



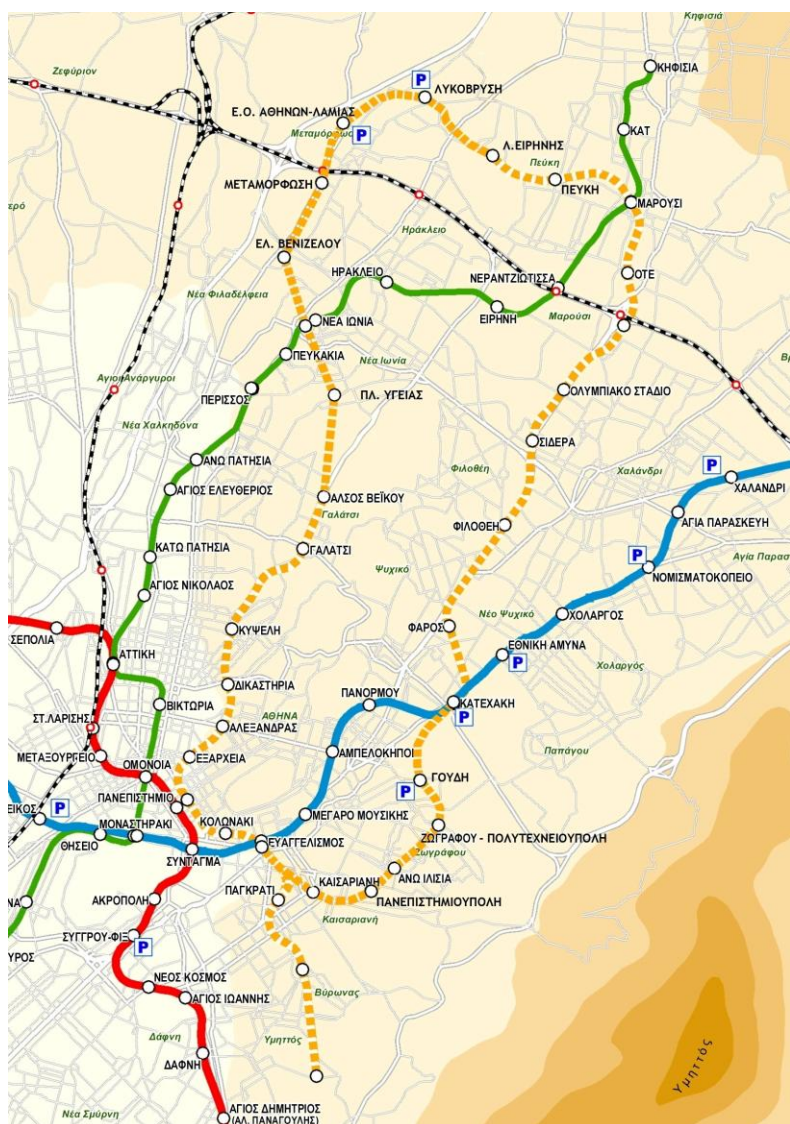
# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

## ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

### ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Προσαρμογή χάραξης γραμμής 4 του Μετρό σε κυκλική που να εξυπηρετεί την Πολυτεχνειούπολη»



Σπουδαστές:  
Αλεξάνδρου Ν. Δημήτρης  
Σταυρή Α. Ελένη

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





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

*«Προσαρμογή χάραξης γραμμής 4 του Μετρό σε κυκλική  
που να εξυπηρετεί την Πολυτεχνειούπολη»*

Αλεξάνδρου Ν. Δημήτρης  
Σταυρή Α. Ελένη

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

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις \_\_\_/10/2011

Σοφιανός Αλέξανδρος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.,	(Υπογραφή)
Νομικός Παύλος, Λέκτορας Ε.Μ.Π.,	(Υπογραφή)
Μπενάρδος Ανδρέας, Λέκτορας Ε.Μ.Π.,	(Υπογραφή)

Copyright © Αλεξάνδρου Ν. Δημήτρης , 2011  
Σταυρή Λ. Ελένη , 2011  
Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

Στον μπαμπά,  
που μας καμαρώνει από ψηλά...



## Ευχαριστίες

Η παρουσίαση της διπλωματικής μας εργασίας σηματοδοτεί την ολοκλήρωση ενός αποτελεσματικού και δημιουργικού κύκλου σπουδών. Στην πορεία της φοίτησης μας στη σχολή των Μηχανικών Μεταλλείων- Μεταλλουργών στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο δεχθήκαμε σημαντική βοήθεια από πολλά μέλη του διδακτικού προσωπικού της σχολής. Με αφορμή την έκδοση της διπλωματικής μας εργασίας θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ξεχωριστά όσους αποτέλεσαν αναπόσπαστο κομμάτι της υλοποίησης της.

Αρχικά, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή μας κ. Αλέξανδρο Σοφιανό για την εύστοχη και συνεχή καθοδήγηση του στο σύνολο της εκπόνησης της διπλωματικής μας εργασίας.

Ευχαριστούμε ιδιαίτερα τον κ. Στέλιο Κουκουτά, Προϊστάμενο Μηχανικής Όρυξης Σηράγγων της Αττικό Μετρό, του οποίου η γνώση, η εμπειρία και η υποστήριξη αποτέλεσαν τον πιο καθοριστικό παράγοντα στην πραγματοποίηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, ευχαριστούμε θερμά τον κ. Δημήτριο Μπαϊρακτάρη, Διδάκτωρα Πολιτικό Μηχανικό, κύριο μέλος και γενικό διαχειριστή της Δ. Μπαϊρακτάρης & Συνεργάτες Ε.Π.Ε., για την πολύτιμη βοήθεια του και για όλες τις πληροφορίες που μας παρείχε.

Ακόμη, ευχαριστούμε τον κ. Αλέξανδρο Δελούκα, προϊστάμενο Διερεύνησης Νέων Πηγών Χρηματοδότησης της Αττικό Μετρό, και την κα. Άννα Αναστασάκη, Συγκοινωνιολόγο Μηχανικό Προϊσταμένη Τμήματος Σχεδιασμού Μεταφορών της Αττικό Μετρό, για τις σημαντικές πληροφορίες που μας παρείχαν σχετικά το αντικείμενο των συγκοινωνιακών μελετών.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Γ.Λίβα, προϊστάμενο της Κ.Ε.Δ.Ε., ο οποίος μας έδωσε πρόσβαση στα αρχεία της υπηρεσίας και στον κ. Δημήτριο Παναγιωτακόπουλο, Αναλυτή Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, για τη συνεργασία του και την παροχή τοπογραφικών δεδομένων.

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

## Πρόλογος

Η νέα γραμμή 4 του Μετρό η οποία βρίσκεται στη φάση προμελέτης γεννά την ιδέα ποικίλων τροποποιήσεων και πιθανών βελτιώσεων. Η συγκεκριμένη γραμμή καλύπτει ένα ευρύ φάσμα περιοχών της Αθήνας οι οποίες μέχρι και σήμερα δεν εξυπηρετούνται από κάποια βαρύ μέσο σταθερής τροχιάς, ενώ συγχρόνως συνδέει τις προϋπάρχουσες γραμμές μεταξύ τους.

Επομένως, με βάση την ήδη υπάρχουσα εμπειρία από τις προηγούμενες χαράξεις και κατασκευές γραμμών στην Αθήνα, αλλά και τη μελέτη των κυκλικών χαράξεων ανά τον κόσμο προέκυψε η πρόταση μίας νέας τροποποίησης της Γραμμής 4. Η προτεινόμενη χάραξη έχει ως στόχο την εξυπηρέτηση του πληθυσμού της Πολυτεχνειούπολης και της Πανεπιστημιούπολης. Συγχρόνως, με την κατασκευή των συγκεκριμένων σταθμών στοχεύεται και η βελτίωση των μετακινήσεων στις όμορες περιοχές. Επίσης, το ιδιαίτερο σχήμα της γραμμής 4, η οποία είναι γνωστή και ως γραμμή "U", οδήγησε στην πρόταση μίας κυκλικής χάραξης με στόχο την ένωση των δύο βόρειων άκρων της γραμμής. Η ιδέα μίας κυκλικής χάραξης αποτελεί καινοτομία στην Ελλάδα και εξυπηρετεί στην αποτελεσματική μετακίνηση των επιβατών από και προς το κέντρο της πόλης.



## Περίληψη

Η συγκεκριμένη εργασία αναφέρεται στην τροποποίηση της Γραμμής 4 του Μετρό ώστε να εξυπηρετεί την Πολυτεχνειούπολη και την Πανεπιστημιούπολη. Ακόμα, μελετάται και η αλλαγή στην χάραξη της Γραμμής ώστε να ακολουθήσει κυκλική πορεία.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μία γενική ιδέα για την πορεία του Μετρό μέχρι σήμερα, την πορεία σχεδίασης της γραμμής μέχρι να καταλήξει στην τελική της μορφή και γίνεται αναφορά των βασικών συγκοινωνιακών κριτηρίων. Επίσης, δίνεται μία επεξήγηση των κυκλικών γραμμών και της χρησιμότητας τους ανά τον κόσμο.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται η μελέτη χάραξης της γραμμής και η χωροθέτηση των σταθμών στους υπό επεξεργασία κλάδους (Βόρειος –Νότιος).

