλεγχοι επάρκειας και η διαστασιολόγηση των επιμέρους κατασκευών της σήραγγας διπλής τροχιάς. Για το σκοπό αυτό ελέγχονται:

- **το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα,**
- **τα αγκύρια,**
- **η διευρυμένη έδραση πλαισίων (elephant foot),**
- **οι δοκοί προπορείας και**
- **οι μικροπάσσαλοι**

##### **11.12.1 Διαστασιολόγηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος**

Οι ιδιότητες του εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι διαφορετικές, για κάθε τύπο διατομής. Από την άλλη, τα εντατικά μεγέθη που καταπονούν την υποστήριξη, όπως διαπιστώθηκε από τους σχετικούς υπολογισμούς, είναι διαφορετικά για κάθε ανάλυση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δηλαδή χρησιμοποιούνται τα εντατικά μεγέθη που προέκυψαν από τις αναλύσεις **σχεδιασμού**.

Χρησιμοποιούνται τα εντατικά μεγέθη από τα ακόλουθα τέσσερα στάδια της ανάλυσης:

1. Εκσκαφή Α΄ Φάσης και υποστήριξη (Α΄ phase excavation and support)
2. Εκσκαφή προσωρινού πυθμένα και υποστήριξη (Α΄ phase excavation and support)
3. Εκσκαφή Β΄ Φάσης και υποστήριξη (Β΄ phase excavation and support)
4. Γήρανση του σκυροδέματος (Shotcrete hardening)

Τα εντατικά μεγέθη στα υπόλοιπα στάδια δεν ήταν κρίσιμα και δεν εξετάστηκαν. Η αντοχή του σκυροδέματος σε μοναξονική θλίψη μεταβάλλεται από αντοχή μίας ημέρας στην αντοχή των 7 και 28 ημερών.

Για τον έλεγχο μέτρων άμεσης υποστήριξης της σήραγγας χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας SOFiSTiK. Καθορίστηκε αναλυτικά η γεωμετρία της διατομής της σήραγγας ως εξής: Αναλύσεις vas με πάχος διατομής 0,15 εκ. με μία στρώση πλέγματος T188. Αναλύσεις vas με πάχος διατομής 0,20 εκ. με δύο στρώσεις πλέγματος T188. Αναλύσεις vas, με δύο στρώσεις πλέγματος T188. Το πλάτος της διατομής καθορίστηκε στο 1,00 m για έλεγχο εντατικών μεγεθών ανά μέτρο μήκους και πραγματοποιήθηκε έλεγχος τάσεων και διαστασιολόγηση σύμφωνα με τους ελληνικούς κανονισμούς.

Τα εντατικά μεγέθη εισήχθησαν με μοναδιαίο συντελεστή για τον έλεγχο τάσεων και με συντελεστή ασφαλείας 1,40 για τη διαστασιολόγηση. Επί το δυσμενέστερο σε κάθε περίπτωση ανάλυσης έγινε έλεγχος και με τα μέγιστα και με τα ελάχιστα εντατικά μεγέθη που προέκυψαν από το σύνολο των αναλύσεων καθώς επίσης θεωρήθηκε ότι οι μέγιστες τιμές εντατικών μεγεθών (N,Q,M) δρουν ταυτόχρονα στην ίδια διατομή. Ελέγχθηκαν τα παρακάτω εύρη εντατικών μεγεθών που περιλαμβάνονται στον **Πίνακα 11.2**.

**Πίνακας 11.2: Εντατικά μεγέθη στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)**

ΕΥΡΟΣ ΕΝΤΑΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΣΤΟ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ				
ΟΛΑ ΤΑ ΑΡΧΕΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ		10 MPa	15 MPa	25 MPa
	N (MN)	0.066-0.825	0.066-0.850	0.066-0.850
	Q (MN)	± 0.07	± 0.077	± 0.05
	M (MNm)	0.016	0.027	0.028

Η διαστασιολόγηση των διατομών έγινε σύμφωνα με τους ελληνικούς κανονισμούς και υπολογίστηκε ο απαιτούμενος οπλισμός. Η διαστασιολόγηση πραγματοποιήθηκε για την μέγιστη ροπή και τέμνουσα που παρουσιάζεται στον παραπάνω πίνακα για κάθε περίπτωση ανάλυσης (συντελεστές ασφαλείας υλικών  $\gamma_c=1,50$   $\gamma_s=1,15$ ). Τα εντατικά μεγέθη εισήχθησαν στο πρόγραμμα Sofistik επαυξημένα με συντελεστή ασφαλείας 1,40. Οι έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν επιβεβαίωσαν την μη υπέρβαση των τάσεων ανά φάση και για κάθε περίπτωση ανάλυσης καθώς και την επάρκεια του οπλισμού που παρουσιάζεται στα σχετικά σχέδια.

### 11.12.2 Διαστασιολόγηση αγκυρίων

Τα αγκύρια έχουν διάμετρο  $\Phi 25$  mm, είναι κατασκευασμένα από χάλυβα S500s, και έχουν διάμετρο διατρήματος  $\Phi 46$  mm. (Προβλέπονταν διάφοροι τύποι αγκυρίων, ανάλογα με την ποιότητα της βραχομάζας που θα συναντούσαν.) Πιο συγκεκριμένα προβλέπονταν παθητικές αγκυρώσεις ολόσωμης πάκτωσης, αγκυρώσεις τύπου SWELLEX, και όπου η ποιότητα της βραχομάζας ήταν ιδιαίτερα πτωχή, και οι παραπάνω τύποι αγκυρίων δεν μπορούσαν να κατασκευαστούν, προβλέπονταν τα αυτοδιατρούμενα αγκύρια. Η φέρουσα ικανότητα των αγκυρίων εξαρτάται μεταξύ άλλων από το μήκος πάκτωσης και το υλικό μέσα στο οποίο εμπηγνύονται. Η φέρουσα ικανότητα των αγκυρίων έχει υπολογιστεί και τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται στον **Πίνακα 11.3**.

**Πίνακας 11.3: Επιτρεπόμενη φέρουσα ικανότητα των αγκυρίων (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)**

ΤΥΠΟΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΑΓΚΥΡΙΩΝ (MN)		
	ΜΗΚΟΣ L=4 m	ΜΗΚΟΣ L=6 m	ΜΗΚΟΣ L=8 m
Ισχυρός Ασβεστίτικος Μεταψαμμίτης	0.15	0.20	0.20
Τεκτονισμένος Μεταψαμμίτης	0.11	0.17	0.23
Αργιλικός Σχιστόλιθος-Μεταίλυόλιθος	0.10	0.15	0.20
ΕΛΑΧΙΣΤΑ	0.10	0.15	0.20

Η μέγιστη αξονική δύναμη που υπολογίζεται για τα αγκύρια μήκους 4,0 m, 6,0 m και 8,0 m είναι μικρότερη από την υπολογιζόμενη αντοχή τους. Συμπεραίνεται ότι ο σχεδιασμός των αγκυρίων είναι ικανοποιητικός. Τονίζεται ξανά ότι ήταν απολύτως απαραίτητο να γίνει ικανός αριθμός δοκιμών εξολκείσεως.

### 11.12.3 Διαστασιολόγηση πεδילוδοκού έδρασης (Elephant Foot)

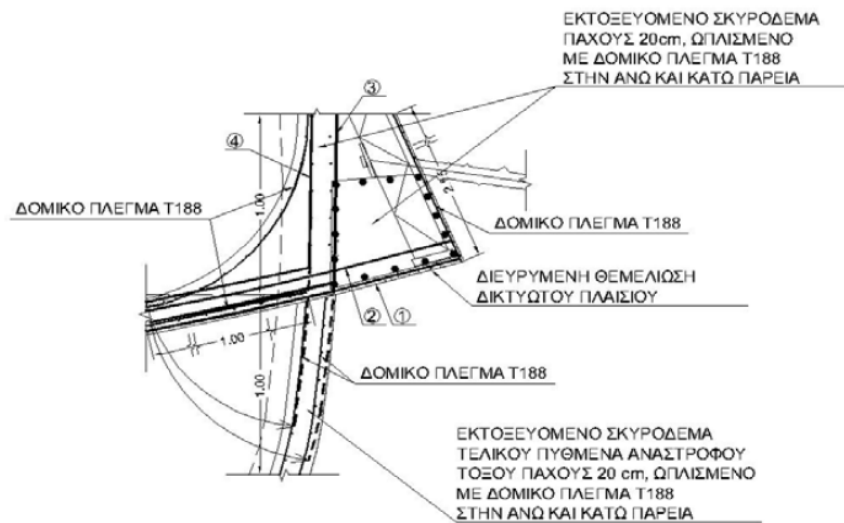
Στις τυπικές διατομές τύπου II και III, προβλεπόταν να κατασκευαστεί πεδילוδοκός της διευρυμένης έδρασης των χαλύβδινων δικτυωτών πλαισίων (elephant foot), από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η τυπική διατομή της πεδילוδοκού, όπως περιλαμβάνεται στα σχέδια, φαίνεται στο **Σχήμα 11.1**. Για τη διαστασιολόγηση της πεδילוδοκού, λόγω της σύνθετης μορφής της καταπόνησης, αλλά και της πολύπλοκης γεωμετρίας, έγιναν ορισμένες εύλογες παραδοχές:

- 1) Η πεδילוδοκός θεωρείται απειρομήκης, αλλά επιλύεται σαν δοκός 5 ανοιγμάτων. Τα εντατικά μεγέθη στο μεσαίο άνοιγμα, δεν επηρεάζονται από τις συνοριακές συνθήκες και θεωρούνται μεγέθη σχεδιασμού.
- 2) Στις θέσεις όπου κατασκευάζονται τα πλαίσια, θεωρούνται ακλόνητες στηρίξεις.
- 3) Τα πλαίσια φέρουν ολόκληρο το φορτίο του θόλου. Η συνεισφορά του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στη μεταφορά φορτίων δεν λαμβάνεται υπόψη, για να μοντελοποιηθεί η δυσμενέστερη περίπτωση. Η τομή της πεδילוδοκού στα σημεία που υπάρχουν πλαίσια φαίνεται στο **Σχήμα 11.2**.

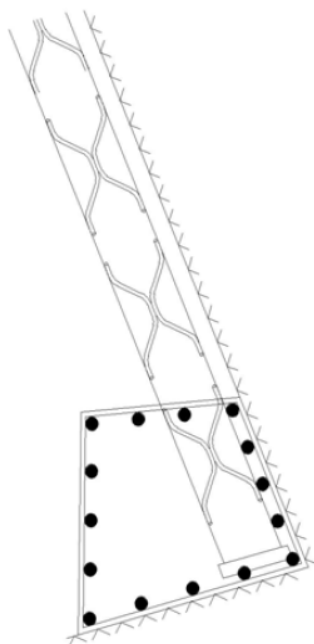
- 4) Τα φορτία από το πλαίσιο ασκούνται στον κεντροβαρικό άξονα του πλαισίου. Οι πιέσεις του εδάφους είναι απαραίτητες για την ισορροπία και ασκούνται και στο κάτω μέρος της δοκού, αλλά και στα πλάγια.
- 5) Η ανάλυση ακολουθεί τα στάδια της κατασκευής. Αν και για κάθε τύπο διατομής, το βήμα εκσκαφής προβλέπεται να είναι διαφορετικό, οι αποστάσεις ανάμεσα στα πλαίσια θα είναι ίδιες, 1.50 m για τη διατομή τύπου II και 1.00 m για τη διατομή τύπου III.
- 6) Οι πιέσεις του εδάφους κατά μήκος της πεδιλοδοκού μπορούν να απλοποιηθούν και, ως συνήθως, λαμβάνεται γραμμική κατανομή.
- 7) Τα εντατικά μεγέθη στην έδραση του πλαισίου, έχουν υπολογιστεί από τις αναλύσεις με πεπερασμένα στοιχεία. Τα νούμερα που δίνονται εκεί είναι ανά μέτρο μήκους της διατομής της σήραγγας.
- 8) Για την εύρεση των απαιτούμενων οπλισμών As1 και As2, χρησιμοποιείται η αξονική δύναμη των πλαισίων. Για την εύρεση των απαιτούμενων οπλισμών As3 και As4, χρησιμοποιείται η διατμητική δύναμη των πλαισίων. Η ροπή που υπολογίζεται από τις αναλύσεις είναι μικρή, και ευαίσθητη σε αριθμητικά σφάλματα, γι' αυτό και αγνοείται. Η αρίθμηση των οπλισμών ανά παρεία φαίνεται στο **Σχήμα 11.3**.
- 9) Η αντοχή του σκυροδέματος μεταβάλλεται με το χρόνο, από την αντοχή μίας ημέρας (10 MPa) στην αντοχή των 7 ημερών (15 MPa) και των 28 ημερών (25 MPa).) Κατά την εκσκαφή της Α' φάσης, τα πλαίσια τοποθετούνται μαζί με την κατασκευή της πεδιλοδοκού. Τη χρονική στιγμή που τα πλαίσια θα μεταφέρουν τα πλήρη φορτία του εδάφους δηλαδή η εκσκαφή θα έχει προχωρήσει αρκετά πιο μπροστά, το σκυρόδεμα θεωρείται συντηρητικά ότι θα έχει την αντοχή 7 ημερών. Στη συνέχεια γίνεται η εκσκαφή και η υποστήριξη του προσωρινού πυθμένα. Στη διαστασιολόγηση, η ευεργετική συνεισφορά του προσωρινού πυθμένα αγνοείται, αλλά το σκυρόδεμα

θεωρείται ότι θα έχει την αντοχή 28 ημερών. Στο τελευταίο στάδιο, που είναι η εκσκαφή και υποστήριξη του μόνιμου πυθμένα, δημιουργείται ένας κλειστός δακτύλιος από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, και μόνο ένα μικρό μέρος από τα φορτία του θόλου μεταφέρονται στην πεδιλοδοκό. Συντηρητικά όμως θεωρείται ότι δεν υπάρχει το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα του πυθμένα, και η πεδιλοδοκός καλείται να μεταφέρει όλα τα φορτία του θόλου. Το σκυρόδεμα θεωρείται ότι θα έχει την αντοχή 28 ημερών.