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η γεωλογία και τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά των υπό εξέταση περιοχών, με τη χρήση γεωλογικών χαρτών και γεωτρήσεων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο προτείνονται και επεξηγούνται οι μέθοδοι διάνοιξης των σταθμών καθώς γίνεται και η επιλογή του κατάλληλου μηχανήματος για τη διάνοιξη της σήραγγας.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται μία παρουσίαση διάφορων οικονομικών στοιχείων κατασκευής έργων Μετρό ανά τον κόσμο. Στη συνέχεια, υπολογίζεται η κοστολόγηση του έργου και πραγματοποιείται ένας υπολογισμός του χρόνου ολοκλήρωσης του με χρήση του Διαγράμματος Gantt.

## **Abstract**

This thesis refers to the way Metro Line 4 is being modified to serve the NTUA campus and the University campus. In addition, it examines a development of the line whereby it will follow a circular path.

The first chapter presents a general idea about the progress of the Metro so far, the design progress of line 4 until it reached its present form and a reference is made to the major public transport criteria. Moreover, differences between metro rings and loops throughout the world, are described.

The second chapter deals with the design and the placing of the stations in the proposed new sections (North-South).

The third chapter presents the geology and the physical-mechanical characteristics of the areas under consideration, using geological mapping and boreholes.

The fourth chapter proposes and explains the underground excavation methods. Also, a study is made in order to select the proper Tunnel Boring Machine.

Finally, the fifth chapter is a presentation of various subway economic data construction projects worldwide. The timetable (Gantt Chart) and a general cost of the project are estimated.

## Πίνακας Περιεχομένων

1. Τα Μετρό μέχρι σήμερα	1
1.1 Μετρό – Αστικός Σιδηρόδρομος	3
1.2 Δίκτυο του μετρό	4
1.2.1 Το Βασικό Έργο	4
1.2.2 Γραμμή 2 (Άγιος Αντώνιος – Άγιος Δημήτριος)	4
1.2.3 Γραμμή 3 (Αιγάλεω – Δουκίσσης Πλακεντίας – Αεροδρόμιο)	5
1.3 Αρχική χάραξη κλάδων της Γραμμής 4	6
1.4 Γραμμή 4	8
1.5 Οφέλη Μετρό	11
1.5.1 Επίδραση της λειτουργίας του Μετρό σε συγκοινωνίες/περιβάλλον	12
1.5.2 Περιοχές λειτουργίας σταθμών Μετρό	14
1.5.3 Αρχαιολογικές ανασκαφές & ευρήματα	14
1.5.4. Προσφορά του έργου στην ανάπλαση/αναβάθμιση της Πρωτεύουσας	17
1.5.5 Ταχύτητα και αξιοπιστία	19
1.6 Γενικές πληροφορίες ΜΕΤΡΟ	20
1.6.1 Απαλλοτριώσεις	20
1.6.2 Μετατόπιση των δικτύων κοινής ωφέλειας (ΔΚΟ)	20
1.6.3 Παράγοντες επιρροής της μεθόδου κατασκευής	21
1.6.4 Τεχνικός σχεδιασμός διαδρόμου	22
1.6.5 Σταθμοί και στάσεις	22
1.6.6 Αποβάθρες	26
1.6.7 Συρμοί - Χαρακτηριστικά οχημάτων	27
1.6.8 Εμπορική ταχύτητα - ταχύτητες – χρόνοι	31
1.7 Οικονομικά στοιχεία	33
1.7.1 Βασικό έργο μετρό	33
1.7.2 Επεκτάσεις γραμμών 2 & 3	33
1.8 Μεθοδολογία σχεδιασμού – Συγκοινωνιακή μελέτη	34
1.8.1 Στόχοι σχεδιασμού	34
1.8.2 Μεθοδολογία σχεδιασμού (Συγκοινωνιακά)	35
1.8.3 Αστικές συγκοινωνίες και ΙΧ	38
1.9 Κυκλικές Χαράξεις	39
1.9.1 Κυκλική γραμμή – Η ιδέα	39
1.9.2 Είδη κυκλικών χαράξεων	41
1.9.3 Χρησιμότητα κυκλικών γραμμών	42
1.9.4 Πλήρης λίστα κυκλικών γραμμών	45
2. Χάραξη	51
2.1 Γενικά	53
2.2 Επιλογή βέλτιστης λύσης με πολυκριτηριακή ανάλυση	55
2.3 Στατιστικά στοιχεία	55
2.3.1 Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου	56
2.3.2 Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου	58

2.4 Κριτήρια επιλογής διαδρομής χάραξης	59
2.4.1 Εξυπηρέτηση Εθνικής Οδού – Χώρος στάθμευσης (Βόρειος κλάδος)	59
2.4.2 Σύνδεση με το κέντρο της πόλης (Βόρειος κλάδος)	59
2.4.3 Αναβάθμιση περιοχής – Εξυπηρέτηση εμπορικής ζώνης (Βόρειος κλάδος)	59
2.4.4 Εξυπηρέτηση Πολυτεχνειούπολης και Πανεπιστημιούπολης (Νότιος κλάδος)	60
2.5 Επιλογή χώρων για την κατασκευή σταθμών	61
2.5.1 Έρευνα γραφείου	61
2.5.2 Επί τόπου μελέτη	61
2.5.3 Χωροθέτηση σταθμών	62
2.6 Υποδακτύλιοι εξυπηρέτησης	90
2.7 Χάραξη Γραμμής	91
2.7.1 Οριζόντια χάραξη	91
2.7.2 Η μηκοτομή της χάραξης	92
2.7.3 Αμαξοστάσιο	94
3. Γεωλογία	95
3.1 Εισαγωγικά	97
3.2 Γενική γεωλογία των Αθηνών και της ευρύτερης περιοχής	98
3.3 Γενική τεκτονική δομή	99
3.4 Στρωματογραφία	102
3.5 Γεωτεχνική Έρευνα	105
3.5.1 Φυσικο-Μηχανικά χαρακτηριστικά	105
3.5.1.1 Φυσικά χαρακτηριστικά	105
3.5.1.2 Μηχανικά χαρακτηριστικά	106
3.6 Γεωλογικοί σχηματισμοί - Φυσικο-μηχανικά χαρακτηριστικά	107
3.6.1 Γεωλογικοί χάρτες	107
3.6.2 Βόρεια Χάραξη - Γεωλογικοί Σχηματισμοί	109
3.6.2.1 Μαργαϊκοί σχηματισμοί	109
3.6.2.2 Σχιστομαργαϊκή σειρά πετρωμάτων	111
3.6.2.3 Αποθέσεις μικτών φάσεων με επικράτηση των αδρομερών	112
3.6.2.4 Αποθέσεις μικτών φάσεων με επικράτηση των λεπτομερών	113
3.6.3 Νότια χάραξη - Γεωλογικοί Σχηματισμοί	114
3.6.3.1 Αποθέσεις μικτών φάσεων με επικράτηση των αδρομερών	114
3.6.3.2 Ερυθροί πηλοί και κροκαλοπαγή	115
3.6.3.3 Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι	116
3.7 Υδρογεωλογία	120
3.8 Γεωτρήσεις	121
3.8.1 Γεωτρήσεις Νοτίου κλάδου	124
3.8.2 Γεωτρήσεις Βορείου κλάδου	126
4. Διάνοιξη της σήραγγας	129
4.1 Κριτήρια για την επιλογή τρόπου διάνοιξης σταθμών	131
4.2 Κατασκευή σταθμού με ανοικτή εκσκαφή	132
4.2.1 Διαμόρφωση μικρού χώρου στάθμευσης στο κενό επίπεδο -1	137
4.2.2 Ανοικτή εκσκαφή και επίχωση	139
4.2.3 Πορεία εργασιών	143

4.2.4 Γενική μέθοδος κατασκευής	145
4.3 Κατασκευή σταθμού με υπόγεια διάνοιξη	148
4.3.1 Χαρακτηριστικά της μεθόδου υπόγειας διάνοιξης	153
4.3.2 Αρχές της μεθόδου υπόγειας διάνοιξης	154
4.3.3 Σχεδιασμός	156
4.3.4 Φάσεις εκσκαφής	157
4.3.5 Μέθοδοι προσωρινής και μόνιμης υποστήριξης	158
4.3.6 Τελική επένδυση	162
4.3.7 Παρακολούθηση της συμπεριφοράς σηράγγων	163
4.3.8 Πλεονεκτήματα της μεθόδου	164
4.4 Επιλογή μεθόδου διάνοιξης για κάθε σταθμό	165
4.5 Τα επιμέρους τμήματα της διάνοιξης	166
4.5.1 Νότιος κλάδος	166
4.5.1.1 Τμήμα από Σταθμό Κατεχάκη – Σταθμό Γουδή	167
4.5.1.2 Τμήμα από Σταθμό Γουδή – Σταθμό Ζωγράφου-Πολυτεχνειούπολη	167
4.5.1.3 Τμήμα από Σταθμό Ζωγράφου-Πολυτεχνειούπολη – Σταθμό Άνω Ιλίσια	168
4.5.1.4 Τμήμα από Σταθμό Άνω Ιλίσια – Σταθμό Πανεπιστημιούπολη	168
4.5.1.5 Τμήμα από Σταθμό Πανεπιστημιούπολη – Σταθμό Καισαριανή	168
4.5.1.6 Τμήμα από Σταθμό Καισαριανή – Σταθμό Ευαγγελισμός	169
4.5.2 Βόρειος κλάδος	169
4.5.2.1 Τμήμα από Σταθμό Άλσος Βεΐκου – Σταθμό Πλατεία Υγείας	169
4.5.2.2 Τμήμα από Σταθμό Πλατεία Υγείας – Σταθμό Νέα Ιωνία	170
4.5.2.3 Τμήμα από Σταθμό Νέα Ιωνία – Σταθμό Ελευθερίου Βενιζέλου	170
4.5.2.4 Τμήμα από Σταθμό Ελευθερίου Βενιζέλου – Σταθμό Μεταμόρφωση	170
4.5.2.5 Τμήμα από Σταθμό Μεταμόρφωση – Σταθμό Εθνική οδός Αθηνών-Λαμίας	171
4.5.2.6 Τμήμα από Σταθμό Εθνική οδός Αθηνών Λαμίας – Σταθμό Λυκόβρυση	171
4.5.2.7 Τμήμα από Σταθμό Λυκόβρυση – Σταθμό Λεωφόρος Ειρήνης	172
4.5.2.8 Τμήμα από Σταθμό Λεωφόρος Ειρήνης – Σταθμό Πεύκη	172
4.6 Χαρακτηριστικά σήραγγας Μετρό	173
4.7 Είσοδος και έξοδος TBM	173
4.8 Γενικά χαρακτηριστικά TBM	174
4.8.1 Περιγραφή Μηχανήματος Εξισορρόπησης Εδαφικής Πίεσης (EPB) - TBM-S5	176
4.8.1.1 Συσκευή καταγραφής δεδομένων	182
4.8.1.2 Ρυθμός εκσκαφής	182
4.8.1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Μηχανημάτων Εξισορρόπησης της Εδαφικής Πίεσης (EPB)	183
4.8.2 Μηχανήματα Πολφού (Slurry) – “TBM-S4”	184
4.8.2.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Μηχανημάτων Πολφού (Slurry)	186
4.9 Επιλογή μηχανήματος διάνοιξης σηράγγων	187
4.9.1 Εδαφικές συνθήκες όπου χρησιμοποιείται το EPB	187
4.9.2 Κοκκομετρική ανάλυση	190
4.10 Καθιζήσεις	192
4.10.1 Εισαγωγή	192
4.10.2 Απώλεια όγκου εδάφους	194

4.10.3 Απαιτούμενη δύναμη στήριξης μετώπου, μέθοδος Αναγνώστου & Kovari	197
4.10.4 Διαγράμματα απαιτούμενης στήριξης στο μέτωπο	198
5. Οικονομικά στοιχεία και χρονοδιαγράμματα	201
5.1 Οικονομικά στοιχεία	203
5.1.1 Εισαγωγή	203
5.1.2 Στοιχεία κόστους έργων παγκοσμίως	204
5.1.3 Στοιχεία κόστους από έργα της Αττικό Μετρό	207
5.1.4 Κοστολόγηση προτεινόμενης χάραξης	208
5.1.4.1 Κοστολόγηση Βόρειου κλάδου	208
5.1.4.2 Κοστολόγηση Νότιου κλάδου	209
5.2 Χρόνος κατασκευής των χαράξεων	210
5.2.1 Εισαγωγή	210
5.2.2 Στοιχεία χρόνων κατασκευής από έργα της Αττικό Μετρό	210
5.2.3 Υπολογισμός χρονικής διάρκειας ολοκλήρωσης του έργου	211
5.2.4 Διάγραμμα Gantt	212
Παράρτημα γεωτρήσεων	215
Βιβλιογραφία	231

<b>Αριθμός Πίνακα</b>	<b>Επεξήγηση Πίνακα</b>	<b>Σελίδα</b>
1-1	Ατμοσφαιρικοί ρύποι πριν και μετά τη λειτουργία του Μετρό	13
1-2	Χαρακτηριστικά της νέας γενιάς συρμών	30
2-1	Στατιστικά στοιχεία για το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο	56
2-2	Στατιστικά στοιχεία εργαζομένων για το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο	57
2-3	Στατιστικά στοιχεία εργαζομένων για το Πανεπιστήμιο Αθηνών	58
2-4	Χωροθέτηση σταθμών Νοτίου κλάδου	65
2-5	Χωροθέτηση σταθμών Βόρειου κλάδου	77
3-1	Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά μαργών, CL	109
3-2	Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά μαργών, CH	110
3-3	Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά μαργαϊκών ασβεστολίθων	110
3-4	Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά δολομιτικών ασβεστολίθων	110
3-5	Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά κροκαλοπαγών	111
3-6	Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά μαργαϊκών ασβεστολίθων	111
3-7	Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά κροκαλολατυποπαγή	112
3-8	Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά μικτών φάσεων με επικράτηση αδρομερών, CL	112
3-9	Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά μικτών φάσεων με επικράτηση αδρομερών, CH	112
3-10	Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά μικτών φάσεων με επικράτηση λεπτομερών, CL	113
3-11	Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά μικτών φάσεων με επικράτηση λεπτομερών, CH	113
3-12	Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά μικτών φάσεων με επικράτηση αδρομερών, CL	114
3-13	Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά μικτών φάσεων με επικράτηση αδρομερών, CH	114
3-14	Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά ερυθρών πηλών, CL	115
3-15	Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά ερυθρών πηλών, CH	115
3-16	Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά σχιστολιθών	117
3-17	Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά περιδοτιτή	117
3-18	Πίνακες γεωτρήσεων Νοτίου κλάδου	124
3-19	Πίνακες γεωτρήσεων Βόρειου κλάδου	126
4-1	Χαρακτηριστικά σταθμών ως προς τη διάνοιξη (Νότιος κλάδος)	165
4-2	Χαρακτηριστικά σταθμών ως προς τη διάνοιξη (Βόρειος κλάδος)	165
4-3	Γεωτεχνική ταξινόμηση, μέσες τιμές παραμέτρων	190
4-4	Κοκκομετρική ανάλυση γεωτρήσεων Βορείου κλάδου	190
5-1	Βασικά οικονομικά στοιχεία για κατασκευές Μετρό στην Β. Αμερική	204
5-2	Βασικά οικονομικά στοιχεία για έξι κατασκευές Μετρό στην Αμερική	205
5-3	Βασικά οικονομικά στοιχεία για έξι κατασκευές Μετρό στην Ασία και τη Λατινική Αμερική	205
5-4	Συνολικά οικονομικά στοιχεία πόλεων	206
5-5	Εκτιμήσεις κόστους, που συνδέονται με την κατασκευή σταθμών	206

Αριθμός Σχήματος	Επεξήγηση Σχήματος	Σελίδα
1-1	Τερματικός σταθμός με επίσταθμο και φουρκέτα	23
1-2	Σταθμός με μεσαία αποβάθρα και ενδιάμεσο όροφο κίνησης επιβατών	24
1-3	Θέση αποβαθρών σε σταθμούς - στάσεις Μετρό	25
1-4	Σταθμοί με γραμμές εναπόθεσης και αναστροφής συρμών	25
1-5	Ποσοστά χρηματοδότησης βασικού έργου Μετρό	33
1-6	Ποσοστά χρηματοδότησης επεκτάσεων γραμμών 2 & 3	33
3-1	Γεωλογική τομή που τέμνει εγκάρσια το λεκανοπέδιο της Αθήνας από τον Υμηττό μέχρι το Αιγάλεω	99
3-2	Γεωλογικές τομές σε διάφορες περιοχές του Λεκανοπεδίου	101
3-3	Σχηματική τομή	104
3-4	Θέσεις γεωτρήσεων κατά μήκος της χάραξης (Νότιος κλάδος)	122
3-5	Θέσεις γεωτρήσεων κατά μήκος της χάραξης (Βόρειος κλάδος)	123
4-1	Κάτοψη του σταθμού «Αγία Παρασκευή», Στο επίπεδο -1	133
4-2	Κάτοψη του σταθμού «Αγία Παρασκευή», Στο επίπεδο -2	134
4-3	Κάτοψη του σταθμού «Αγία Παρασκευή», Στο επίπεδο -3	135
4-4	Μηκοτομή του σταθμού «Αγία Παρασκευή».	136
4-5	Τομή του σταθμού «Αγία Παρασκευή».	136
4-6	Τομή του σταθμού «Αγία Παρασκευή».	137
4-7	Πιθανός τρόπος χωροθέτησης των θέσεων στάθμευσης	138
4-8	Ατύχημα λόγω εισροής υδάτων σε εκσκαφή στο Βερολίνο	142
4-9	Τομή του σταθμού «Χολαργός», που έχει κατασκευαστεί με υπόγεια διάνοιξη	149
4-10	Μηκοτομή του σταθμού «Χολαργός», που έχει κατασκευαστεί με υπόγεια διάνοιξη.	149
4-11	Διατομή του σταθμού «Χολαργός», που έχει κατασκευαστεί με υπόγεια διάνοιξη.	150
4-12	Κάτοψη του σταθμού «Χολαργός», Χώρος κίνησης επιβατών.	151
4-13	Κάτοψη του σταθμού «Χολαργός», Επίπεδο αποβάθρας.	152
4-14	Τυπική διατομή εκσκαφής σταθμού στο Μοναστηράκι με προστασία διαμήκων σωλήνων πληρωμένων με σκυρόδεμα	157
4-15	Διάνοιξη σήραγγας με δυο πλευρικές στοές και κεντρικό πυλώνα	158
4-16	Ταξινόμηση των Μηχανών Διάνοιξης Σηράγγων	175
4-17	Επικρατέστεροι τύποι μηχανών για την υπό μελέτη διάνοιξη	176
4-18	Σύγκριση μηχανήματος πολφού με EPB	187
4-19	Εφαρμογές μηχανών Πολφού και EPB σε σχέση με το έδαφος	188
4-20	Όρια εφαρμογής πρόσθετων ρυθμιστικών παραγόντων στο EPB	189
4-21	Καμπύλες κοκκομετρικής ανάλυσης	191
4-22	Εγκάρσια τομή καθιζήσεων στην επίγεια επιφάνεια	195
4-23	Νομογράμματα για τους αδιάστατους συντελεστές $F_0, F_1$	198
4-24	Νομογράμματα για τους αδιάστατους συντελεστές $F_2, F_3$	199
4-25	Πίεσεις του εδάφους και φορτία νερού κατά την εκσκαφή του TBM	199
5-1	Διάγραμμα Gantt Νότιου κλάδου	213
5-2	Διάγραμμα Gantt Βορείου κλάδου	214