Για την εύρεση των εντατικών μεγεθών χρησιμοποιείται το πρόγραμμα H/Y Beam!2D v1.60, που αναπτύχθηκε από τον κ Β. Πλεύρη στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί μεθόδους μητρικής στατικής ανάλυσης και σχεδιάζει αυτόματα τα διαγράμματα των εντατικών μεγεθών. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στους Πίνακες 11.4 έως 11.6.



**Σχήμα 11.1:** Τυπική διατομή της πεδιλοδοκού έδρασης. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)



**Σχήμα 11.2:** Απλοποιημένη διατομή της πεδιλοδοκού έδρασης, στις θέσεις όπου υπάρχουν πλαίσια. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)



**Σχήμα 11.3:** Στατικό μοντέλο και αρίθμηση των οπλισμών. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)



**Πίνακας 11.4: Μέγιστο κατανεμημένο φορτίο στη πεδιλοδοκό με πλαίσια ανά 1.50**  
(Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)

ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥ-ΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	ΦΟΡΤΙΟ (MN/m <sup>2</sup> )	
	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ A <sub>s1</sub> A <sub>s2</sub>	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ A <sub>s3</sub> A <sub>s4</sub>
15 MPa	0.098	0.004
25 MPa	0.235	0.02

**Πίνακας 11.5: Μέγιστο κατανεμημένο φορτίο στη πεδιλοδοκό με πλαίσια ανά 1.00**  
(Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)

ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥ-ΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	ΦΟΡΤΙΟ (MN/m <sup>2</sup> )	
	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ A <sub>s1</sub> A <sub>s2</sub>	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ A <sub>s3</sub> A <sub>s4</sub>
15 MPa	0.153	0.013
25 MPa	0.297	0.012

Τα μέγιστα εντατικά μεγέθη που καταπονούν την πεδιλοδοκό στα κύρια στάδια της ανάλυσης φαίνονται στον **Πίνακα 11.6**.

**Πίνακας 11.6: Μέγιστα εντατικά μεγέθη στην πεδιλοδοκό.** (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)

ΣΤΑΔΙΟ	ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥ-ΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (MPa)	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ A <sub>s1</sub> A <sub>s2</sub>		ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ A <sub>s3</sub> A <sub>s4</sub>	
		ΜΕΓΙΣΤΗ ΡΟΠΗ (MNm)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΕΜΝΟΥΣΑ (MN)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΡΟΠΗ (MNm)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΕΜΝΟΥΣΑ (MN)
Α' ΦΑΣΗ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	15	+0.017 -0.010	0.073	+0.001 -0.001	0.007
Β' ΦΑΣΗ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	25	+0.042 -0.024	0.176	+0.004 -0.002	0.015

Για τον έλεγχο μέτρων άμεσης υποστήριξης της σήραγγας χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας SOFiStiK. Καθορίστηκε αναλυτικά η γεωμετρία της διατομής ελέγχου η οποία προέκυψε από την διατομή σκυροδέματος που περισφίγγεται από συνδετήρα.

Τα δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη που προέκυψαν από τις αναλύσεις παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα.

Η διαστασιολόγηση των διατομών έγινε σύμφωνα με τους ελληνικούς κανονισμούς και υπολογίστηκε ο απαιτούμενος οπλισμός. Η διαστασιολόγηση πραγματοποιήθηκε για την μέγιστη ροπή και τέμνουσα που παρουσιάζεται στον παραπάνω πίνακα για κάθε περίπτωση ανάλυσης (συντελεστές ασφαλείας υλικών  $\gamma_c=1,50$   $\gamma_s=1,15$ ). Τα εντατικά μεγέθη εισήχθησαν στο πρόγραμμα Sofistik επαυξημένα με συντελεστή ασφαλείας 1,40.

#### 11.12.4 Διαστασιολόγηση δοκών προπορείας

Η χρήση των δοκών προπορείας, ως στοιχείων προβελτίωσης των συνθηκών ευστάθειας, είναι απαραίτητο να προσομοιωθεί κατάλληλα έτσι ώστε να μπορεί να εκτιμηθούν υπολογιστικά:

- i. Οι «πρόδρομες» συγκλίσεις, άρα και ο βαθμός χαλάρωσης της βραχόμαζας μπροστά από το μέτωπο της σήραγγας.
  - ii. Οι συνολικές συγκλίσεις, μετά την εκσκαφή και τοποθέτηση των μέτρων άμεσης υποστήριξης.
  - iii. Τα μέγιστα εντατικά μεγέθη, τα οποία αναπτύσσονται επί των δοκών, κατά την πρόοδο των εργασιών διάνοιξης και υποστήριξης της σήραγγας. Με βάση αυτά τα μεγέθη γίνονται οι απαραίτητοι έλεγχοι διαστασιολόγησης των διατομών των δοκών προπορείας, αποσκοπώντας στην ικανοποίηση των βασικών κριτηρίων αντοχής και λειτουργικότητάς τους. Στην παρούσα μελέτη η προσομοίωση της λειτουργίας των δοκών προπορείας γίνεται ως εξής:
1. Με βάση την υπάρχουσα εμπειρία, οι δοκοί προπορείας αρχίζουν να συνεισφέρουν στη μείωση των «πρόδρομων» συγκλίσεων της διατομής της σήραγγας σε απόσταση, μπροστά από το μέτωπο, ίση με τη μισή διάμετρο της σήραγγας.
  2. Για τη διαστασιολόγηση των δοκών προπορείας χρησιμοποιείται η εξής διαδικασία:

- Οι δοκοί έχουν συνολικό μήκος 12,0 m. Από αυτά, τα 4,0 m χρησιμοποιούνται για επικάλυψη.
- Το έδαφος έμπροσθεν του μετώπου της σήραγγας θεωρείται ότι πακτώνει τις δοκούς.
- Τα μεταλλικά πλαίσια θεωρείται ότι αποτελούν τις ακλόνητες στηρίξεις του μοντέλου.
- Η φόρτιση του εδάφους στις δοκούς έχει υπολογιστεί από τις αναλύσεις με πεπερασμένα στοιχεία.

Η διαδικασία της κατασκευής ολοκληρώνεται σε 8 στάδια:

- Στο πρώτο στάδιο, αφαιρείται 1,0 m εδάφους, άρα υπάρχει 1,0 m καμπτόμενο τμήμα της δοκού, φορτιζόμενο από την πίεση του υπερκείμενου εδάφους.
- Στο δεύτερο στάδιο, τοποθετείται πλαίσιο στο 1,0 m και η εκσκαφή συνεχίζεται για άλλο ένα μέτρο. Προκύπτει έτσι ένας φορέας δοκού με δύο ανοίγματα, που φορτίζεται με την πίεση του υπερκείμενου εδάφους.
- Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου η εκσκαφή προχωρήσει στα 8,0 m.

Στο τελευταίο αυτό στάδιο, προκύπτει έτσι ένας φορέας δοκού με 8 ανοίγματα, που φορτίζεται με την πίεση του υπερκείμενου εδάφους. Σαν φορτίο σχεδιασμού λαμβάνεται η τιμή 0,228 MPa, άρα η κατανεμημένη φόρτιση ανά μέτρο, ανά δοκό λαμβάνεται ίση με 0,091 MN/m<sup>3</sup>.

Για τη διαστασιολόγηση των δοκών χρησιμοποιήθηκε ο Ευρωκώδικας 3. Έτσι διαπιστώθηκε ότι ο σχεδιασμός των δοκών είναι ικανοποιητικός.

Στον **Πίνακα 11.7** δίνονται τα μέγιστα εντατικά μεγέθη στις δοκούς προπορείας.

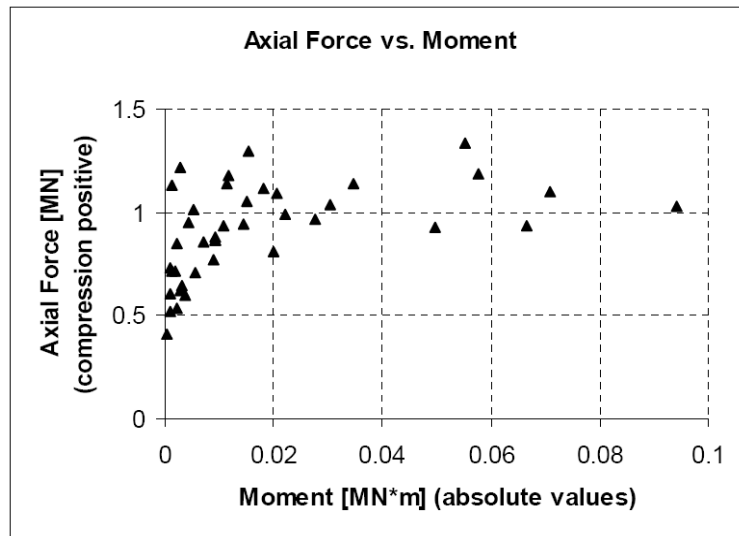
**Πίνακας 11.7: Μέγιστα εντατικά μεγέθη στις δοκούς προπορείας (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)**

Βήμα Προχώρησης Εκσκαφής (m)	Μέγιστη Ροπή (MNm)	Μέγιστη Διατμητική Δύναμη (MN)
1	0.010	0.055
2	0.011	0.057
3	0.010	0.055
4	0.010	0.055
5	0.010	0.055
6	0.010	0.055
7	0.010	0.055
8	0.010	0.055

#### 11.12.5 Διαστασιολόγηση μικροπασσάλων

Οι μικροπάσσαλοι προβλεπόταν να κατασκευαστούν σε ένα μικρό κομμάτι της σήραγγας. Αφού γίνει το διάτρημα των 300 mm και μήκους 6,0 m και καθαριστεί επιμελώς η διατομή, τοποθετείται χαλύβδινος κούλος δοκός κυκλικής διατομής με εξωτερική διάμετρο  $\Phi 219.1$  και πάχος 8,0 mm από χάλυβα Fe360. Στη συνέχεια η διατομή γεμίζει με σκυρόδεμα. Για τη διαστασιολόγηση των μικροπασσάλων, χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα των αναλύσεων vas και οι διατάξεις του Ευρωκώδικα 4. Κατά τον Ευρωκώδικα 4, εκτός από τις τιμές σχεδιασμού, πρέπει να γίνει έλεγχος χρησιμοποιώντας το διάγραμμα αλληλεπίδρασης Αξονικής Δύναμης – Ροπής.

Από τις αναλύσεις, προκύπτουν τα ζεύγη  $N_{sd} - M_{sd}$ , που φαίνονται στο **Σχήμα 11.4**. Οι θλιπτικές αξονικές δυνάμεις θεωρούνται θετικές και η ροπή λαμβάνεται ως απόλυτη τιμή. Τα μεγέθη έχουν προσαυξηθεί κατά 40%. Περιλαμβάνονται τα εντατικά μεγέθη για το τελευταίο στάδιο της εκσκαφής, επειδή αυτά είναι τα μέγιστα.



**Σχήμα 11.4:** Ζεύγη Αξονικής-Ροπής από τους υπολογισμούς (προσαυξημένα κατά 40%).  
(Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007)

Οι ιδιότητες των μικροπασσάλων είναι:

- Διάμετρος Διατρήματος: 300 mm
- Διάμετρος Χαλύβδινης Διατομής: 219,1 mm
- Πάχος Χαλύβδινης Διατομής: 8,0 mm
- Ποιότητα Χάλυβα: Fe360 (S235)
- Ονομαστική Τάση Διαρροής Χάλυβα  $f_{yk}=235$  MPa
- Ονομαστική Θλιπτική Αντοχή Σκυροδέματος:  $f_{ck}=25$  MPa

Από τα παραπάνω προκύπτουν τα εξής:

1. Εμβαδό Χαλύβδινης Διατομής:  $A_a = 53,05 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
2. Εμβαδό Σκυροδέματος (αγνοώντας την επικάλυψη):  $A_c = 323,97 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
3. Εμβαδό Σκυροδέματος Επικάλυψης:  $A_{cov} = 329,82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
4. Τιμή Σχεδιασμού Θλιπτικής Αντοχής Σκυροδέματος:  $f_{cd} = 25 / 1,50 = 16,67$  MPa
5. Τιμή Σχεδιασμού Τάσης Διαρροής Χάλυβα:  $f_{yd} = 235 / 1,10 = 213,64$  MPa

Κατά EC-4, το μέγιστο πάχος της επικάλυψης που δύναται να ληφθεί στους υπολογισμούς είναι:

$$\text{Max } c = 0,3 \cdot D_{\text{steel}} = 0,3 \cdot 219,1 = 65,73 \text{ mm},$$

όπου  $D_{\text{steel}}$  είναι η εξωτερική διάμετρος της χαλύβδινης διατομής.

Η πραγματική επικάλυψη είναι:

$$C = (300 - 219,1) / 2 = 40,45 \text{ mm}$$

Άρα το πάχος της επικάλυψης λαμβάνεται ολόκληρο.

Η αντοχή της σύμμικτης διατομής σε αξονική δύναμη είναι:

$$\begin{aligned} N_{\text{pl},R_d} &= A_a \cdot f_{yd} + A_c \cdot f_{cd} + 0,85 \cdot A_{\text{cov}} \cdot f_{cd} \\ &= 53,05 \cdot 10^{-4} \cdot 213,64 + 323,97 \cdot 10^{-4} \cdot 16,67 + 0,85 \cdot 329,82 \cdot 10^{-4} \cdot 16,67 \\ &= 2,14 \text{ MN} \end{aligned}$$

Η αντοχή του σκυροδέματος σε αξονική δύναμη (αγνοώντας τη διατομή του χάλυβα), είναι:

$$\begin{aligned} N_{\text{pm},R_d} &= A_c \cdot f_{cd} + 0,85 \cdot A_{\text{cov}} \cdot f_{cd} \\ &= 323,97 \cdot 10^{-4} \cdot 16,67 + 0,85 \cdot 329,82 \cdot 10^{-4} \cdot 16,67 \\ &= 1,00 \text{ MN} \end{aligned}$$

Η αξονική δύναμη στο εγκιβωτισμένο σκυρόδεμα λαμβάνεται χωρίς μειωτικό συντελεστή. Η αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα της επικάλυψης, λαμβάνεται μειωμένη κατά 15 %, αγνοώντας τον εγκιβωτισμό στη βραχομάζα. Η αντοχή της διατομής σε διάτμηση (αγνοώντας τη διατομή του σκυροδέματος) είναι:

$$Q_{\text{pl},R_d} = A_v \cdot f_{yd} / 31 / 2$$

Όπου  $A_v = 2 \cdot A_a / \pi = 2 \cdot 53,05 \cdot 10^{-4} / \pi = 33,78 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ , άρα:

$$Q_{pl,R_d} = 33,78 \cdot 10^{-4} \cdot 213,64 / 31 / 2 = 0,42 \text{ MN}$$

Η ροπή αντοχή της σύμμικτης διατομής, χωρίς αξονική δύναμη είναι:

$$M_{pl,R_d} = 0,096 \text{ MNm}$$

Έλεγχος σε διάτμηση:

$$Q_{sd} = 0,11 \text{ MNm} < Q_{pl,R_d} = 0,42 \text{ MN}$$

Έλεγχος σε Θλίψη:

$$N_{sd} = 1,33 \text{ MN} < N_{pl,R_d} = 2,14 \text{ MN}$$

Έλεγχος σε κάμψη:

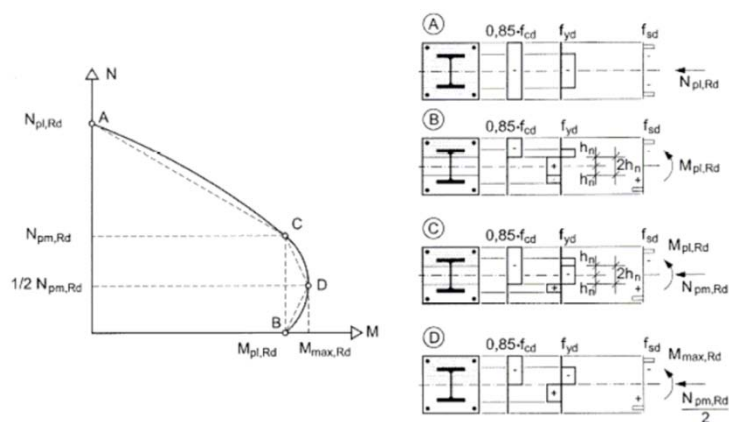
Επειδή:

$$Q_{sd} = 0,11 < 0,5 \cdot Q_{pl,R_d} = 0,21 \text{ MN}, \text{ δεν απαιτείται απομείωση της ροπής αντοχής.}$$

$$M_{sd} = 0,10 \text{ MNm} < M_{pl,R_d} = 0,096 \text{ MNm}$$

Έλεγχος σε κάμψη με αξονική δύναμη:

Ο έλεγχος γίνεται χρησιμοποιώντας τη διαδικασία τη του EC-4 και το σχήμα 10.5, που έχει παρθεί από εκεί. Ο Ευρωκώδικας δίνει την επιλογή της χρησιμοποίησης απλοποιημένης καμπύλης αλληλεπίδρασης. Αντί αυτού, χρησιμοποιείται η ακριβής καμπύλη. Τα σημεία της καμπύλης που υπολογίζονται φαίνονται στον **Πίνακα 11.8**. Η περιβάλλουσα, μαζί με τα ζεύγη ροπής-αξονικής από τους υπολογισμούς φαίνεται στο **Σχήμα 11.5**. Ο σχεδιασμός των δοκών κρίνεται ικανοποιητικός.

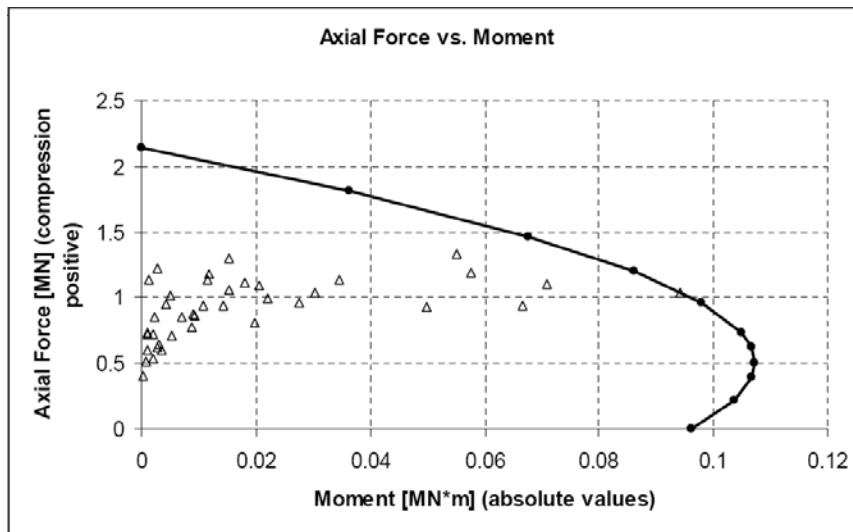


**Σχήμα 11.5:** Κατασκευή Περιβάλλουσας (Από EC-4, EN 1994-1-1:2004) (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)

**Πίνακας 11.8:** Σημεία του διαγράμματος αλληλεπίδρασης (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)

Α/Α ΣΗΜΕΙΟΥ	ΡΟΠΗ (MNm)	ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ (MN)
1	0.096	0
2	0.104	0.218
3	0.107	0.390
4	0.107	0.504
5	0.107	0.617
6	0.105	0.731
7	0.098	0.963
8	0.086	1.202
9	0.068	1.463
10	0.036	1.809
11	0	2.140





Σχήμα 11.6: Περιβάλλουσα και Εντατικά Μεγέθη (Κατά EC-4) (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007)

#### 10.12.5.1 Έλεγχος φέρουσας ικανότητας μικροπασσάλων

Η δύναμη που προβλέπεται να ασκείται στην κορυφή του μικροπασσάλου, δύναται να εκτιμηθεί από τα εντατικά μεγέθη, όπως παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Αντί όμως να ληφθεί η μέγιστη, λαμβάνεται η αξονική δύναμη στην κορυφή του πασσάλου. Η αξονική δύναμη σχεδιασμού είναι:  $N_{sd} = 1,10 \text{ MN}$ . Η φέρουσα ικανότητα των μικροπασσάλων υπολογίζεται αθροίζοντας τη συνεισφορά της πλευρικής τριβής και

της αντίστασης του πυθμένα. Χρησιμοποιείται η σχέση:  $Q_{ult} = (\tau_{ult} \cdot \pi \cdot D \cdot L) / FS_1 + (0,25 \cdot \pi \cdot D_2 \cdot q_{ult}) / FS_2$  Όπου:

$\tau_{ult}$ : Η τάση πρόσφυσης του μικροπασσάλου

D: Η διάμετρος του μικροπασσάλου ( $D = 0,3 \text{ m}$ )

L: Το μήκος του μικροπασσάλου ( $L = 6,0 \text{ m}$ )

$q_{ult}$ : Η οριακή τάση θραύσης του εδάφους

$FS_1$ : Ο συντελεστής ασφαλείας στη δύναμη πρόσφυσης ( $FS_1 = 1,5$ )

$FS_2$ : Ο συντελεστής ασφαλείας στη δύναμη αντίστασης του πυθμένα ( $FS_2 = 3,0$ )

Η τάση πρόσφυσης του μικροπασσάλου για αργιλικό σχιστόλιθο – μεταίλυόλιθο λαμβάνεται:  $\tau_{ult} := 250$  kPa. Η οριακή τάση θραύσης του εδάφους υπολογίζεται ίση με:  $q_{ult} := 4.602$  kPa.

$$Q_{ult} = (250 \cdot 3,14 \cdot 0,3 \cdot 6,0) / 1,5 + (0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,32 \cdot 4.602) / 3$$

$$= 1.267 \text{ kN}$$

$$= 1,27 \text{ MN}$$

Επειδή

$N_{sd} = 1,10 \text{ MN} < Q_{ult} = 1,27 \text{ MN}$ , προκύπτει ότι ο σχεδιασμός είναι ικανοποιητικός.

### **11.13 Έλεγχοι ευστάθειας (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007)**

Πριν τη κατασκευή της σήραγγας διπλής τροχιάς έγιναν έλεγχοι ευστάθειας για τη σήραγγα και το μέτωπο αυτής καθώς και αναλύσεις ευστάθειας τυχόν σφηνών που θα δημιουργούνταν.

#### **11.13.1 Έλεγχος ευστάθειας σήραγγας με το πρόγραμμα ROCSUPPORT**

Οι αλγόριθμοι της μεθόδου των ακαμψιών εμπεριέχονται στο λογισμικό ROCSUPPORT της εταιρείας Rocscience (Πανεπιστήμιο του Τορόντο, Οντάριο, Καναδάς). Το λογισμικό αυτό χρησιμοποιήθηκε και για την ανάλυση της ευστάθειας της ανυποστήρικτης σήραγγας και στη συνέχεια για τον έλεγχο των αρχικά επιλεγέντων μέτρων υποστήριξής της.

Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμη μία σύντομη αναφορά στις παραδοχές της μεθόδου των ακαμψιών (και του Rocsupport) και τους περιορισμούς που αυτές συνεπάγονται. Οι κυριότερες παραδοχές της μεθόδου είναι:

- Η διατομή της σήραγγας είναι κυκλική
- Το επί τόπου πεδίο των τάσεων είναι υδροστατικό (ίσες εξασκούμενες τάσεις σε όλες τις διευθύνσεις)

- Η βραχομάζα συμπεριφέρεται σαν ένα ισότροπο και ομοιογενές υλικό. Η αστοχία της βραχομάχας δεν είναι συνάρτηση των ασυνεχειών της
- Η αντίδραση της υποστήριξης είναι ελαστική – πλαστική
- Η υποστήριξη προσομοιώνεται σαν μία ισόποση ομοιόμορφη εσωτερική πίεση, εξασκούμενη σε ολόκληρη την περιφέρεια της κυκλικής σήραγγας. Η τελευταία ειδικά παραδοχή θα πρέπει να λαμβάνεται προσεκτικά υπ' όψη, κατά την σύγκριση των αποτελεσμάτων του ROCSUPPORT με την πραγματική συμπεριφορά της σήραγγας. Συνήθως, όπως και στην προκειμένη περίπτωση, η υποστήριξη δεν τοποθετείται σε ολόκληρη την περιφέρεια της σήραγγας, συνεπώς η πραγματική φέρουσα ικανότητα της θα είναι μικρότερη και οι παραμορφώσεις της σήραγγας μεγαλύτερες από τις εκτιμώμενες τιμές με βάση τη μέθοδο της ακαμψίας και τα αποτελέσματα του ROCSUPPORT. Όσον αφορά στη συμπεριφορά της περιβάλλουσας τη σήραγγα βραχομάζας, το ROCSUPPORT δύναται να χρησιμοποιήσει δύο διαφορετικές λύσεις βασιζόμενες σε καταστατικά μοντέλα συμπεριφοράς:

i. Την λύση του Duncan Famma, η οποία βασίζεται στο κριτήριο διατμητικής αστοχίας Mohr-Coulomb και επιτρέπει την εκτίμηση της αντοχής της βραχομάζας και των παραμορφώσεων απαιτώντας εισαγόμενες τιμές για:

- Την θλιπτική αντοχή της βραχομάζας,  $\sigma_{cm}$ .
- Την γωνία διατμητικής αντοχής,  $\phi$ .
- Το μέτρο ελαστικότητας (παραμορφωσιμότητας) της βραχομάζας,  $E_m$ .
- Τον λόγο του Poisson,  $\nu$ .

ii. Την λύση του Caranza-Torres, η οποία βασίζεται στο κριτήριο διατμητικής αστοχίας Hoek-Brown και επιτρέπει την εκτίμηση της αντοχής της βραχομάζας και των παραμορφώσεων απαιτώντας εισαγόμενες τιμές για:

- Την μονοαξονική θλιπτική αντοχή του αρρήκτου πετρώματος,  $\sigma_c$ .
- Τον Γεωλογικό Δείκτη Αντοχής (GSI) της βραχομάζας.

- Την γωνία διασταλτικότητας,  $\alpha$ .
- Τον λόγο του Poisson,  $\nu$ .
- Την σταθερά  $m_i$  του πετρώματος.

Το ιδεατό αυτό μοντέλο, που χρησιμοποιείται στο ROCSUPPORT, σε ουδεμία περίπτωση αντικατέστησε τον τελικό σχεδιασμό της υποστήριξης της σήραγγας, αλλά αποτέλεσε ένα ακόμα «εργαλείο» για την εκτίμηση αυτής. Η τελική επιλογή της υποστήριξης έγινε μετά την ανάλυση της ανυποστήρικτης και υποστηριζόμενης σήραγγας με τη χρήση των διαθέσιμων αριθμητικών μεθόδων (συννοριακά στοιχεία, πεπερασμένα στοιχεία, πεπερασμένες διαφορές, διακριτά στοιχεία), που παρουσιάζουν αποτελεσματικότερα την πραγματική συμπεριφορά της ανυποστήρικτης και υποστηριζόμενης σήραγγας. Τα δεδομένα εισαγωγής στο ROCSUPPORT που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν στις αντιπροσωπευτικές τιμές που επιλέγησαν για την ποιότητα βραχομάζας της περιοχής και περιγράφονται στις ακόλουθες παραγράφους.

Οι αναλύσεις του ROCSUPPORT εκτελέστηκαν για δύο διαφορετικές ισοδύναμες διαμέτρους της σήραγγας έτσι ώστε να επιλεγούν οι κατάλληλες ακτίνες για κάθε διατομή. Οι ακτίνες που χρησιμοποιήθηκαν κατά τις αναλύσεις ROCSUPPORT ήταν όμοιες για τις διατομές I και II ( $R = 3.76$  m και  $R = 4.76$  m) και για την τυπική διατομή III οι ακτίνες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μεγαλύτερες ( $R = 4.66$  m και  $R = 5.51$  m) διότι η διατομή III αποτελεί την πιο βαριά διατομή. Στους Πίνακες 11.9 έως 11.18, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την εκσκαφή της Α΄ Φάσης και για άμεση τοποθέτηση της υποστήριξης.