<b>Αριθμός Εικόνας</b>	<b>Επεξήγηση Εικόνας</b>	<b>Σελίδα</b>
1-1	Δύο τρένα προσεγγίζουν τη διασταύρωση τύπου "T" στη νοτιοανατολική γωνία της κυκλικής υπερυψωμένης γραμμής στο Chicago	3
1-2	Πρόταση για το δίκτυο του Μετρό της Αθήνας	8
1-3	Υπάρχουσα πρόταση για τη Γραμμή 4	11
1-4	Αποβάθρες από τη νέα γραμμή Μετρό του Bilbao	27
1-5	Οι νέοι συρμοί του Μετρό της Αθήνας	29
1-6	Χάρτης Μετρό του Λονδίνου	40
1-7	Χάρτης Μετρό της Μόσχας	43
1-8	Τερματικός βρόγχος στη γραμμή 6 του Μετρό της Νέας Υόρκης	45
2-1	Σχέδιο ανάπτυξης γραμμών Μετρό Αθήνας	54
2-2	Δορυφορική λήψη Νότιας περιοχής μελέτης	63
2-3	Υπάρχουσα πρόταση της Αττικό Μετρό για την εξυπηρέτηση της Νότιας περιοχής	64
2-4	Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Κατεχάκη' και πιθανού εργοταξιακού χώρου	67
2-5	Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Γουδή' και πιθανού εργοταξιακού χώρου	68
2-6	Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Ζωγράφου-Πολυτεχνειούπολη' και πιθανού εργοταξιακού χώρου	69
2-7	Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Άνω Ιλίσια' και πιθανού εργοταξιακού χώρου	70
2-8	Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Καισαριανή - Πανεπιστημιούπολη' και πιθανού εργοταξιακού χώρου	71
2-9	Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Καισαριανή' και πιθανού εργοταξιακού χώρου	72
2-10	Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Ευαγγελισμός' και πιθανού εργοταξιακού χώρου	73
2-11	Πρόταση για την τροποποίηση του Νότιου κλάδου	74
2-12	Δορυφορική λήψη Βόρειας περιοχής μελέτης	75
2-13	Υπάρχουσα πρόταση της Αττικό Μετρό για την εξυπηρέτηση της Βόρειας περιοχής	76
2-14	Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Άλσος Βεΐκου' και πιθανού εργοταξιακού χώρου	79
2-15	Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Πλατεία Υγείας' και πιθανού εργοταξιακού χώρου	80
2-16	Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Νέα Ιωνία' και πιθανού εργοταξιακού χώρου	81
2-17	Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Ελευθερίου Βενιζέλου' και πιθανού εργοταξιακού χώρου	82
2-18	Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Μεταμόρφωση' και πιθανού εργοταξιακού χώρου	83
2-19	Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Εθνική Οδός Αθηνών-Λαμίας' και πιθανού εργοταξιακού χώρου	84

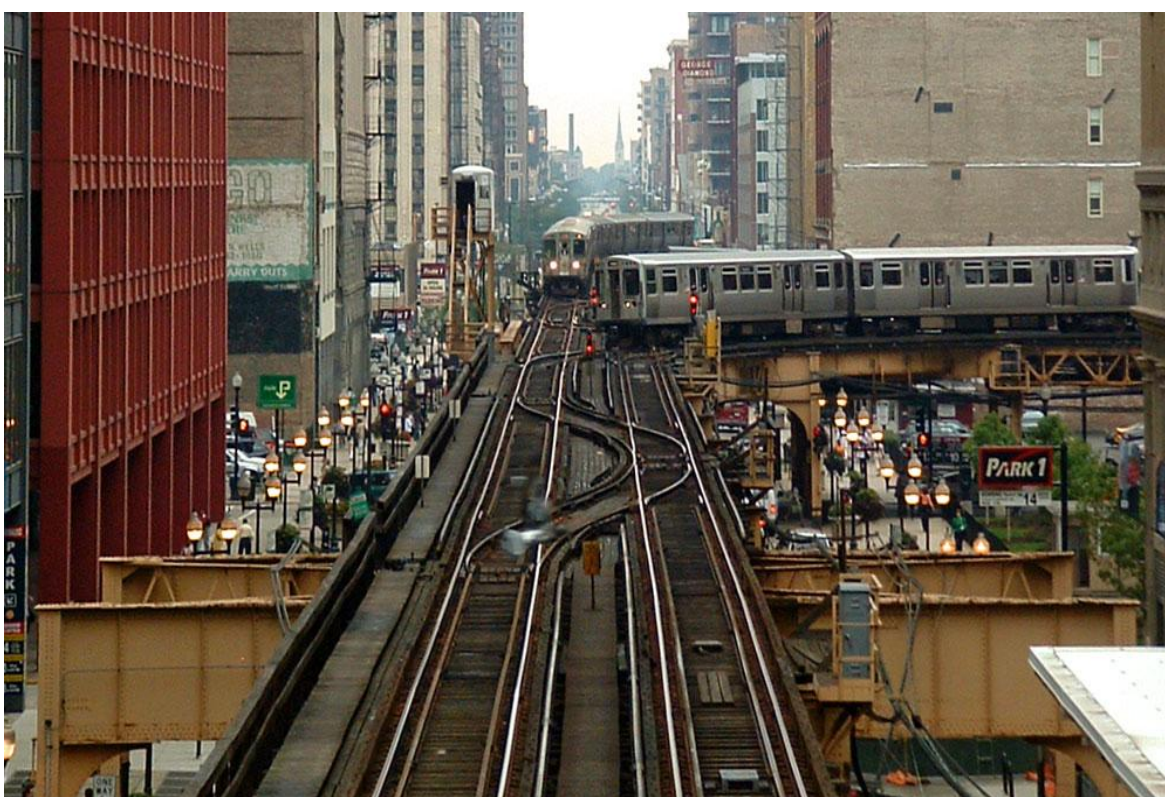
2-20	Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Λυκόβρυση' και πιθανού εργοταξιακού χώρου	85
2-21	Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Λεωφόρος Ειρήνης' και πιθανού εργοταξιακού χώρου	86
2-22	Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Πεύκη' και πιθανού εργοταξιακού χώρου	87
2-23	Πρόταση για την τροποποίηση-δημιουργία του Βορείου κλάδου	88
2-24	Πρόταση σχεδίου ανάπτυξης γραμμών Μετρό Αθήνας	89
2-25	Σχέδιο ανάπτυξης μικρότερων δακτυλίων εξυπηρέτησης	90
2-26	Γενικός χάρτης, Φύλλο Ζωγράφος	92
2-27	Γενικός χάρτης, Φύλλο Νέα Ιωνία	93
3-1	Γεωλογικός χάρτης λεκανοπεδίου Αθηνών	108
3-2	Γεωλογικός χάρτης της πόλεως των Αθηνών	118
3-3	Γεωλογικός χάρτης Αττικής	119
4-1	Διάνοιξη του σταθμού με τη μέθοδο ανοικτής εκσκαφής	139
4-2	Τοίχοι αντιστήριξης πρανών	140
4-3	Κατασκευή σταθμού με υπόγεια διάνοιξη	143
4-4	Είσοδος του TBM σε σταθμό κατασκευασμένο με υπόγεια διάνοιξη	164
4-5	Κοπτική κεφαλή EPB	179
4-6	Το πίσω μέρος της ασπίδας του EPB	180
4-7	Κοπτική κεφαλή και ασπίδα EPB	185
4-8	Βελτίωση εδάφους λόγω εκδήλωσης καθίζησης στην οδό Πανεπιστημίου	194

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – Τα Μετρό μέχρι σήμερα**



## 1.1 Μετρό – Αστικός Σιδηρόδρομος

Πρόκειται για το μέσο μεταφοράς με τη μεγαλύτερη χωρητικότητα. Διατρέχει διαδρόμους κίνησης, πλήρως ελεγχόμενους και χωρίς την επίδραση εγκάρσιων κινήσεων. Λόγω του αποκλειστικού διαδρόμου κίνησης, της ηλεκτροκίνησης και των συστημάτων ελέγχου, το μέσο μπορεί να επιτύχει υψηλές μέσες ταχύτητες, με τη δεδομένη υποδομή (αποστάσεις σταθμών, ακτίνες χάραξης), την άνεση των επιβατών, την υψηλή αξιοπιστία και την ασφάλεια. Η φύση του μέσου του επιτρέπει να λειτουργεί σε πολύ μεγάλο βαθμό αυτοματοποιημένα, καθώς είναι δυνατός ο πλήρης κεντρικός έλεγχος της κίνησης του μέσου στους διαδρόμους κίνησης.