**Πίνακας 11.9: Αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχομάζας - υποστήριξης για σήραγγα ακτίνας R = 3.76 m τυπική διατομή I- γεωτεχνικό προσομοίωμα Da1 & Da2.**

(Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)

ΔΙΑΤΟΜΗ	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ (2.0 m ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΩΠΟ)				ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ					ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΜΕΤΩΠΟΥ	
		Μέγιστη Αντοχή Υποστήριξης (MPa)	Πίεση Υποστήριξης (MPa)	Μέγιστη Παραμόρφωση Υποστήριξης (%)	Συντελεστής Ασφαλείας FS	Διάμετρος Πλαστικής Ζώνης (m)	Αρχικές Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Αρχικές Συγκλίσεις Σήραγγας (%)	Τελικές Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Τελικές Συγκλίσεις Σήραγγας (%)	Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Συγκλίσεις Σήραγγας (%)
ΑΝΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΗ	Duncan Fama (vas9869)	N/A	N/A	N/A	N/A	3.76	2.82	0.08	2.82	0.08	0.87	0.02
	Carranza – Torres (vas9881)	N/A	N/A	N/A	N/A	3.81	2.84	0.08	2.84	0.08	0.87	0.02
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ I	Duncan Fama (vas9870)	0.08	0.03	0.1	2.74	3.76	1.25	0.03	2.62	0.07	0.87	0.02
	Carranza – Torres (vas9882)	0.08	0.03	0.1	2.75	3.76	1.25	0.03	2.62	0.07	0.87	0.02
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ II	Duncan Fama (vas9871)	0.147	0.03	0.2	5.43	3.76	1.25	0.03	2.63	0.07	0.87	0.02
	Carranza – Torres (vas9883)	0.147	0.03	0.2	5.45	3.76	1.25	0.03	2.63	0.07	0.87	0.02
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ III	Duncan Fama (vas9872)	1.564	0.13	0.2	11.71	3.76	1.25	0.03	1.89	0.05	0.87	0.02
	Carranza – Torres (vas9884)	1.564	0.13	0.2	11.77	3.76	1.25	0.03	1.89	0.05	0.87	0.02

**Πίνακας 11.10: Αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχομάζας - υποστήριξης για σήραγγα ακτίνας R = 3.76 m τυπική διατομή I- γεωτεχνικό προσομοίωμα Db. (Μελέτη**

*Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)*

ΔΙΑΤΟΜΗ	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ (2.0 m ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΩΠΟ)				ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ					ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΜΕΤΩΠΟΥ	
		Μέγιστη Αντοχή Υποστήριξης (MPa)	Πίεση Υποστήριξης (MPa)	Μέγιστη Παραμόρφωση Υποστήριξης (%)	Συντελεστής Ασφαλείας FS	Διάμετρος Πλαστικής Ζώνης (m)	Αρχικές Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Αρχικές Συγκλίσεις Σήραγγας (%)	Τελικές Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Τελικές Συγκλίσεις Σήραγγας (%)	Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Συγκλίσεις Σήραγγας (%)
ΑΝΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΗ	Duncan Fama (vas9932)	N/A	N/A	N/A	N/A	3.76	5.32	0.14	5.32	0.14	1.64	0.04
	Carranza – Torres (vas9940)	N/A	N/A	N/A	N/A	3.98	5.59	0.15	5.59	0.15	1.72	0.05
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ I	Duncan Fama (vas9933)	0.08	0.05	0.1	1.6	3.76	2.35	0.06	4.7	0.13	1.64	0.04
	Carranza – Torres (vas9941)	0.08	0.05	0.1	1.66	3.76	2.47	0.07	4.73	0.13	1.72	0.05
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ II	Duncan Fama (vas9934)	0.147	0.05	0.2	3.14	3.76	2.35	0.06	4.75	0.13	1.64	0.04
	Carranza – Torres (vas9942)	0.147	0.04	0.2	3.27	3.76	2.47	0.07	4.77	0.13	1.72	0.05
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ III	Duncan Fama (vas9935)	1.564	0.17	0.2	8.98	3.76	2.35	0.06	3.19	0.08	1.64	0.04
	Carranza – Torres (vas9943)	1.564	0.17	0.2	9.35	3.76	2.47	0.07	3.27	0.09	1.72	0.05

**Πίνακας 11.11: Αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχομάζας - υποστήριξης για σήραγγα ακτίνας R = 3.76 m τυπική διατομή II- γεωτεχνικό προσομοίωμα Db. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)**

ΔΙΑΤΟΜΗ	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ (1.5 m ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΩΠΟ)				ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ					ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΜΕΤΩΠΟΥ	
		Μέγιστη Αντοχή Υποστήριξης (MPa)	Πίεση Υποστήριξης (MPa)	Μέγιστη Παραμόρφωση Υποστήριξης (%)	Συντελεστής Ασφαλείας FS	Διάμετρος Πλαστικής Ζώνης (m)	Αρχικές Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Αρχικές Συγκλίσεις Σήραγγας (%)	Τελικές Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Τελικές Συγκλίσεις Σήραγγας (%)	Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Συγκλίσεις Σήραγγας (%)
ΑΝΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΗ	Duncan Fama (vas9961)	N/A	N/A	N/A	N/A	3.76	5.32	0.14	5.32	0.14	1.64	0.04
	Carranza – Torres (vas9969)	N/A	N/A	N/A	N/A	3.98	5.59	0.15	5.59	0.15	1.72	0.05
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ Ι	Duncan Fama (vas9962)	0.08	0.05	0.1	1.5	3.76	2.17	0.06	4.67	0.12	1.64	0.04
	Carranza – Torres (vas9970)	0.08	0.05	0.1	1.56	3.76	2.28	0.06	4.69	0.12	1.72	0.05
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ ΙV	Duncan Fama (vas9963)	0.198	0.06	0.2	3.16	3.76	2.17	0.06	4.55	0.12	1.64	0.04
	Carranza – Torres (vas9971)	0.198	0.06	0.2	3.27	3.76	2.28	0.06	4.57	0.12	1.72	0.05
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ V	Duncan Fama (vas9964)	1.616	0.19	0.2	8.66	3.76	2.17	0.06	3.03	0.08	1.64	0.04
	Carranza – Torres (vas9972)	1.616	0.18	0.2	8.97	3.76	2.28	0.06	3.11	0.08	1.72	0.05

**Πίνακας 11.12: Αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχομάζας - υποστήριξης για σήραγγα ακτίνας R = 3.76 m τυπική διατομή II- γεωτεχνικό προσομοίωμα Da2. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)**

ΔΙΑΤΟΜΗ	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ (1.5 m ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΩΠΟ)				ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ					ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΜΕΤΩΠΟΥ	
		Μέγιστη Αντοχή Υποστήριξης (MPa)	Πίεση Υποστήριξης (MPa)	Μέγιστη Παραμόρφωση Υποστήριξης (%)	Συντελεστής Ασφαλείας FS	Διάμετρος Πλαστικής Ζώνης (m)	Αρχικές Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Αρχικές Συγκλίσεις Σήραγγας (%)	Τελικές Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Τελικές Συγκλίσεις Σήραγγας (%)	Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Συγκλίσεις Σήραγγας (%)
ΑΝΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΗ	Duncan Fama (vas9991)	N/A	N/A	N/A	N/A	3.76	2.82	0.08	2.82	0.08	0.87	0.02
	Carranza – Torres (vas9999)	N/A	N/A	N/A	N/A	3.81	2.84	0.08	2.84	0.08	0.87	0.02
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ Ι	Duncan Fama (vas9992)	0.08	0.03	0.1	2.58	3.76	1.15	0.03	2.61	0.07	0.87	0.02
	Carranza – Torres (vas10000)	0.08	0.03	0.1	2.59	3.76	1.16	0.03	2.61	0.07	0.87	0.02
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ ΙV	Duncan Fama (vas9993)	0.198	0.04	0.2	5.33	3.76	1.15	0.03	2.56	0.07	0.87	0.02
	Carranza – Torres (vas10001)	0.198	0.04	0.2	5.35	3.76	1.16	0.03	2.56	0.07	0.87	0.02
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ V	Duncan Fama (vas9994)	1.616	0.14	0.2	11.25	3.76	1.15	0.03	1.82	0.05	0.87	0.02
	Carranza – Torres (vas10002)	1.616	0.14	0.2	11.29	3.76	1.16	0.03	1.82	0.05	0.87	0.02

**Πίνακας 11.13: Αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχομάζας - υποστήριξης για σήραγγα ακτίνας R = 4.76 m τυπική διατομή I- γεωτεχνικό προσομοίωμα Da1 & Da2. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)**

ΔΙΑΤΟΜΗ	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ (2.0 m ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΩΠΟ)				ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ					ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΜΕΤΩΠΟΥ	
		Μέγιστη Αντοχή Υποστήριξης (MPa)	Πίεση Υποστήριξης (MPa)	Μέγιστη Παραμόρφωση Υποστήριξης (%)	Συντελεστής Ασφαλείας FS	Διάμετρος Πλαστικής Ζώνης (m)	Αρχικές Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Αρχικές Συγκλίσεις Σήραγγας (%)	Τελικές Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Τελικές Συγκλίσεις Σήραγγας (%)	Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Συγκλίσεις Σήραγγας (%)
ΑΝΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΗ	Duncan Fama (vas9873)	N/A	N/A	N/A	N/A	4.76	3.57	0.08	3.57	0.08	1.1	0.02
	Carranza – Torres (vas9877)	N/A	N/A	N/A	N/A	4.83	3.59	0.08	3.59	0.08	1.1	0.02
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ I	Duncan Fama (vas9874)	0.063	0.02	0.1	2.54	4.76	1.47	0.03	3.35	0.07	1.1	0.02
	Carranza – Torres (vas9878)	0.063	0.02	0.1	2.55	4.76	1.48	0.03	3.35	0.07	1.1	0.02
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ II	Duncan Fama (vas9875)	0.130	0.03	0.2	5.09	4.76	1.47	0.03	3.35	0.07	1.1	0.02
	Carranza – Torres (vas9879)	0.13	0.03	0.2	5.11	4.76	1.48	0.03	3.35	0.07	1.1	0.02
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ III	Duncan Fama (vas98276)	1.258	0.13	0.2	9.85	4.76	1.47	0.03	2.44	0.05	1.1	0.02
	Carranza – Torres (vas9880)	1.258	0.13	0.2	9.88	4.76	1.48	0.03	2.45	0.05	1.1	0.02

**Πίνακας 11.14: Αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχομάζας - υποστήριξης για σήραγγα ακτίνας R = 4.76 m τυπική διατομή I- γεωτεχνικό προσομοίωμα Db. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)**

ΔΙΑΤΟΜΗ	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ (2.0 m ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΩΠΟ)				ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ					ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΜΕΤΩΠΟΥ	
		Μέγιστη Αντοχή Υποστήριξης (MPa)	Πίεση Υποστήριξης (MPa)	Μέγιστη Παραμόρφωση Υποστήριξης (%)	Συντελεστής Ασφαλείας FS	Διάμετρος Πλαστικής Ζώνης (m)	Αρχικές Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Αρχικές Συγκλίσεις Σήραγγας (%)	Τελικές Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Τελικές Συγκλίσεις Σήραγγας (%)	Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Συγκλίσεις Σήραγγας (%)
ΑΝΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΗ	Duncan Fama (vas9873)	N/A	N/A	N/A	N/A	4.76	3.57	0.08	3.57	0.08	1.1	0.02
	Carranza – Torres (vas9877)	N/A	N/A	N/A	N/A	4.83	3.59	0.08	3.59	0.08	1.1	0.02
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ I	Duncan Fama (vas9874)	0.063	0.02	0.1	2.54	4.76	1.47	0.03	3.35	0.07	1.1	0.02
	Carranza – Torres (vas9878)	0.063	0.02	0.1	2.55	4.76	1.48	0.03	3.35	0.07	1.1	0.02
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ II	Duncan Fama (vas9875)	0.130	0.03	0.2	5.09	4.76	1.47	0.03	3.35	0.07	1.1	0.02
	Carranza – Torres (vas9879)	0.13	0.03	0.2	5.11	4.76	1.48	0.03	3.35	0.07	1.1	0.02
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ III	Duncan Fama (vas98276)	1.258	0.13	0.2	9.85	4.76	1.47	0.03	2.44	0.05	1.1	0.02
	Carranza – Torres (vas9880)	1.258	0.13	0.2	9.88	4.76	1.48	0.03	2.45	0.05	1.1	0.02

**Πίνακας 11.15: Αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχομάζας - υποστήριξης για σήραγγα ακτίνας R = 4.76 m τυπική διατομή II- γεωτεχνικό προσομοίωμα Db. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)**

ΔΙΑΤΟΜΗ	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ (1.5 m ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΩΠΟ)				ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ					ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΜΕΤΩΠΟΥ	
		Μέγιστη Αντοχή Υποστήριξης (MPa)	Πίεση Υποστήριξης (MPa)	Μέγιστη Παραμόρφωση Υποστήριξης (%)	Συντελεστής Ασφαλείας FS	Διάμετρος Πλαστικής Ζώνης (m)	Αρχικές Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Αρχικές Συγκλίσεις Σήραγγας (%)	Τελικές Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Τελικές Συγκλίσεις Σήραγγας (%)	Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Συγκλίσεις Σήραγγας (%)
ΑΝΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΗ	Duncan Fama (vas9965)	N/A	N/A	N/A	N/A	4.76	6.73	0.14	6.73	0.14	2.07	0.04
	Carranza – Torres (vas9973)	N/A	N/A	N/A	N/A	5.03	7.07	0.15	7.07	0.15	2.18	0.05
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ Ι	Duncan Fama (vas9966)	0.063	0.05	0.1	1.39	4.76	2.60	0.05	6.03	0.13	2.07	0.04
	Carranza – Torres (vas9974)	0.063	0.04	0.1	1.43	4.76	2.73	0.06	6.05	0.13	2.18	0.05
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ ΙV	Duncan Fama (vas9967)	0.182	0.06	0.2	2.98	4.76	2.60	0.05	5.79	0.12	2.07	0.04
	Carranza – Torres (vas9975)	0.182	0.06	0.2	3.08	4.76	2.73	0.06	5.82	0.12	2.18	0.05
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ V	Duncan Fama (vas9968)	1.31	0.18	0.2	7.21	4.76	2.60	0.05	3.92	0.08	2.07	0.04
	Carranza – Torres (vas9976)	1.31	0.18	0.2	7.45	4.76	2.73	0.06	4.01	0.08	2.18	0.05

**Πίνακας 11.16: Αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχομάζας - υποστήριξης για σήραγγα ακτίνας R = 4.76 m τυπική διατομή II- γεωτεχνικό προσομοίωμα Da2 (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)**

ΔΙΑΤΟΜΗ	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ (1.5 m ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΩΠΟ)				ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ					ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΜΕΤΩΠΟΥ	
		Μέγιστη Αντοχή Υποστήριξης (MPa)	Πίεση Υποστήριξης (MPa)	Μέγιστη Παραμόρφωση Υποστήριξης (%)	Συντελεστής Ασφαλείας FS	Διάμετρος Πλαστικής Ζώνης (m)	Αρχικές Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Αρχικές Συγκλίσεις Σήραγγας (%)	Τελικές Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Τελικές Συγκλίσεις Σήραγγας (%)	Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Συγκλίσεις Σήραγγας (%)
ΑΝΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΗ	Duncan Fama (vas9995)	N/A	N/A	N/A	N/A	4.76	3.57	0.08	3.57	0.08	1.1	0.02
	Carranza – Torres (vas10003)	N/A	N/A	N/A	N/A	4.83	3.59	0.08	3.59	0.08	1.1	0.02
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ Ι	Duncan Fama (vas9996)	0.063	0.03	0.1	2.42	4.76	1.38	0.03	3.34	0.07	1.1	0.02
	Carranza – Torres (vas10004)	0.063	0.03	0.1	2.43	4.76	1.39	0.03	3.34	0.07	1.1	0.02
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ ΙV	Duncan Fama (vas9997)	0.182	0.04	0.2	5.07	4.76	1.38	0.03	3.25	0.07	1.1	0.02
	Carranza – Torres (vas10005)	0.182	0.04	0.2	5.09	4.76	1.39	0.03	3.26	0.07	1.1	0.02
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ V	Duncan Fama (vas9998)	1.31	0.14	0.2	9.62	4.76	1.38	0.03	2.37	0.05	1.1	0.02
	Carranza – Torres (vas10006)	1.31	0.14	0.2	9.65	4.76	1.39	0.03	2.37	0.05	1.1	0.02



Όπως φαίνεται στους Πίνακες 11.14 έως 11.16, η βραχομάζα συμπεριφέρεται σαν ελαστικό υλικό για ανυποστήρικτη εκσκαφή ολόκληρης της διατομής της σήραγγας ( $R_{ισοδ} = 4,76$  m). Οι παραμορφώσεις και συγκλίσεις της σήραγγας είναι σχετικά μικρές, τόσο με την επίλυση με τη μέθοδο Duncan Famma όσο και με την επίλυση Carranza – Torres. Ταυτόχρονα δεν αναπτύσσεται πλαστική ζώνη περιμετρικά της σήραγγας. Με την τοποθέτηση της υποστήριξης οι συγκλίσεις μειώνονται, και φυσικά και πάλι δεν αναπτύσσεται περιμετρική πλαστική ζώνη.

Επίσης παρατηρείται ότι με την τοποθέτηση της υποστήριξης, ακόμα και αμέσως μετά την εκσκαφή, «κινητοποιείται» μόνο ένα μικρό ποσοστό της προσφερόμενης αντοχής και οι συντελεστές ασφαλείας είναι αρκετά μεγάλοι. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι έχει ήδη αποτονωθεί ένα μεγάλο ποσοστό των γεωστατικών τάσεων και η υποστήριξη παραλαμβάνει ένα μικρό μέρος των αρχικών τάσεων, περίπου 3% έως 10%. Παρά το γεγονός των πολύ μικρών απόλυτων τιμών των τελικών συγκλίσεων όπου δείχνει ότι δεν αποτελεί ένδειξη αδυναμίας εκσκαφής ολόκληρης της διατομής της σήραγγας σε μία φάση, τελικά η εκσκαφή έγινε σε δύο φάσεις με ισοδύναμη ακτίνα εκσκαφής Α΄ Φάσης  $R_{ισοδ} = 3,76$  m για τις τυπικές διατομές I και II.

Με βάση τα αποτελέσματα αυτά εκτιμάται ότι οι σχηματισμοί της περιοχής μελέτης παρουσιάζουν συμπεριφορά βραχώδους υλικού, όπως περιγράφηκε στα προηγούμενα κεφάλαια. Δεδομένης δε της μικρής αλλά ικανοποιητικής επικάλυψης της σήραγγας σε σχέση με το άνοιγμά της και του πολύ ισχυρού σχηματισμού, δεν θεωρείται ως αναγκαία η οιαδήποτε προενίσχυση του μετώπου ή η χρήση ομπρέλας δοκών προπορείας για την εκσκαφή της Α΄ Φάσης της σήραγγας.

**Πίνακας 11.17: Αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχομάζας - υποστήριξης για σήραγγα ακτίνας R = 4.66 m τυπική διατομή III- γεωτεχνικό προσομοίωμα Da3, Dc1, Dc2 (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)**

ΔΙΑΤΟΜΗ	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ (1.0 m ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΩΠΟ)				ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ					ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΜΕΤΩΠΟΥ	
		Μέγιστη Αντοχή Υποστήριξης (MPa)	Πίεση Υποστήριξης (MPa)	Μέγιστη Παραμόρφωση Υποστήριξης (%)	Συντελεστής Ασφαλείας FS	Διάμετρος Πλαστικής Ζώνης (m)	Αρχικές Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Αρχικές Συγκλίσεις Σήραγγας (%)	Τελικές Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Τελικές Συγκλίσεις Σήραγγας (%)	Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Συγκλίσεις Σήραγγας (%)
ΑΝΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΗ	Duncan Fama (vas10031)	N/A	N/A	N/A	N/A	7.42	53.36	1.15	53.36	1.15	16.42	0.35
	Carranza – Torres (vas10039)	N/A	N/A	N/A	N/A	9.06	81	1.74	81	1.74	24.93	0.54
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ I	Duncan Fama (vas10032)	0.064	0.06	0.1	0.72	5.78	19.23	0.41	30.12	0.65	16.42	0.35
	Carranza – Torres (vas10040)	0.064	0.06	0.1	1.12	6.13	29.19	0.63	33.24	0.72	24.93	0.54
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ VI	Duncan Fama (vas10033)	1.942	0.11	1.3	17.44	3.76	19.23	0.41	22.7	0.49	16.42	0.35
	Carranza – Torres (vas10041)	1.942	0.07	1.3	29.74	5.95	29.19	0.63	31.23	0.67	24.93	0.54
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ VII	Duncan Fama (vas10034)	4.328	0.13	1.3	34.12	4.9	19.23	0.41	21.01	0.45	16.42	0.35
	Carranza – Torres (vas10042)	4.328	0.07	1.3	61.99	5.86	29.19	0.63	30.17	0.65	24.93	0.54

**Πίνακας 11.18: Αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχομάζας - υποστήριξης για σήραγγα ακτίνας R = 5.51 m τυπική διατομή III- γεωτεχνικό προσομοίωμα Da3, Dc1, Dc2 (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)**

ΔΙΑΤΟΜΗ	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ (1.0 m ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΩΠΟ)				ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ					ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΜΕΤΩΠΟΥ	
		Μέγιστη Αντοχή Υποστήριξης (MPa)	Πίεση Υποστήριξης (MPa)	Μέγιστη Παραμόρφωση Υποστήριξης (%)	Συντελεστής Ασφαλείας FS	Διάμετρος Πλαστικής Ζώνης (m)	Αρχικές Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Αρχικές Συγκλίσεις Σήραγγας (%)	Τελικές Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Τελικές Συγκλίσεις Σήραγγας (%)	Μετατοπίσεις Οροφής και Παρειών (mm)	Συγκλίσεις Σήραγγας (%)
ΑΝΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΗ	Duncan Fama (vas10035)	N/A	N/A	N/A	N/A	8.76	63.10	1.15	63.10	1.15	19.42	0.35
	Carranza – Torres (vas10043)	N/A	N/A	N/A	N/A	10.72	95.78	1.74	95.78	1.74	29.48	0.54
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ I	Duncan Fama (vas10036)	0.054	0.05	0.1	0.63	7.05	22.22	0.4	38.38	0.7	19.42	0.35
	Carranza – Torres (vas10044)	0.054	0.05	0.1	0.95	7.32	33.72	0.61	40.38	0.73	29.48	0.54
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ VI	Duncan Fama (vas10037)	1.637	0.11	1.3	14.88	6.02	22.22	0.4	27.03	0.49	19.42	0.35
	Carranza – Torres (vas10045)	1.637	0.07	1.3	24.67	7.01	33.72	0.61	36.63	0.66	29.48	0.54
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΥΠΟΥ VII	Duncan Fama (vas10038)	3.683	0.13	1.3	28.78	5.77	22.22	0.4	24.71	0.45	19.42	0.35
	Carranza – Torres (vas10046)	3.683	0.07	1.3	51.22	6.88	33.72	0.61	35.12	0.64	29.48	0.54

Όπως φαίνεται στον **Πίνακα 11.18**, η βραχομάζα συμπεριφέρεται σαν ελαστοπλαστικό υλικό για ανυποστήρικτη εκσκαφή ολόκληρης της διατομής της σήραγγας ( $R_{ισοδ} = 5,51$  m). Ταυτόχρονα αναπτύσσεται πλαστική ζώνη (αντιθέτως με τις προηγούμενες περιπτώσεις) περιμετρικά της σήραγγας πάχους 4 m και 6 m για κάθε μία από τις μεθόδους αντίστοιχα. Με την τοποθέτηση της υποστήριξης οι συγκλίσεις μειώνονται, αλλά φυσικά και πάλι αναπτύσσεται περιμετρική πλαστική ζώνη πάχους κυμαινόμενο από 1 m έως 2,5 m.

Επίσης παρατηρείται ότι με την τοποθέτηση της υποστήριξης, ακόμα και αμέσως μετά την εκσκαφή, «κινητοποιείται» μόνο ένα μικρό ποσοστό της προσφερόμενης αντοχής και οι συντελεστές ασφαλείας είναι αρκετά μεγάλοι. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι έχει ήδη αποτνωθεί ένα μεγάλο ποσοστό των γεωστατικών και η υποστήριξη παραλαμβάνει ένα μικρό μέρος των αρχικών τάσεων, περίπου 5% έως 7%, παρότι στην περίπτωση της υποστήριξης τύπου I (στραγγιστική στρώση σκυροδέματος, κινητοποιείται η πλήρης αντοχή της υποστήριξης (95%). Το γεγονός αυτό, και λόγω των πολύ μεγάλων απόλυτων τιμών των τελικών συγκλίσεων, αποτέλεσε ένδειξη αδυναμίας εκσκαφής ολόκληρης της διατομής της σήραγγας σε μία φάση, και για το λόγο αυτό η ακτίνα εκσκαφής Α΄ Φάσης επιλέχθηκε να είναι:  $R_{ισοδ} = 4,66$  m.

Με βάση τα αποτελέσματα των **Πινάκων 11.17** και **11.18** εκτιμάται ότι οι σχηματισμοί της περιοχής μελέτης παρουσιάζουν συμπεριφορά πτωχής ποιότητας βραχομάζας, όπως περιγράφηκε στα προηγούμενα κεφάλαια. Δεδομένης δε της μικρής επικάλυψης της σήραγγας σε σχέση με το άνοιγμά της και του πτωχού σχηματισμού, θεωρείται ως αναγκαία η προενίσχυση του μετώπου και η χρήση ομπρέλας δοκών προπορείας για την εκσκαφή της Α΄ Φάσης της σήραγγας.

### 11.13.2 Έλεγχος Ευστάθειας Μετώπου Σήραγγας

Στο κεφάλαιο αυτό ελέγχεται η ευστάθεια του μετώπου εκσκαφής, η οποία εξασφαλίζεται από την στερεοστατική ισορροπία ενός πρίσματος, που σχηματίζεται εμπροσθεν του μετώπου της σήραγγας.

Οι δυνάμεις που ασκούνται στο πρίσμα είναι οι εξής (βλέπε **Σχήμα 11.7**) :

- 1) Το βάρος του πρίσματος:

$$W = 0.5 \cdot \gamma \cdot D^2 \cdot B \tan\omega$$

- 2) Η τυχόν ασκούμενη δύναμη P στο μέτωπο εκσκαφής της σήραγγας. Επειδή η διάνοιξη της σήραγγας γίνεται σύμφωνα με τη μέθοδο NATM, η δύναμη αυτή είναι μηδενική.
- 3) Η κατακόρυφη δύναμη R:

$$R = \sigma_v \cdot B \cdot D \cdot \tan\omega$$

Η  $\sigma_v$  είναι η κατακόρυφη πίεση που ασκείται στην επιφάνεια (B'ΒΓΓ') και υπολογίζεται με βάση την θεωρία silos κατά Terzaghi, θεωρώντας ότι το πρίσμα λειτουργεί ως silos.

Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, η λειτουργία τύπου silos εκτείνεται έως ύψος  $H$   $2,5B_{\max} =$  πάνω από την κλείδα της σήραγγας. Έτσι, σύμφωνα με την ανωτέρω παραδοχή, η κατακόρυφη πίεση στην επιφάνεια ΒΓΓ'Β' του πρίσματος είναι:

α. Για  $H \leq 2,5B$  τότε  $\sigma_v = \{[q - (M/\Lambda)]e^{-\Lambda H}\} + (M/\Lambda)$

β. Για  $H > 2,5B = H_{\max}$  τότε  $\sigma_v = \{[q + \gamma \cdot (H - H_{\max}) - (M/\Lambda)]e^{-\Lambda H_{\max}}\} + (M/\Lambda)$

Όπου

$$\Lambda = 2K \cdot [(B + D \tan\omega) / (B \cdot D \cdot \tan\omega)] \cdot \tan\phi$$

Και

$$M = \gamma - 2c \cdot [(B + D \cdot \tan\omega) / (B \cdot d \cdot \tan\omega)]$$

q: η επιφόρτιση στην επιφάνεια του εδάφους

γ: ειδικό βάρος του εδάφους

- 4) Η δύναμη τριβής  $T_s$  που ασκείται στην παράπλευρη επιφάνεια (ΑΒΓ) του πρίσματος:

$$T_s = (0,5 \cdot D^2 \cdot \tan\omega \cdot \tau_f) / F$$

Όπου  $\tau_f$  η διατμητική τάση στην επιφάνεια του εδάφους.

$$T_f = c + K \cdot \sigma_{v0} \cdot \tan\phi \text{ και } \sigma_{v0} = \gamma \cdot [H + (D / 3)]$$

$\sigma_{v0}$  : η κατακόρυφη γεωστατική πίεση

$K$  : ο συντελεστής οριζόντιας ώθησης (0,5-1,0)

$c, \varphi$  : οι παράμετροι αντοχής του εδάφους

$F$  : ο συντελεστής ασφαλείας έναντι του μετώπου εκσκαφής

5) Η ορθή δύναμη  $N$  στη βάση του πρίσματος.