Εικόνα 1-1, Δύο τρένα προσεγγίζουν τη διασταύρωση τύπου “T” στη νοτιοανατολική γωνία της κυκλικής υπερυψωμένης γραμμής στο Chicago,  
Πηγή: [http://en.wikipedia.org/wiki/Chicago\\_”L”](http://en.wikipedia.org/wiki/Chicago_”L”)

Το σημαντικότερο μειονέκτημα του μετρό είναι το αρχικό κόστος επένδυσης, το οποίο εκτιμάται ως δεκαπλάσιο αυτού της κατασκευής τραμ. Οι διάδρομοι κίνησης του μέσου προτιμάται να είναι υπόγειοι κοντά στα κέντρα των πόλεων (σε μερικές πόλεις των Η.Π.Α., όπως το Chicago (Εικόνα 1-1), είναι υπερυψωμένες, πάνω από τις οδούς), ενώ για λόγους οικονομίας, όταν κινούνται στα προάστια είναι επίγειες. Σε πόλεις όπου το μετρό

κινείται αποκλειστικά στα κέντρα των πόλεων , όπως στο Manhattan της Νέας Υόρκης ή το Παρίσι, οι διάδρομοι είναι υπόγειοι. Αντίθετα, σε πόλεις όπου το μετρό επεκτείνεται στα προάστια (όπως στη γραμμή των ΗΣΑΠ), μεγάλο μέρος των διαδρόμων είναι επίγειοι ή υπέργειοι.

Στις περισσότερες πόλεις της Ευρώπης το μέσο χρησιμοποιείται τόσο για μετακινήσεις από τα προάστια προς τα κέντρα των πόλεων, αλλά καλύπτει και μετακινήσεις εντός του αστικού ιστού. Για το λόγο αυτό, έχει πυκνούς σταθμούς στα κέντρα των πόλεων και χρησιμοποιείται για κοντινές μετακινήσεις ή μετακινήσεις μέσω αποστάσεων.

## **1.2 Δίκτυο του μετρό**

### **1.2.1 Το Βασικό Έργο**

Το Βασικό Έργο του Μετρό της Αθήνας (Εθνική Άμυνα – Μοναστηράκι & Σεπόλια – Δάφνη) ξεκίνησε να κατασκευάζεται το Νοέμβριο του 1992 με προγραμματισμένα 20 περίπου χλμ. δικτύου με 21 σταθμούς σε 2 Γραμμές.

Τα πρώτα 13 χλμ. με 14 σταθμούς στα τμήματα Σύνταγμα - Εθνική Άμυνα της Γραμμής 3 και Σεπόλια – Σύνταγμα της Γραμμής 2 τέθηκαν σε λειτουργία τον Ιανουάριο του 2000, ενώ 5 επιπλέον χλμ με 5 σταθμούς στο τμήμα Σύνταγμα – Δάφνη τέθηκαν σε λειτουργία τον Νοέμβριο του 2000. Το τμήμα Σύνταγμα – Μοναστηράκι, με 1,4 χλμ σήραγγας και ένα σταθμό, παραδόθηκε σε λειτουργία τον Απρίλιο του 2003.

### **1.2.2 Γραμμή 2 (Άγιος Αντώνιος – Άγιος Δημήτριος)**

#### Επέκταση Σεπόλια – Άγιος Αντώνιος.

Στις αρχές Αυγούστου 2004 άνοιξε για το επιβατικό κοινό ο σταθμός Άγιος Αντώνιος στο πλαίσιο της επέκτασης της Γραμμής 2 στα δυτικά προάστια του Λεκανοπεδίου. Η επέκταση αυτή έχει μήκος 1,4 χλμ. και σήμερα εξυπηρετεί 50.000 επιβάτες ημερησίως. Σήμερα, οι επιβάτες χρειάζονται 7 λεπτά για να μετακινούνται από το Σταθμό Άγιος Αντώνιος έως το κέντρο της Αθήνας (πλατεία Ομονοίας) και περίπου 45 λεπτά για το Αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος (με μια μετεπιβίβαση στο Σταθμό Σύνταγμα).

### Επέκταση Δάφνη – Άγιος Δημήτριος.

Το νέο τμήμα της Γραμμής 2 από την περιοχή της Δάφνης μέχρι τον Άγιο Δημήτριο, είναι μία επέκταση μήκους 1,2χλμ., εκ των οποίων 350 μέτρα είναι σήραγγα τριπλής τροχιάς και 860 μέτρα σήραγγα διπλής τροχιάς και με έναν νέο σταθμό Άγιος Δημήτριος/Αλ. Παναγούλης. Η επέκταση αυτή κατασκευάστηκε με τις μεθόδους υπόγειας διάνοιξης και ανοικτού ορύγματος.

Οι κατασκευαστικές εργασίες για την επέκταση σταθμός Δάφνη - σταθμός Άγιος Δημήτριος / Αλ. Παναγούλης ολοκληρώθηκαν εντός του 2004, και συγκεκριμένα ο σταθμός παραδόθηκε σε εμπορική λειτουργία στις 5 Ιουνίου 2004. Σήμερα, 45.000 επιβάτες εξυπηρετούνται καθημερινά μέσω αυτής της επέκτασης.

### Επεκτάσεις που δεν έχουν παραδοθεί στο κοινό.

Το νέο τμήμα της Γραμμής 2 από τον σταθμό Άγιος Δημήτριος / Αλ. Παναγούλης έχει συνολικό μήκος 5,5 χλμ και περιλαμβάνει τους εξής 4 νέους σταθμούς: Ηλιούπολη, Άλιμος, Αργυρούπολη και Ελληνικό. Η ημερήσια επιβατική κίνηση του Μετρό λόγω της επέκτασης αυτής, αναμένεται να αυξηθεί κατά 80.000 επιβάτες.

Η επέκταση της Γραμμής 2 από τον Άγιο Αντώνιο προς την Ανθούπολη έχει μήκος 1,5 χλμ. και περιλαμβάνει 2 νέους σταθμούς: Περιστερί και Ανθούπολη. Με την επέκταση αυτή προβλέπεται να εξυπηρετούνται συνολικά 75.000 άτομα ημερησίως.

## **1.2.3 Γραμμή 3 (Αιγάλεω – Δουκίσσης Πλακεντίας – Αεροδρόμιο)**

### Επέκταση Εθνική Άμυνα – Δ. Πλακεντίας – Αεροδρόμιο Ελ. Βενιζέλος.

Η επέκταση Εθνική Άμυνα – Δ. Πλακεντίας – Αεροδρόμιο είναι ένα τμήμα της Γραμμής 3 του Μετρό της Αθήνας, το οποίο καλύπτει μία υπόγεια διαδρομή 5,9 χλμ. μέχρι τον Σταθμό Δ.Πλακεντίας. Στο σημείο αυτό οι συρμοί του Μετρό αναδύονται στην επιφάνεια και συνεχίζουν κατά 20,7 χλμ. επίγεια, χρησιμοποιώντας τις γραμμές του Προαστιακού Σιδηροδρόμου, για να φθάσουν στο Αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος. Η επέκταση της Γραμμής 3 από τον σταθμό Εθνική Άμυνα έως τον σταθμό Δ.Πλακεντίας διαθέτει 5 σταθμούς: Χολαργός, Νομισματοκοπείο, Άγια Παρασκευή, Χαλάνδρι και

Δ.Πλακεντίας. Ο σταθμός Νομισματοκοπείο δόθηκε σε λειτουργία στις αρχές Σεπτεμβρίου 2009, ο σταθμός Χολαργός στα μέσα Ιουλίου 2010, ενώ ο σταθμός Άγια Παρασκευή στα τέλη Δεκεμβρίου 2010. Παράλληλα, κατασκευάστηκε και ένα νέο Αμαξοστάσιο (εμβαδού 60.000 τ.μ.) για τις ανάγκες της Γραμμής 3, στην περιοχή της Δ.Πλακεντίας, το οποίο συνδέεται με τον ομώνυμο Σταθμό μέσω σήραγγας μήκους 200 μέτρων. Η επέκταση Εθνική Άμυνα – Δ. Πλακεντίας - Αεροδρόμιο Ελ. Βενιζέλος εξυπηρετεί 55.000 επιβάτες ημερησίως και η απόσταση μεταξύ των σταθμών Μοναστηράκι - Αεροδρόμιο καλύπτεται σήμερα σε 37 λεπτά.

#### Επέκταση Μοναστηράκι-Αιγάλεω.

Η επέκταση της Γραμμής 3 από το Μοναστηράκι προς το Αιγάλεω θεωρείται το σημαντικότερο συγκοινωνιακό έργο στα δυτικά προάστια της Αθήνας. Το μήκος της επέκτασης της γραμμής είναι 4,2km. και περιλαμβάνει 3 σταθμούς: Κεραμικός, Ελαιώνας, Αιγάλεω και 7 φρέατα εξαερισμού. Το έργο τέθηκε σε λειτουργία στις 26 Μαΐου 2007.