Η διατμητική δύναμη  $T$  στη βάση του πρίσματος:

$$T = [c \cdot (A'AGG') + N \cdot \tan\varphi] / F$$

Οι δυνάμεις αυτές ισορροπούν και συνεπώς :

$$N = (R + W) \cdot \sin\omega + P \cdot \cos\omega$$

$$T\alpha + 2T_S = (R + W) \cdot \cos\omega - P \cdot \sin\omega$$

Αν επιλυθούν οι ανωτέρω σχέσεις ως προς τον συντελεστή ασφαλείας, προκύπτει ότι:

$$F = [N \cdot \tan\varphi + c \cdot (A'AGG') + 2 \cdot \tau_f \cdot (ABG)] / [(R + W) \cdot \cos\omega - P \cdot \sin\omega]$$

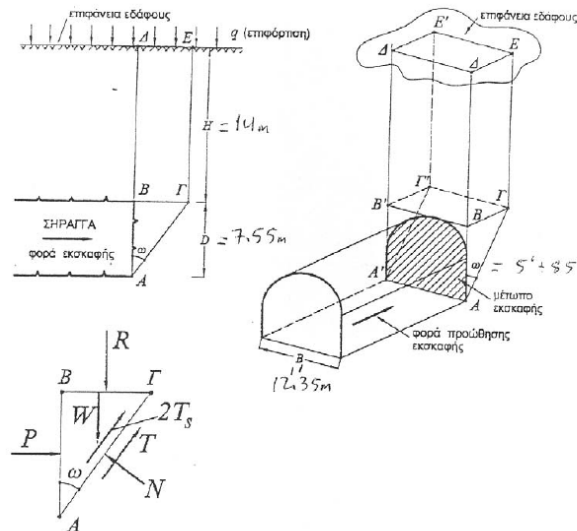
Η παραπάνω σχέση δίνει τον συντελεστή ασφαλείας έναντι αστοχίας του μετώπου εκσκαφής της σήραγγας συναρτήσει της γωνίας  $\omega$  του πρίσματος, η οποία όμως δεν είναι γνωστή. Ο ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας προκύπτει για κάποια συγκεκριμένη γωνία  $\omega$ , η οποία εξαρτάται από τις παραμέτρους του εδάφους καθώς και τη γεωμετρία του πρίσματος.

Οι τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς είναι οι παρακάτω:

- Πλάτος της σήραγγας  $B = 11,20$  m
- Ύψος της διατομής ( $A'$  Φάση)  $D = 5.560$  m
- Ειδικό βάρος εδάφους  $\gamma = 25$  kN/m<sup>3</sup>
- Συντελεστής οριζόντιας ώθησης  $K = 0,60$
- Βάθος διάνοιξης  $H = 14,50$  m

- Επιφόρτιση στην επιφάνεια του εδάφους  $q = 15 \text{ Kpa}$

Χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές τιμές διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών για κάθε κατηγορία βραχομάζας και αντίστοιχη Τυπική Διατομή Προσωρινής Αντιστήριξης της σήραγγας.



**Σχήμα 11.7:** Έλεγχος ευστάθειας μετώπου με τη μέθοδο του πρίσματος. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007)

### Τυπική διατομή προσωρινής αντιστήριξης I

Για τον ισχυρό ασβεστιτικό μεταψαμμίτη:

- Συνοχή  $c = 10 \text{ kPa}$  για τις ασυνέχειες
- Γωνία διατμητικής αντοχής  $\phi = 40^\circ$  για τις ασυνέχειες

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών συνοψίζονται στα παρακάτω:

Χωρίς υποστήριξη ( $P = 0 \text{ KN}$ ) :  $\omega = 25^\circ \div 30^\circ$  και  $F = 1,80$  – Πλήρως αποδεκτό.

### Τυπική διατομή προσωρινής αντιστήριξης II

Για τον μέτρια ισχυρό ασβεστιτικό μεταψαμμίτη:

- Συνοχή  $c = 5$  kPa για τις ασυνέχειες
- Γωνία διατμητικής αντοχής  $\varphi = 40^\circ$  για τις ασυνέχειες

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών συνοψίζονται στα παρακάτω:

Χωρίς υποστήριξη ( $P = 0$  KN) :  $\omega = 20^\circ \div 25^\circ$  και  $F = 1,54$  – Πλήρως αποδεκτό.

Κατά συνέπεια δεν απαιτείται οιαδήποτε προστασία του μετώπου της σήραγγας. Προτείνεται σε περίπτωση εμφάνισης «ψιχαλίσματος» μικροτεμαχίων βραχομάζας, η εφαρμογή στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm (όπου και εάν απαιτηθεί).

#### Τυπική διατομή προσωρινής αντιστήριξης III

Για τον τεκτονισμένο μεταψαμμίτη και τον αργιλικό ιλυόλιθο:

- Συνοχή  $c = 0$  kPa για τις ασυνέχειες
- Γωνία διατμητικής αντοχής  $\varphi = 30^\circ$  για τις ασυνέχειες

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών συνοψίζονται στα παρακάτω:

Χωρίς υποστήριξη ( $P = 0$  KN) :  $\omega = 15^\circ \div 20^\circ$  και  $F = 0,78$  – Μη αποδεκτό

Με υποστήριξη :  $\omega = 35^\circ$  και  $F = 1.50$  – Αποδεκτό για  $P = 2.750$  kN = 275 t, ήτοι 14 αγκύρια  $\times 200$  kN = 2.800 kN = 280 t (παθητικές αγκυρώσεις  $\Phi 25$  /  $L = 12$  m, σε διάτρημα  $\Phi 46$ ).

Είναι προφανές ότι όπου υπάρχει κίνδυνος αστάθειας του μετώπου εκσκαφής λόγω σχηματισμού του πρίσματος, προβλέπεται η τοποθέτηση και υαλόκαρφων στο μέτωπο προσβολής για τους παρακάτω λόγους:

- Αποφυγή τοπικών αστοχιών μπροστά στο μέτωπο, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε μεγαλύτερες αστοχίες σε περιπτώσεις που θα συναντηθούν υλικά χαλαρά ή διυγραμμένα.
- Περιορισμό του μεγέθους των πρόδρομων παραμορφώσεων και παραμορφώσεων στην υποστήριξη.
- Επίτευξη ελεγχόμενης κατασκευής στο μέτωπο.
- Διασφάλιση της διατομής σε περιπτώσεις έκκεντρων ή λοξών φορτίσεων από κακής ποιότητας υλικά στην εγκάρσια διατομή της σήραγγας.
- Εξασφάλιση μίας ομαλής διαδικασίας εκσκαφής και εφαρμογής της υποστήριξης σε περιπτώσεις όπου τα υλικά παρουσιάζουν μεγάλη ανομοιογένεια ή ανισοτροπία.

### 11.13.3 Ανάλυση ευστάθειας σφηνών

Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για το τεκτονικό σύστημα των ασυνεχειών (οικογένειες ασυνεχειών, διευθύνσεις μέγιστων κλίσεων και μέγιστες κλίσεις), δεν είναι δυνατή η πραγματοποίηση αναλυτικών υπολογισμών. Συνεπώς εκτιμήθηκε ότι ασταθείς σφήνες σχηματίζονται τόσο στην οροφή όσο και στα τοιχώματα της σήραγγας. Κατά κανόνα, ο συνδυασμός αγκυρίων βράχου, μήκους  $l = 4,00$  m και  $l = 6,00$  m, με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, πάχους 15 cm, 20 cm για τις τυπικές διατομές άμεσης υποστήριξης I και II και ο συνδυασμός δοκών προπορείας, χαλύβδινου δικτυωτού πλαισίου ανά 1,0 m και εκτοξευμένου σκυροδέματος πάχους 30 cm για τις τυπικές διατομές άμεσης υποστήριξης IIIα, IIIβ, IIIγ και IIIδ, επαρκεί για την επίτευξη ικανοποιητικού συντελεστή ασφάλειας.

Ενδέχεται σε περιορισμένες περιπτώσεις και ανάλογα με τις επί τόπου συνθήκες διάνοιξης, αν και ο συντελεστής ασφάλειας που επιτυγχάνεται με τα μέτρα υποστήριξης είναι ικανοποιητικός, να απαιτηθεί να χρησιμοποιηθούν αγκύρια μεγαλύτερου των 6,00 m μήκους, ώστε να επιτυγχάνεται η πάκτωση τους σε βάθος



πέρα από την κορυφή των σφηνών. Τονίζεται ότι, σε πολλές περιπτώσεις, για να σχηματιστούν οι σφήνες στις μέγιστες διαστάσεις τους, προϋποτίθεται η παρουσία επίπεδων ασυνεχειών σε σημαντικό μήκος, γεγονός που δεν συμβαδίζει συχνά με τις επί τόπου παρατηρήσεις.

Γενικά θεωρείται ότι προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητικός συντελεστής ασφάλειας έναντι αστοχίας των σφηνών βράχου που σχηματίζονται στο θόλο και στις παρειές της σήραγγας, είναι απαραίτητη η εφαρμογή μέτρων υποστήριξης με αγκύρια και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, σε όλο το μήκος εφαρμογής της συγκεκριμένης Τυπικής Διατομής. Σημειώνεται, ιδιαίτερα, ότι η αρχική (επιδερμική) στρώση εκτοξευομένου σκυροδέματος στην περίμετρο και στο μέτωπο της σήραγγας, κατά τη διάνοιξη της σήραγγας σε βραχομάζα αυτής της κατηγορίας, πάχους 5 cm, είναι καθοριστικός παράγοντας για τη μείωση της δυνατότητας «κινητοποίησης» τυχόν σχηματιζόμενης σφήνας. Επίσης, στον τελικό «καθρέφτη» της σήραγγας στις πτωχές ποιότητας βραχομάζες (Τυπικές Διατομές IIIα, IIIβ, IIIγ και IIIδ) προτείνεται η χρήση υαλόκαρφων μήκους 12 m σε κάναβο 1,5 m οριζόντια x 2,0 m κατακόρυφα, για την ενίσχυση του μετώπου.

Εκτιμήθηκε ότι η προτεινόμενη χρήση αγκυρώσεων, μήκους 4 m στις παρειές της Α' Φάσης εκσκαφής και σε κάναβο 2,0 m x 2,0 m και 2,0 m x 1,5 m σε συνδυασμό με τη χρήση εκτοξευμένου σκυροδέματος πάχους 15 cm + 20 cm είναι επαρκείς για τα παραπάνω δεδομένα για τις Τυπικές Διατομές Άμεσης Υποστήριξης I και II. Ο συνδυασμός επίσης δοκών προπορείας χαλύβδινου δικτυωτού πλαισίου ανά 1,0 m και εκτοξευμένου σκυροδέματος πάχους 30 cm για τις Τυπικές Διατομές Άμεσης Υποστήριξης IIIα, IIIβ, IIIγ και IIIδ εξασφαλίζει την διάνοιξη της σήραγγας από τυχόν αστοχίες σφηνών.

## 11.14 Γεωτεχνική και δομητική παρακολούθηση της συμπεριφοράς της σήραγγας (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007)

### 11.14.1 Περιγραφή οργάνων - συχνότητα μετρήσεων συστήματος ΓΔΠ

Για την Γεωτεχνική και Δομητική Παρακολούθηση της σήραγγας έγινε εγκατάσταση οργάνων στην σήραγγα και στην επιφάνεια του εδάφους άνω της σήραγγας, καθώς και πλησίον υφισταμένων κτηρίων. Οι κύριες μετρήσεις που γίνονταν κατά τη φάση εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης της σήραγγας αφορούσαν στις παραμορφώσεις της εσωτερικής επιφάνειάς της. Οι παραμορφώσεις, που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια εκσκαφής και υποστήριξης μίας σήραγγας, ακολουθούν μία εξελικτική πορεία και συγκλίνουν σε μία τελική τιμή. Η κατασκευή της μόνιμης επένδυσης γίνεται αφού έχουν σταματήσει οι παραμορφώσεις αυτές. Τα όργανα και το όλο πρόγραμμα των οργανομετρήσεων περιγράφεται συνοπτικά στον Πίνακα 11.19:

**Πίνακας 11.19: Τύποι οργάνων γεωτεχνικής & δομητικής παρακολούθησης (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007)**

Σήραγγα διπλής τροχιάς	
Στοιχείο προς μέτρηση	Όργανο μέτρησης
Μετακινήσεις κτηρίων	Μάρτυρες 3D Χωροσταθμικές ακίδες Ρωγμόμετρα
Μετακινήσεις επιφανείας οδοστρώματος	Χωροσταθμικές ακίδες
Μετακινήσεις επιφανείας εδάφους	Χωροσταθμικές ακίδες Εκτασιόμετρα 5 σημείων
Οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις σε βάθος	Κλισιόμετρα – Ολισθαίνοντα μικρόμετρα (διπλά όργανα)
Κατακόρυφες μετακινήσεις εδαφικών στρώσεων	Εκτασιόμετρα 5 σημείων
Παραμορφώσεις στην προσωρινή υποστήριξη της σήραγγας	Μάρτυρες 3D (ανά 10m σήραγγας, 3 σημεία για την Α' φάση εκσκαφής, 2 σημεία για την Β' φάση εκσκαφής) Κυψέλες πίεσης (1 διατομή 5 σημείων)
Παραμορφώσεις και πιέσεις στην μόνιμη επένδυση της σήραγγας	Μάρτυρες 3D Παραμορφωσίμετρα Κυψέλες πίεσης
Στάθμη υπόγειων υδάτων	Πιεζόμετρα ανοικτού τύπου Πιεζόμετρα τύπου Casagrande Πιεζόμετρα τύπου δονούμενης χορδής
Εισροή υπόγειων υδάτων	Αγωγοί τριγωνικής διατομής (v-notch) Ωρομετρητές αντλιών

Τα όργανα παρακολούθησης που χρησιμοποιούνται στη σήραγγα είναι ακίδες μέτρησης μετατοπίσεων. Συγκεκριμένα, στην άμεση υποστήριξη της σήραγγας τοποθετούνται πέντε (5) ακίδες μέτρησης σύγκλισης ανά διατομή, τρεις (3) ακίδες στην πρώτη φάση εκσκαφής και δύο (2) στη δεύτερη.

Τα στοιχεία που θα μετρώνται και καταγράφονται είναι:

- i. Μετακινήσεις κτηρίων και κατασκευών που βρίσκονται μέσα στην ζώνη επιρροής του Έργου ή και πέραν αυτής, περιλαμβάνοντας ολική και διαφορική καθίζηση, ανύψωση, μετακινήσεις σε τρεις διαστάσεις (3D), κλίση κλπ.
- ii. Μετακινήσεις της επιφάνειας του εδάφους (καθίζηση, ανύψωση, μετακινήσεις σε τρεις διαστάσεις - 3D).
- iii. Μετακινήσεις στη ζώνη κάτω από την επιφάνεια του εδάφους που περιβάλλει το έργο (οριζόντιες και κατακόρυφες).
- iv. Συγκλίσεις και μετακινήσεις των προσωρινών και μόνιμων τοιχωμάτων των εκσκαφών, σιράγγων και κατασκευών.

Η θέση επιρροής καθορίζεται σε απόσταση 3D από τον άξονα της σήραγγας, ήτοι  $3 \times 11\text{m} = 30 \text{ m}$  δεξιά και αριστερά του άξονα. Θα τοποθετήθηκαν χωροσταθμικά σημεία 3D μετρήσεων στην περιβάλουσα εδαφική ζώνη επιρροής του υπόγειου έργου. Κατά μήκος της όδευσης της σήραγγας υπάρχουν κτίρια στη περιοχή εκατέρωθεν του άξονα για τα οποία και είχε εκπονηθεί μελέτη ειδικής τρωτότητας.

Οι διατομές μέτρησης συγκλίσεων περιλαμβάνουν τρεις οπτικούς στόχους, που τοποθετήθηκαν στην Α' Φάση (άνω ημιδιατομή) της σήραγγας, περιλαμβάνοντας έναν στη στέψη, και τουλάχιστον δύο συμμετρικά στις παρειές περί το 1,5 m από το προσωρινό δάπεδο εργασίας της Α' Φάσης. Στη Β' Φάση εκσκαφής τοποθετήθηκαν δύο πρόσθετοι στόχοι συμμετρικά στις παρειές, περί το 1,5 m από το δάπεδο εργασίας της Β' Φάσης, στις ίδιες διατομές συγκλίσεων της άνω ημιδιατομής. Στη σήραγγα διπλής τροχιάς τοποθετήθηκαν, οπτικοί στόχοι (σύνολο  $5 = 3$  στην Α' Φάση + 2 στην Β' Φάση) ανά 10 m κατά μήκος της σήραγγας.

Το πρόγραμμα των μετρήσεων προέβλεπε όργανα και θέσεις παρακολούθησης που φαίνονται στον **Πίνακα 11.20**. Σε γενικές γραμμές οι μετρήσεις γίνονταν μία φορά την ημέρα κατά την 1η εβδομάδα και έως την ολοκλήρωση της

διάνοιξης της σήραγγας διπλής τροχιάς, μετά την τοποθέτηση των ακίδων, μία φορά ανά τρεις ημέρες κατά τη 2η και 3η εβδομάδα, μία φορά ανά επτά ημέρες την 4η έως 8η εβδομάδα και μία φορά ανά 14 ημέρες την 9η έως την 18η εβδομάδα. Η συχνότητα των μετρήσεων γίνονταν συχνότερα όταν παρατηρούνταν πύκνωση, των μετακινήσεων.

**Πίνακας 11.20: Συχνότητα και διάρκεια μετρήσεων προγράμματος ΓΔΠ. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007)**

ΟΡΓΑΝΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	
	ΟΡΥΓΜΑ	ΟΜΟΡΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ
3-D ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΩΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΩΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΩΝ ΑΚΙΔΩΝ	ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΩΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΩΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ

Οι μετρήσεις γίνονταν με ηλεκτρονικό τοπογραφικό όργανο ακριβείας και αφορούσαν τόσο στις αποστάσεις των ακίδων μεταξύ τους όσο και στις κατακόρυφες και οριζόντιες μετακινήσεις κάθε ακίδας (X, Y, Z). Από τις μετρήσεις αυτές υπολογίσθηκαν οι ακτινικές και εφαπτομενικές συνιστώσες των παραμορφώσεων των σημείων και συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες προβλέψεις παραμορφώσεων της μελέτης. Τιμές συγκλίσεων ανώτερες των ορίων αποδοχής συγκλίσεων θα προειδοποιούσαν για ενδεχόμενη αστάθεια της σήραγγας. Σε περίπτωση που συμβαίνει κάτι τέτοιο πρέπει να εξετάζεται αμέσως η πραγματικά επικρατούσα κατάσταση, δηλαδή οι τοπικές συνθήκες της βραχομάζας, με πιθανή επανεκτίμηση των γεωμηχανικών της παραμέτρων, του τρόπου εκσκαφής της καθώς και των μέτρων υποστήριξης και του χρόνου εφαρμογής τους. Η τοποθέτηση των ακίδων έπρεπε να γίνει έγκαιρα διαφορετικά θα αποδυναμωνόταν η σημασία τοποθέτησης των οργάνων και δεν θα συλλέγονται οι σωστές πληροφορίες.

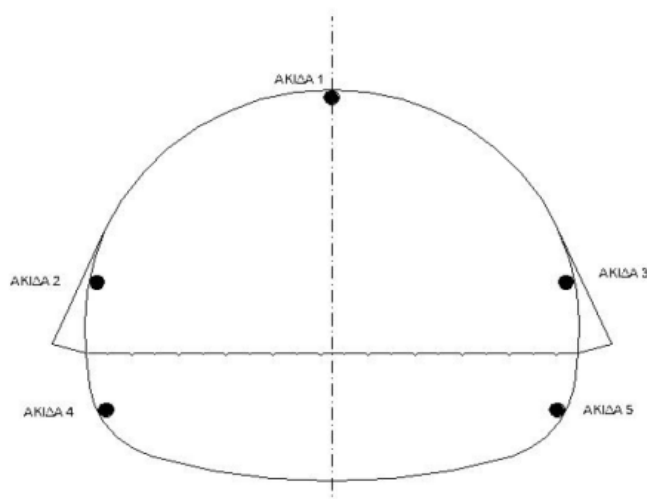
#### **11.14.2 Σχέδιο αντιμετώπισης εκτάκτων καταστάσεων**

Λεπτομέρειες για το σχέδιο αντιμετώπισης εκτάκτων καταστάσεων, με βάση τις πληροφορίες από τις μετρήσεις του Προγράμματος ΓΔΠ, αναφέρονται στις παραγράφους σχετικές με τα πρόσθετα μέτρα προσωρινής υποστήριξης. Σύμφωνα με

τις προδιαγραφές, τα όρια επιφυλακής και συναγερμού, καθώς και οι τιμές αναφοράς, αφορούν μετατοπίσεις και παραμορφώσεις στην επιφάνεια του εδάφους. Δεν λαμβάνεται δηλαδή υπόψη (άμεσα) η παραμόρφωση της ίδιας σήραγγας, αν και γίνονται συχνές μετρήσεις των μετατοπίσεων στην περίμετρο της εκσκαφής.

#### 11.14.3 Αξιοποίηση μετρήσεων στην περίμετρο της σήραγγας

Στην περίμετρο της σήραγγας τοποθετήθηκαν συνολικά πέντε ακίδες μετρήσεων. Μία στη στέψη, δύο στα πλαϊνά τοιχώματα, σε ύψος 1.5 m περίπου από τον πυθμένα της εκσκαφής της Α' φάσης, και δύο στα πλαϊνά τοιχώματα, σε ύψος 1.5 m περίπου από τον πυθμένα της εκσκαφής της Β' φάσης. Οι θέσεις των ακίδων φαίνονται προσεγγιστικά στο **Σχήμα 11.8**. Περιλαμβάνονται τα κύρια στάδια της ανάλυσης μόνο.



**Σχήμα 11.8:** Θέσεις Των Ακίδων Μέτρησης Των Παραμορφώσεων. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)

#### 11.14.4 Αξιοποίηση Μετρήσεων Στην Επιφάνεια

Στον **Πίνακα 11.21** παρουσιάζονται οι μέγιστες μετατοπίσεις και παραμορφώσεις στην επιφάνεια του εδάφους. Η μέγιστη καθίζηση παρουσιάζεται πάντα στον άξονα της σήραγγας. Η γωνιακή και η οριζόντια παραμόρφωση

υπολογίζεται παραγωγίζοντας τα διαγράμματα, μιας και η παραμόρφωση ισούται με τη μεταβολή της τιμής δια του μήκους. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτός ο τρόπος υπολογισμού των παραμορφώσεων δεν είναι ιδιαίτερα χρήσιμος, μιας και δεν αναφέρεται σε κάποια συγκεκριμένη κατασκευή.

**Πίνακας 11.21: Τιμές αναμενόμενων μετατοπίσεων στην επιφάνεια (όρια αναφοράς).  
(Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007)**

ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΠΩΣ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ		
Χ.Θ. 1+392.50 - Χ.Θ. 1+530		
ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΙΙ		
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Db		
ΑΡΧΕΙΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ: vas9986		
ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗ (mm)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΓΩΝΙΑΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (%)
2.5	1:4039	0.03
Χ.Θ. 1+392.50 - Χ.Θ. 1+530		
ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ Ι		
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Db		
ΑΡΧΕΙΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ: vas9957		
ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗ (mm)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΓΩΝΙΑΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (%)
3.3	1:3380	0.04
Χ.Θ. 1+530 - Χ.Θ. 1+565		
ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ Ι		
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Da1		
ΑΡΧΕΙΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ: vas9903		
ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗ (mm)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΓΩΝΙΑΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (%)
1.6	1:5846	0.02
Χ.Θ. 1+565 - Χ.Θ. 1+585		
ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΙΙ		
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Da2		
ΑΡΧΕΙΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ: vas10013		
ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗ (mm)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΓΩΝΙΑΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (%)
0.0	0	0.00
Χ.Θ. 1+585 - Χ.Θ. 1+600		
ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΙΙΙα		
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Da3		
ΑΡΧΕΙΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ: vas10054		
ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗ (mm)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΓΩΝΙΑΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (%)
9.0	1:2018	0.05
Χ.Θ. 1+600 - Χ.Θ. 1+660		
ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΙΙΙβ		
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Dc1		
ΑΡΧΕΙΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ: vas10079		
ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗ (mm)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΓΩΝΙΑΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (%)
16.0	1:1040	0.08
Χ.Θ. 1+600 - Χ.Θ. 1+660		
ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΙΙΙα		
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Dc1		
ΑΡΧΕΙΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ: vas10084		
ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗ (mm)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΓΩΝΙΑΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (%)
14.5	1:1000	0.09
Χ.Θ. 1+660 - Χ.Θ. 1+681.29		
ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΙΙΙα		
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Dc2		
ΑΡΧΕΙΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ: vas10102		
ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗ (mm)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΓΩΝΙΑΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (%)
9.0	1:1130	0.07
Χ.Θ. 1+660 - Χ.Θ. 1+681.29		
ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΙΙΙβ		
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Dc2		
ΑΡΧΕΙΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ: vas10093		
ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗ (mm)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΓΩΝΙΑΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (%)
11.0	1:1180	0.08

#### 11.14.5 Καθορισμός Ορίων Επιφυλακής Και Συναγερμού

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ, τα όρια επιφυλακής και συναγερμού, καθορίζονται με βάση τις επιφανειακές παραμορφώσεις. Συμβαδίζοντας με τις προδιαγραφές, παρακάτω δίνονται τα αντίστοιχα όρια. Κρίθηκε όμως απαραίτητο να αξιοποιηθούν και οι μετρήσεις στην περίμετρο της σήραγγας. Γι' αυτό

το λόγο επιλέχθηκαν τα αντίστοιχα όρια επιφυλακής και συναγερού με βάση τις συγκλίσεις της σήραγγας. Σε όσα αναφέρονται παρακάτω, εκτός από τα αποτελέσματα των αναλύσεων, έχουν ληφθεί υπόψη και τα όρια επιφυλακής και συναγερού που προδιαγράφει η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ.

Στους Πίνακες 11.22 έως 11.24 φαίνονται συγκεντρωτικά τα όρια επιφυλακής και συναγερού που υιοθετούνται, για κάθε τυπική διατομή. Η αξιοποίηση των μετρήσεων έγινε με τον τρόπο που φαίνεται στον Πίνακα 11.25. Όταν οποιαδήποτε τιμή φτάσει το 50% των ορίων επιφυλακής, ενημερώνεται και ο μελετητής αλλά και η υπηρεσία. Εάν το 50 % ξεπεραστεί και οι μετρήσεις πλησιάζουν το 100 % των ορίων επιφυλακής, είναι απαραίτητο να γίνει σύσκεψη όλων των ενδιαφερόμενων μελών και να συμφωνηθούν τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν. Εάν οι μετρήσεις συνεχίσουν να γίνονται δυσμενέστερες, και τα όρια επιφυλακής ξεπεραστούν, πρέπει να τεθεί σε εφαρμογή το σχέδιο που θα έχει προαποφασιστεί.