#### Επεκτάσεις που δεν έχουν παραδοθεί στο κοινό.

Η επέκταση της Γραμμής 3 από το σταθμό Αιγάλεω προς το Χαϊδάρι (σταθμός Χαϊδάρι) έχει μήκος 1,5 χλμ και αναμένεται να εξυπηρετεί 30.000 άτομα ημερησίως. Ο χρόνος μετακίνησης των κατοίκων έως το κέντρο της Αθήνας (ΣΥΝΤΑΓΜΑ) θα είναι 9 λεπτά, ενώ για το Αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος 40 λεπτά.

#### Επεκτάσεις υπό δημοπράτηση.

Η επέκταση από το σταθμό Χαϊδάρι προς τα Δυτικά Προάστια με κατάληξη τον Πειραιά θα έχει μήκος 7,6χλμ και θα περιλαμβάνει 6 σταθμούς: Αγία Βαρβάρα, Κορυδαλλός, Νίκαια, Μανιάτικα, Πειραιάς, Δημοτικό Θέατρο (πηγή:www.ametro.gr).

### **1.3 Αρχική χάραξη κλάδων της Γραμμής 4**

Στο αρχικό στάδιο σχεδίασης η Γραμμή 4 δεν υπήρχε, όμως οι δύο κλάδοι της σημερινής της μορφής προϋπήρχαν στα σχέδια και αποτελούσαν τμήματα των Γραμμών 2 και 3 του Μετρό, όπως στην εικόνα 1-2.



Ο κλάδος Πανεπιστήμιο – Γαλάτσι αποτελούσε διακλάδωση-επέκταση της Γραμμής 2 που θα λειτουργούσε σε συνδυασμό με το νότιο τμήμα της γραμμής προς Γλυφάδα. Ο συγκεκριμένος κλάδος διατηρεί σε μεγάλο βαθμό την χάραξη που γνωρίζουμε τώρα σε ένα κομμάτι του αριστερού κλάδου της Γραμμής 4. Το τμήμα αυτό ξεκινούσε από το Πανεπιστήμιο και είχε βορειοανατολική κατεύθυνση προς το Γαλάτσι, το μήκος του υπολογιζόταν ότι θα ήταν 6,0 χλμ. Από το Πανεπιστήμιο η γραμμή κατευθύνεται στους σταθμούς με την χάραξη που γνωρίζουμε : Εξάρχεια – Αλεξάνδρας – Δικαστήρια – Κυψέλη- Άλσος Βεΐκου.

Ο κλάδος Πανόρμου- Παράδεισος αποτελούσε διακλάδωση της Γραμμής 3. Η χάραξη αυτή προέβλεπε τον διαχωρισμό δύο κατευθύνσεων της Γραμμής 3. Η μία χάραξη είναι η υφιστάμενη που συνεχίζει από τον σταθμό Πανόρμου μέχρι το αεροδρόμιο και η άλλη αποτελεί, με κάποιες διαφορές, ένα μεγάλο κομμάτι του δεξιού κλάδου της Γραμμής 4. Είχε προβλεφθεί η κατασκευή δύο σηράγγων (κλάδων) μίας κατεύθυνσης μετρό στην περιοχή του υπάρχοντος σταθμού και η δημιουργία διδύμων σταθμών, ένας για κάθε κλάδο. Το μήκος της διακλάδωσης είχε υπολογισθεί 7,5 χλμ και περιελάμβανε τους σταθμούς Γηροκομείο, Ψυχικό, Φιλοθέη, Σίδερα, ΟΑΚΑ και Παράδεισος. Η προτεινόμενη χάραξη ακολουθούσε τη δυτική πλευρά της Λ.Κηφισίας από το Γηροκομείο μέχρι και τον σταθμό στα Σίδερα Χαλανδρίου. Οι θέσεις των σταθμών ΟΑΚΑ και Παράδεισος βρίσκονταν εκτός του άξονα της Λ.Κηφισίας. Στην σημερινή μορφή της χάραξης αυτού του κλάδου ο σταθμός Γηροκομείο έχει καταργηθεί και αυτό έγινε γιατί η χάραξη ακολούθησε άλλη πορεία εξυπηρετώντας τις περιοχές Ιλίσια, Ζωγράφου καθώς και τις περιοχές όπου βρίσκονται τα νοσοκομεία στου Γουδή. Με αυτόν τον τρόπο και λόγω της απόφασης οι Γραμμές 3 και 4 να συναντιούνται στον σταθμό Κατεχάκη κατέστη απαγορευτική η δημιουργία ενός νέου σταθμού στο Γηροκομείο.

Οι δύο αυτοί κλάδοι αποτέλεσαν τον κορμό για την δημιουργία μίας νέας αυτόνομης γραμμής, της Γραμμής 4. Η ένωση των δύο αυτών επεκτάσεων μέσω ενός τμήματος που διέρχεται από την περιοχή της πλατείας Φιλικής Εταιρίας (πλατεία Κολωνακίου) – Ευαγγελισμού – Καισαριανή – Άνω Ιλίσια – Ζωγράφου – Γουδή - Κατεχάκη ολοκλήρωσε την πρόταση για την γραμμή 4 που θα εξυπηρετεί και νέες περιοχές οι οποίες μέχρι πρότεινος δεν εξυπηρετούνταν από κάποιο μέσο σταθερής τροχιάς. (πηγή:Μελέτη Ανάπτυξης Μετρό)



Εικόνα 1-2, Πρόταση για το δίκτυο του μετρό της Αθήνας, Πηγή: Μ.Α.Μ

## 1.4 Γραμμή 4

Σύμφωνα με τη Μελέτη Ανάπτυξης Μετρό (1995 - 1999), στο εγκεκριμένο Σχέδιο Ανάπτυξης του Μετρό της Αθήνας προβλεπόταν η κατασκευή δύο νέων Επεκτάσεων που ουσιαστικά θα αποτελούσαν κλάδους των υφιστάμενων Γραμμών, δηλαδή της Γραμμής 2 (Πανεπιστήμιο - Εξάρχεια - Αλεξάνδρας - Δικαστήρια - Κυψέλη - Γαλάτσι - Άλσος Βεΐκου) και της Γραμμής 3 (Πανόρμου - Φάρος - Σίδερρα - ΟΑΚΑ - Παράδεισος - Μαρούσι). Η κατασκευή αυτών των επεκτάσεων κατέστη απαγορευτική καθώς παρουσίαζε μεγάλες αδυναμίες τόσο κατασκευαστικά όσο και λειτουργικά. Το 2004 εκπονήθηκε στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, στο τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων –

Μεταλλουργών, μία διπλωματική εργασία με θέμα τη σύνδεση των περιοχών Ζωγράφου, Γουδί και Καισαριανή με το υπάρχον δίκτυο του Μετρό. Βασικός στόχος της διπλωματικής εργασίας ήταν η αποτελεσματική εξυπηρέτηση της Πολυτεχνειούπολης, η οποία μέχρι και σήμερα δε συνδέεται με κάποιο μέσο σταθερής τροχιάς.

Σε αυτό το πλαίσιο, η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. προχώρησε στην εξέταση της σύνδεσης των εν λόγω επεκτάσεων μεταξύ τους και την ανάπτυξή τους ως μία νέα αυτόνομη Γραμμή 4 σε σχήμα U (Εικόνα 1-3), η οποία θα περιλαμβάνει τα παραπάνω δύο - ακτινικού χαρακτήρα - σκέλη (προς Γαλάτσι και προς Μαρούσι) και ένα κεντρικό τμήμα που θα συνδέει 8 νέους σταθμούς Μετρό: Πανεπιστήμιο, Κολωνάκι, Ευαγγελισμός, Παγκράτι/Καισαριανή, Άνω Ιλίσια, Ζωγράφου, Γουδί, Κατεχάκη, με ανταπόκριση με τις υφιστάμενες Γραμμές 2 (στον Σταθμό Πανεπιστήμιο) και 3 (στους Σταθμούς Ευαγγελισμός & Κατεχάκη). Πρόσφατα στη Γραμμή αυτή προστέθηκε ο κλάδος Ευαγγελισμός - Παγκράτι - Βύρωνας - Υμηττός - Ηλιούπολη, καθώς και οι επεκτάσεις Μαρούσι - Λυκόβρυση και Άλσος Βεΐκου - Περισσός.

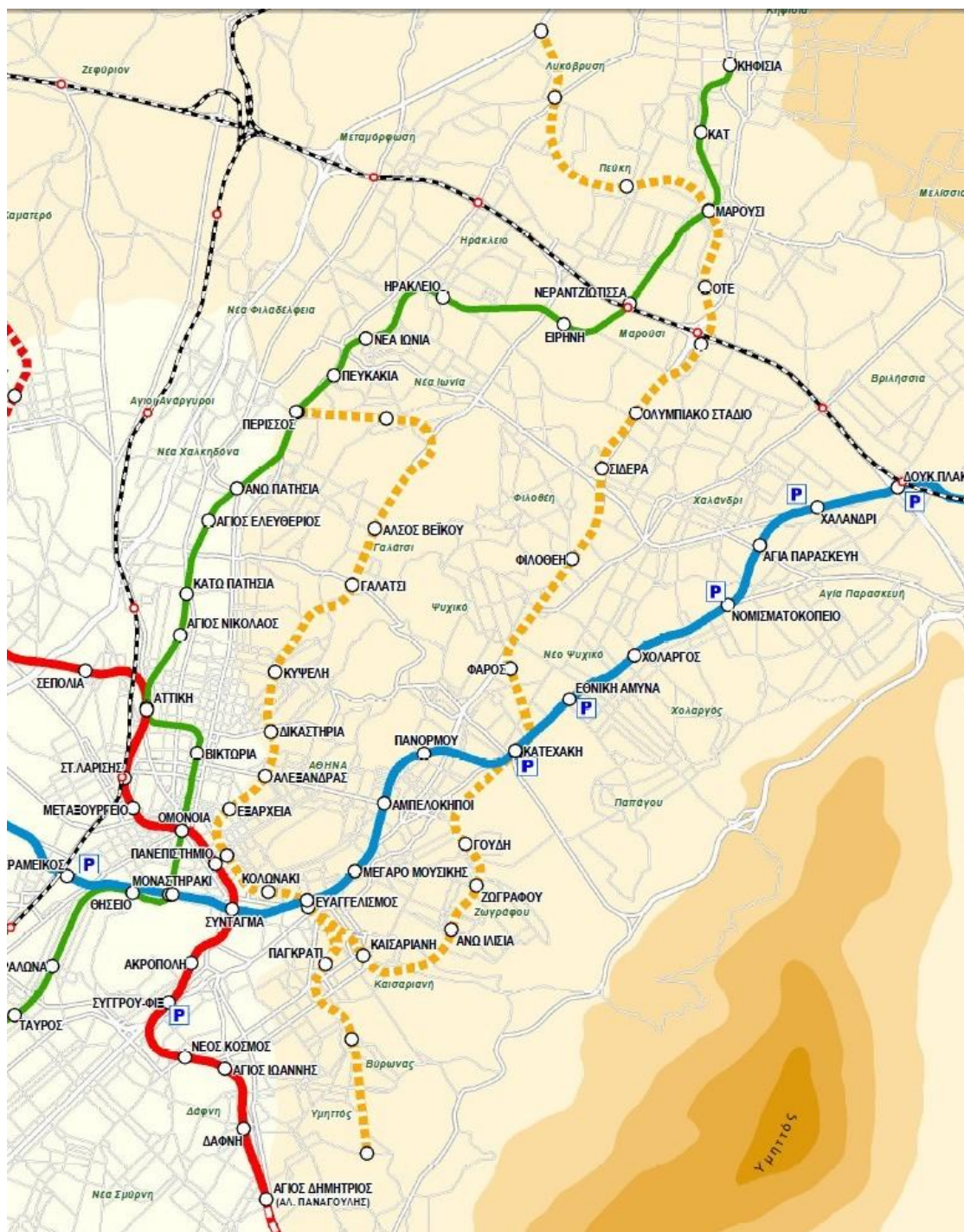
Η νέα Γραμμή του Μετρό, Γραμμή 4 με χρώμα κίτρινο (Περισσός - Άλσος Βεΐκου - Πανεπιστήμιο - Ευαγγελισμός - Βύρωνα - Κατεχάκη - Μαρούσι - Λυκόβρυση) έχει μήκος 33χλμ., διαθέτει 29 σύγχρονους σταθμούς και έχει εκτιμώμενο προϋπολογισμό κατασκευής περίπου 3.3 δισ. ευρώ, ενώ αναμένεται όχι μόνο να αλλάξει δραστικά τον συγκοινωνιακό χάρτη της Αθήνας αλλά και να αναβαθμίσει σημαντικά τη ζωή στο Λεκανοπέδιο.

Η δημιουργία της νέας Γραμμής παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως είναι ενδεικτικά:

- Εξυπηρέτηση πολλών νέων πυκνοκατοικημένων περιοχών της πόλης (Γαλάτσι, Κυψέλη, Παγκράτι, Καισαριανή, Ζωγράφου, περιοχές όμορες Λεωφ. Κηφισίας, κ.λπ.). Εκτιμάται ότι η εν λόγω Γραμμή θα εξυπηρετεί καθημερινά περισσότερους από 500.000 επιβάτες.
- Αύξηση της δικτύωσης του Μετρό που συνεπάγεται την αύξηση του αριθμού των σταθμών ανταπόκρισης, στους οποίους μπορεί να γίνει γρήγορη μετεπιβίβαση μεταξύ των Γραμμών του Μετρό.
- Ανακούφιση υφιστάμενων σταθμών Μετρό από τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση του επιβατικού κοινού (Σύνταγμα, κ.λπ.).

Ο στόχος του Υπουργείου Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων και της Αττικό Μετρό Α.Ε. είναι εντός του 2011 να δημοπρατηθεί η οριστική μελέτη του έργου και η δημοπράτηση για την κατασκευή του πρώτου τμήματος της Γραμμής (Άλσος Βεΐκου - Ευαγγελισμός) που περιλαμβάνει 9 σταθμούς, να υλοποιηθεί εντός του 2012.

Η νέα γραμμή προβλέπεται να κατασκευασθεί με την πιο σύγχρονη τεχνολογία που επικρατεί σήμερα στα υπόγεια σιδηροδρομικά έργα. Οι συρμοί θα κινούνται αυτόματα, χωρίς οδηγό, η σηματοδότηση δεν θα έχει καλωδιώσεις και οι σταθμοί θα κατασκευαστούν με το νέο κλειστό σύστημα, δηλαδή με αυτόματες πόρτες ασφαλείας τόσο στο τρένο όσο και προς την αποβάθρα. Σταδιακά και οι υφιστάμενες γραμμές του Μετρό θα αναβαθμιστούν στην προηγμένη τεχνολογία.



Εικόνα 1-3, Υπάρχουσα πρόταση για τη Γραμμή 4, Πηγή: <http://www.ametro.gr/>

## 1.5 Οφέλη Μετρό

Η λειτουργία του Μετρό έχει συμβάλει ουσιαστικά στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των Αθηναίων με ποικίλους τρόπους. Συγκεκριμένα:

- Μειώνει την κίνηση των οχημάτων και περιορίζει την ατμοσφαιρική ρύπανση,

- Συμβάλλει άμεσα στην οικονομική ανάπτυξη,
- Προσφέρει μία μοναδική ευκαιρία για να αναδυθούν αρχαιολογικοί θησαυροί,
- Αναβαθμίζει την εικόνα της Αθήνας
- Εξασφαλίζει πρόσθετα κονδύλια από την Ευρωπαϊκή Ένωση και τον ιδιωτικό τομέα,
- Είναι το πιο γρήγορο και αξιόπιστο μεταφορικό μέσο,
- Συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας,
- Βοηθάει την ανάπτυξη του τουρισμού.

Σε επίπεδο εθνικής οικονομίας, τα οφέλη από τη λειτουργία του μετρό είναι πολλά, κυρίως από τη μείωση του χρόνου μετακίνησης, τη μείωση των οχηματοχιλιομέτρων των ΙΧ με συνέπεια τη μείωση κατανάλωσης βενζίνης, των ρύπων και των τροχαίων ατυχημάτων.

### **1.5.1 Επίδραση της λειτουργίας του Μετρό σε συγκοινωνίες/περιβάλλον**

Σήμερα, οι δύο Γραμμές του Μετρό της Αθήνας έχουν συνολικό μήκος περίπου 51,1 χλμ (συμπεριλαμβανομένων των 20,7 χλμ γραμμής του προαστιακού από το σταθμό Δουκίσσης Πλακεντίας προς Αεροδρόμιο), διαθέτουν 34 σύγχρονους σταθμούς και εξυπηρετούν 700.000 επιβάτες καθημερινά. Επίσης, η Γραμμή 1 του ΗΣΑΠ εξυπηρετεί αντίστοιχα περισσότερους από 550.000 επιβάτες. Έτσι, μαζί με το Τραμ και τον Προαστιακό, το Μετρό συμβάλλει στη σύνθεση ενός σύγχρονου συγκοινωνιακού δικτύου και στην αναβάθμιση της ποιότητας ζωής στο λεκανοπέδιο.

Σύμφωνα με μετρήσεις και υπολογισμούς της Αττικό Μετρό η λειτουργία του Μετρό μείωσε κατά 70.000 τα Ι.Χ. αυτοκίνητα που εισέρχονται στο κέντρο της πόλης ή ισοδύναμα μείωσε την κίνηση με Ι.Χ. κατά 335.000 οχηματοχιλιόμετρα ημερησίως. Οι μετακινήσεις των οχημάτων ελαττώθηκαν κατά 250.000 ημερησίως. Λόγω του Μετρό, οι ρύποι από τα οχήματα μειώθηκαν 8% κατά μέσον όρο.

Παράλληλα, η λειτουργία του Μετρό συνδυάστηκε με αναδιάρθρωση και των άλλων δημοσίων μέσων μεταφοράς με μείωση τερματικών σταθμών λεωφορείων στο κέντρο της πόλης, λόγω δημιουργίας νέων αφετηριών λεωφορείων κοντά σε περιφερειακούς

σταθμούς του Μετρό. Η λειτουργία, συνεπώς, του Μετρό μείωσε σημαντικά εκτός από τα Ι.Χ. και την κίνηση των λεωφορείων στο κέντρο της Αθήνας.