**Πίνακας 11.22: Τιμές των ορίων επιφυλακής και συναγερού τυπική διατομή Ι. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007)**

	Μέγεθος	Ευαίσθητο Κτίριο ή Κατασκευή	Άλλο Κτίριο, Δρόμος ή Πεζοδρόμιο ή Δίκτυα ΟΚΩ
ΟΡΙΑ ΕΠΙΦΥΛΑΚΗΣ	Ολική Καθίζηση	10 mm	10 mm
	Γωνιακή Παραμόρφωση	1:1600	1:1600
	Ρυθμός Μεταβολής Ολικής Παραμόρφωσης	1.5 mm/ημέρα	1.5 mm/ημέρα
	Ρυθμός Μεταβολής Ανοίγματος Ρωγμής	0.25 mm/ημέρα	0.25 mm/ημέρα
	Οριζόντια Παραμόρφωση	0.10 %	0.10 %
ΟΡΙΑ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ	Ολική Καθίζηση	20 mm	30 mm
	Γωνιακή Παραμόρφωση	1:800	1:600
	Ρυθμός Μεταβολής Ολικής Παραμόρφωσης	3.0 mm/ημέρα	4.0 mm/ημέρα
	Ρυθμός Μεταβολής Ανοίγματος Ρωγμής	1.0 mm/ημέρα	1.0 mm/ημέρα
	Οριζόντια Παραμόρφωση	0.15 %	0.30 %



**Πίνακας 11.23: Τιμές των ορίων επιφυλακής και συναγερού τυπική διατομή II. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007)**

	Μέγεθος	Ευαίσθητο Κτίριο ή Κατασκευή	Άλλο Κτίριο, Δρόμος ή Πεζοδρόμιο ή Δίκτυα ΟΚΩ
ΟΡΙΑ ΕΠΙΦΥΛΑΚΗΣ	Ολική Καθίζηση	15 mm	15 mm
	Γωνιακή Παραμόρφωση	1:1200	1:1200
	Ρυθμός Μεταβολής Ολικής Παραμόρφωσης	2.0 mm/ημέρα	2.0 mm/ημέρα
	Ρυθμός Μεταβολής Ανοίγματος Ρωγμής	0.5 mm/ημέρα	0.5 mm/ημέρα
	Οριζόντια Παραμόρφωση	0.10 %	0.10 %
ΟΡΙΑ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ	Ολική Καθίζηση	20 mm	30 mm
	Γωνιακή Παραμόρφωση	1:800	1:600
	Ρυθμός Μεταβολής Ολικής Παραμόρφωσης	3.0 mm/ημέρα	4.0 mm/ημέρα
	Ρυθμός Μεταβολής Ανοίγματος Ρωγμής	1.0 mm/ημέρα	1.0 mm/ημέρα
	Οριζόντια Παραμόρφωση	0.15 %	0.30 %

**Πίνακας 11.24: Τιμές των ορίων επιφυλακής και συναγερού τυπική διατομή III. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχιάς, Αττικό Μετρό, 2007)**

	Μέγεθος	Ευαίσθητο Κτίριο ή Κατασκευή	Άλλο Κτίριο, Δρόμος ή Πεζοδρόμιο ή Δίκτυα ΟΚΩ
ΟΡΙΑ ΕΠΙΦΥΛΑΚΗΣ	Ολική Καθίζηση	15 mm	20 mm
	Γωνιακή Παραμόρφωση	1:1200	1:800
	Ρυθμός Μεταβολής Ολικής Παραμόρφωσης	2.0 mm/ημέρα	3.0 mm/ημέρα
	Ρυθμός Μεταβολής Ανοίγματος Ρωγμής	0.5 mm/ημέρα	0.5 mm/ημέρα
	Οριζόντια Παραμόρφωση	0.10 %	0.20 %
ΟΡΙΑ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ	Ολική Καθίζηση	20 mm	30 mm
	Γωνιακή Παραμόρφωση	1:800	1:600
	Ρυθμός Μεταβολής Ολικής Παραμόρφωσης	3.0 mm/ημέρα	4.0 mm/ημέρα
	Ρυθμός Μεταβολής Ανοίγματος Ρωγμής	1.0 mm/ημέρα	1.0 mm/ημέρα
	Οριζόντια Παραμόρφωση	0.15 %	0.30 %

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στη σήραγγα, αξιοποιείται το σχέδιο έκτακτης ανάγκης, που φαίνεται στον **Πίνακα 11.25**.

**Πίνακας 11.25: Λήψη μέτρων έκτακτης ανάγκης σύμφωνα με τις τιμές ορίων επιφυλακής. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)**

ΤΙΜΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	< 50%	50%	70%	100%	> 100%
	....→	....→	....→	....→	....→
<b>ΜΕΤΡΑ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ</b>	Ουδεμία ενέργεια	Ενημέρωση Με- λετητή Ενημέρωση Υπηρεσίας	Σύσκεψη και καθορισμός μέ- τρων ενίσχυσης	Εφαρμογή προ- ταθέντων μέ- τρων ενίσχυσης	

Συμπληρωματικά, και έχοντας υπόψη τις συγκλίσεις της σήραγγας, η μέτρηση των οποίων είναι μέσα στα πλαίσια ενός καλά οργανωμένου συστήματος παρακολούθησης, προτείνονται σαν όρια επιτρεπόμενων συγκλίσεων αυτά του **Πίνακα 11.26**, για κάθε τύπο διατομής.

**Πίνακας 11.26: Επιτρεπόμενη σύγκλιση. (Μελέτη Σήραγγας Διπλής Τροχίας, Αττικό Μετρό, 2007)**

ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ	I	II	III
<b>ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΣΥΓΚΛΙΣΗ S (mm)</b>	10	15	20

## 12 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως σκοπό την παρουσίαση και ανάλυση των τεχνικογεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών που συνατήθηκαν κατά τη διάρκεια της μελέτης και της κατασκευής του έργου της επέκτασης της Γραμμής 2 του μετρό Αθηνών. Επίσης, αναφέρονται αναλυτικά τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης και η μεθοδολογία κατασκευής τους. Τέλος, στην εργασία αυτή παρουσιάστηκαν τα τυχόν προβλήματα που θα προέκυπταν κατά τη διάρκεια κατασκευής, καθώς και τα μέτρα που πάρθηκαν έτσι ώστε να αποφευχθούν.

Από τις επιτόπου εργαστηριακές δοκιμές και τις γεωτεχνικές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν προέκυψε ότι η περιοχή του έργου απαρτιζόταν από συνολικά έξι (6) γεωλογικές ενότητες, οι τρεις (3) εκ των οποίων ανήκουν στο σχηματισμό του Αθηναϊκού Σχιστολίθου. Ο δείκτης γεωλογικής αντοχής (GSI) των σχηματισμών αυτών κυμαινόταν από 15 έως 70 δηλαδή, η ποιότητά τους κυμαινόταν από μέτρια έως πολύ καλή. Από τις μετρήσεις που πάρθηκαν από τα εγκατεστήμενα πιεζόμετρα προέκυψε ότι:

- Ο υδροφόρος ορίζοντας στο υπόγειο τμήμα του Σταθμού κυμαινόταν από 4 έως 11 m, περίπου
- Στο τμήμα ανοικτής εκσκαφής του Σταθμού το ύψος του υδροφόρου ήταν μεταξύ 4 και 8 m περίπου, ενώ
- Κατά μήκος της σήραγγας διπλής τροχιάς, το ύψος τα του υδροφόρου ορίζοντα ελάμβανε τιμές από 4 έως 21 m, περίπου.

Ο σχετικά υψηλός υδροφόρος ορίζοντας οφείλεται κυρίως στην παρουσία του Αθηναϊκού Σχιστολίθου ο οποίος χαρακτηρίζεται γενικά ως αδιαπέρατος σχηματισμός. Το αποτέλεσμα της παρουσίας του Αθηναϊκού Σχιστολίθου ήταν η δημιουργία ενός επικρεμάμενου υδροφόρου ορίζοντα σε ύψη που αναφέρθηκαν παραπάνω. Ωστόσο, αυτό δεν αποτέλεσε πρόβλημα κατά την εκσκαφή εφόσον δεν υπήρχαν ρέοντα ύδατα. Στο πέτρωμα εκσκάφτηκαν ανακουφιστικές οπές απ' όπου ελεγχόμενα γινόταν η άντληση.

Πέρα από τον υψηλό υδροφόρο ορίζοντα, τα προβλήματα που πιθανόν να προέκυπταν στο συγκεκριμένο έργο είναι τα εξής:

- Καθιζήσεις στις κατασκευές πέριξ του έργου
- Αστάθεια σήραγγας (διπλής τροχιάς και υπογείου τμήματος Σταθμού)
- Αστάθεια μετώπου εκσκαφής (σήραγγα διπλής τροχιάς και υπογείου τμήματος Σταθμού)
- Πτώση σφηνών εντός της σήραγγας (διπλής τροχιάς και υπογείου τμήματος Σταθμού)

Για την πρόληψη των παραπάνω προβλημάτων πάρθηκαν τα ακόλουθα μέτρα:

- Ελαστοπλαστικές αναλύσεις με χρήση του προγράμματος PLAXIS v. 7.2 για τον καθορισμό του συστήματος προσωρινής υποστήριξης
- Εφαρμογή συστημάτων υποστήριξης στις κατασκευές στη ζώνη επιρροής του έργου
- Αναλύσεις ευστάθειας στα υπογείως διανοιγόμενα τμήματα του έργου (σήραγγα διπλής τροχιάς και υπογείου Σταθμού) με χρήση προγράμματος RocSupport
- Αναλύσεις ευστάθειας στο μέτωπο εκσκαφής
- Αναλύσεις ευστάθειας σφηνών
- Γεωτεχνική και δομητική παρακολούθηση των καθιζήσεων και των παραμορφώσεων σε όλα τα τμήματα του έργου

Η εφαρμογή των παραπάνω μέτρων είχε ως αποτέλεσμα την υλοποίηση ενός έργου με υψηλό συντελεστή ασφαλείας και ελεγχόμενη συμπεριφορά όσον αφορά τα προβλήματα που θα μπορούσαν να προκύψουν. Το προσωρινό σύστημα υποστήριξης σχεδιάστηκε έτσι ώστε να περιοριστούν οι μετακινήσεις σε τιμές μικρότερες των μέγιστων επιτρεπόμενων και να εξασφαλίζονται ικανοποιητικές συνθήκες ευστάθειας έναντι γενικής θραύσης του εδάφους.

Τέλος, ένα γενικό συμπέρασμα που προκύπτει μέσω της παρούσης εργασίας είναι ότι ένα τέτοιο έργο δεν αποτελεί ένα δυσεπίλυτο και υπερβολικά χρονοβόρο

κατασκευαστικό πρόβλημα με αμφισβητούμενη ασφάλεια, αλλά μάλλον ένα έργο μεθοδικής εργασίας.

### **13 Βιβλιογραφία (αλφαβητικά)**

1. ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ, ΑΓ ΚΑΙ ΠΑΠΑΔΟΠΥΛΟΣ, ΒΠ (1989):  
"Επιφανειακές Θεμελιώσεις" Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα
2. ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ (2007): Ενημερωτικό Έντυπο, Αθήνα
3. ΙΓΜΕ (1986): Υδρογεωλογική Μελέτη Περιστερίου Αττικής "Προβλήματα Υπέμετρου Στάθμης Του Υδροφόρου", Αθήνα
4. ΙΓΜΕ (2008): Γεωτεχνική Μελέτη Εδαφικών Υποχωρήσεων Στην Ανθούπολη Περιστερίου. Δ. Ρόζος, Ι. Βακόνδιος, Μ. Κυνηγαλάκη, Αθήνα
5. ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΑ ΔΗΜΟΥ ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ
6. ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΑ ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.
7. ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.( Απρίλιος 2007): Επέκταση Της Γραμμής 2 "ΑΓΙΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ - ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ" Σήραγγα Διπλής Τροχίας Εκθεση Γεωτεχνικής Αξιολόγησης, Αθήνα
8. ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.(Νοέμβριος 2007): Επέκταση Της Γραμμής 2 "ΑΓΙΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ - ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ" Υπόγειο Τμήμα Εκθεση Γεωτεχνικής Αξιολόγησης, Αθήνα
9. ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.(Μάιος 2007): Επέκταση Της Γραμμής 2 "ΑΓΙΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ - ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ" Ανοικτή Εκσκαφή Εκθεση Γεωτεχνικής Αξιολόγησης, Αθήνα
10. ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε. (Μάιος 2007): Επέκταση Της Γραμμής 2 "ΑΓΙΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ - ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ" Γενική Έκθεση Αξιολόγησης Αποτελεσμάτων Γεωτεχνικών Ερευνών, Αθήνα
11. ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε. ( 2007): Σταθμός Περιστερί – Τμήμα Ανοικτής Εκσκαφής, Μελέτη Προσωρινής Αντιστήριξης Τεχνική Έκθεση –Υπολογισμοί , Αθήνα
12. ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε. (Μάιος 2007): Επέκταση Της Γραμμής 2 "ΑΓΙΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ - ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ" Υδρογεωλογική Μελέτη, Αθήνα

13. ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε. (Απρίλιος 2007): Επέκταση Της Γραμμής 2 "ΑΓΙΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ - ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ" Έκθεση Μελέτης Γραφείου, Αθήνα
14. ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε. (Ιανουάριος 2008): Επέκταση Της Γραμμής 2 "ΑΓΙΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ - ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ" Μελέτη Διάνοιξης Σήραγγας Διπλής Τροχίας Τεχνική Έκθεση (Τεύχος ¼)
15. ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε. (2007): Επέκταση Της Γραμμής 2 "ΑΓΙΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ - ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ" Τμήμα Ανοικτής Εκσκαφής Μελέτη Προσωρινής Αντιστήριξης Μετώπων Εισόδου & Υπογείου Τεχνική Έκθεση –Υπολογισμοί , Αθήνα
16. ΟΜΙΛΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ Α.Τ.Ε. (2008): Σταθμός Περιστέρι – Τμήμα Υπόγειας Διάνοιξης Τεχνική Έκθεση –Υπολογισμοί , Αθήνα
17. Sowers, G.F. (1979) “introductory soil mechanics and foundation”, Macmillan Press
18. Jaky, J. (1944) “the coefficient of Earth pressure at rest”, Journal of the society of Hungarian Architects and Engineers, Vol 7 pp 355-358
19. Duncan J.M. and Buchignani A.L. (1976, Revised 1987) “An Engineering Manual for Settlement Studies”, Univ. of California, Berkeley
20. Jamiolkowski, M., Ladd, C.C., Germaine, J.T. and Lancellotte, R. (1980) “Recent Developments in Field and Laboratory Testing of Soils” Proceeding of the 11<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, Calif., U.S.A., pp 57-154