Επίσης, η λειτουργία του Μετρό οδήγησε σε ενίσχυση της χρήσης και των ΗΣΑΠ σε ποσοστό 14% περίπου, περιορίζοντας επιπρόσθετο ποσοστό μετακινήσεων με Ι.Χ. αυτοκίνητα.

Συνεπώς, γίνεται αντιληπτή η επίδραση του Μετρό στη βελτίωση των δημόσιων συγκοινωνιών, στη μείωση των μετακινήσεων με Ι.Χ. και στην κυκλοφοριακή ανακούφιση κυρίως στο κέντρο της Αθήνας με αποτέλεσμα τη βελτίωση του περιβάλλοντος και ιδιαίτερα τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο λεκανοπέδιο.

Μετρήσεις που έγιναν πριν και μετά τη λειτουργία του Μετρό έδειξαν ότι υπήρξε σημαντική μείωση των ρύπων στην περίοδο μετά τη λειτουργία του Μετρό.

Παρατίθεται αναλυτικός πίνακας των μετρήσεων με συγκριτική παρουσίαση:

Πίνακας 1-1, Ατμοσφαιρικοί ρύποι πριν και μετά τη λειτουργία του Μετρό,  
Πηγή: Αττικό Μετρό 2009

ΡΥΠΟΙ	ΠΡΙΝ ΤΟ ΜΕΤΡΟ	ΜΕΤΑ ΤΟ ΜΕΤΡΟ	ΔΙΑΦΟΡΑ%
Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> )(μg/m <sup>3</sup> )	18,3	17,5	-4
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO) (μg/m <sup>3</sup> )	2,43	2,25	-7
Διοξείδιο του αζώτου (NO <sub>2</sub> ) (μg/m <sup>3</sup> )	58,3	54,3	-7
Όζον (O <sub>3</sub> ) (μg/m <sup>3</sup> )	55,7	49,7	-12
Καπνός (μg/m <sup>3</sup> )	52,6	50	-5

### 1.5.2 Περιοχές λειτουργίας σταθμών Μετρό

Η λειτουργία του συστήματος Μετρό έχει αυξήσει σημαντικά τη δυνατότητα πρόσβασης και την ελκυστικότητα των περιοχών γύρω από τους περισσότερους σταθμούς του Μετρό. Έχει παρατηρηθεί ότι η επέκτασή του Μετρό σε μια περιοχή οδηγεί σε αύξηση της αξίας των ακινήτων της περιοχής αυτής, αυτό συμβαίνει διότι πολλοί είναι αυτοί που επιδιώκουν να εγκατασταθούν σε μία περιοχή με υψηλή ποιότητα συγκοινωνιακής εξυπηρέτησης. Το γεγονός αυτό δημιούργησε επιπλέον δυνατότητες ανάπτυξης και ευκαιρίες επενδύσεων στις εν λόγω περιοχές και άλλαξε σημαντικά τις παραδοχές βάσει των οποίων εκπονήθηκαν τα δομικά σχέδια στα μέσα της δεκαετίας του '80. Η νέα αυτή κατάσταση δημιούργησε την ανάγκη παρεμβάσεων πολεοδομικού σχεδιασμού γύρω από τους σταθμούς του Μετρό. Οι παρεμβάσεις αυτές (π.χ. ζώνες ελεγχόμενης ανάπτυξης, μέτρα ανάπλασης) υποστήριξαν τους εγκεκριμένους στόχους πολεοδομικού σχεδιασμού, επέτρεψαν την ομαλή ενσωμάτωση των περιοχών μελέτης στον αστικό ιστό και ελαχιστοποίησαν τον κίνδυνο ανεξέλεγκτης ή ανεπιθύμητης ανάπτυξης.

Έχοντας επίγνωση της κατάστασης αυτής, οι εμπλεκόμενοι φορείς και συγκεκριμένα το Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, ο Οργανισμός Αθήνας, η Εταιρία Ενοποίησης Αρχαιολογικών Χώρων (ΕΑΧΑ) και η Αττικό Μετρό συνέστησαν μία επιτροπή που καθόρισε το είδος των παρεμβάσεων (χρήσεις γης, όροι και περιορισμοί δόμησης) και επεξεργάστηκε προτάσεις για τον τρόπο υλοποίησής τους. (πηγή: Αγραπίδη, Τζουμας, 2004)

### 1.5.3 Αρχαιολογικές ανασκαφές & ευρήματα

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. Αξίζει να σημειωθεί ότι, χάρη στην κατασκευή του Μετρό της Αθήνας, πραγματοποιήθηκε η μεγαλύτερη αρχαιολογική ανασκαφή στην Πρωτεύουσα (79.000 τμ.) η οποία έφερε στο φως περισσότερα από 50.000 αρχαιολογικά ευρήματα από τη νεολιθική περίοδο έως την σύγχρονη εποχή.

Οι ανασκαφές, η συντήρηση, μεταφορά, έκθεση, κλπ. των αρχαίων ευρημάτων αποτέλεσε συντονισμένη προσπάθεια τριών φορέων: της ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. (ΑΜ) που είναι ο



Κύριος του έργου, της Κοινοπραξίας ΟΛΥΜΠΙΑΚΟ ΜΕΤΡΟ (Κ/Ξ ΟΜ) που κατασκεύασε το βασικό έργο και του Υπουργείου Πολιτισμού (ΥΠΠΟ), το οποίο σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία έχει την ευθύνη και επιστασία όλων των αρχαιολογικών δραστηριοτήτων. Οι αρμόδιες αρχαιολογικές υπηρεσίες του ΥΠΠΟ επέβλεψαν όλες τις φάσεις του αρχαιολογικού έργου, ενώ η Αττικό Μετρο χρηματοδότησε όλες τις αρχαιολογικές ανασκαφές και παράλληλα συντόνισε τους αναδόχους των έργων και όλους τους εμπλεκόμενους φορείς και υπηρεσίες.

Όλο το αρχαιολογικό υλικό αποτελεί ιδιοκτησία του ελληνικού κράτους, ενώ η φύλαξή του έχει ανατεθεί από το δημόσιο στο ΥΠΠΟ. Ειδικευμένοι αρχαιολόγοι του ΥΠΠΟ επέβλεψαν όλες τις πτυχές του έργου από το αρχικό στάδιο των προβλέψεων έως τη δημοσίευση των εργασιών. Ο ρόλος του ΥΠΠΟ ήταν να σχεδιάζει και να επιβλέπει τις ανασκαφές, να προστατεύει τα ευρήματα και να ενημερώνει το κοινό μέσω μουσειακών εκθεμάτων, συλλογών μελέτης και εκλαϊκευμένων και επιστημονικών εκδόσεων. Η ΑΜ χρηματοδότησε και σε συνεργασία με την Κ/Ξ ΟΜ συντόνισε τα σημεία επαφής των αρχαιολογικών δραστηριοτήτων με τα άλλα μέρη. Η Κ/Ξ ΟΜ, λαμβάνοντας υπόψη τις φάσεις κατασκευής του έργου και το χρονοδιάγραμμά του, ετοίμασε την πρόταση για τις αρχαιολογικές ανασκαφές ώστε να υλοποιηθούν πριν από τις κυρίως εργασίες κατασκευής, ενεργοποίησε τους πόρους και παρείχε την τεχνική υποστήριξη που απαιτούσε το ΥΠΠΟ για να προβεί στο ανασκαφικό του έργο, στη συντήρηση και στην αποθήκευση. Η υποστήριξη αυτή περιελάμβανε εξειδικευμένο προσωπικό, προμήθεια υλικών, εργαλεία, εξοπλισμό, καθώς και εργαστηριακές και αποθηκευτικές εγκαταστάσεις.

Το ενδιαφέρον τόσο των Αθηναίων όσο και των τουριστών που χρησιμοποιούν το Μετρό όταν επισκέπτονται την Αθήνα εστιάζεται συχνά στην πρόοδο των αρχαιολογικών ανασκαφών και στα ευρήματα που ήρθαν στο φως από τις ανασκαφές, δεδομένου ότι η κατασκευή του Μετρό της Αθήνας πραγματοποιήθηκε ανάμεσα στις σημαντικότερες τοποθεσίες της κλασικής αρχαιότητας. Πέντε από τους σταθμούς του υπόγειου σιδηροδρόμου βρίσκονται στην καρδιά της αρχαίας Αθήνας, στη σκιά της Ακρόπολης.

Κατά την εκσκαφή στις περιοχές που ανευρίσκονται αρχαιότητες υπάρχει αυστηρός έλεγχος και παρακολούθηση, ώστε να προστατευθούν και να διατηρηθούν τα ευρήματα. Εξειδικευμένοι αρχαιολόγοι του Υπουργείου Πολιτισμού ανασκάπτουν με προσοχή, καταγράφουν, αναλύουν και αποθηκεύουν κάθε εύρημα. Για να ελαχιστοποιηθούν οι

πιθανότητες συνάντησης με αρχαιολογικά ευρήματα, οι σήραγγες του Μετρό διανοίγονται σε βάθος 20 μέτρων, επίπεδο πολύ χαμηλότερο από αυτό στο οποίο βρίσκονται τα αρχαιολογικά ευρήματα.

Πριν αρχίσουν οι εργασίες του έργου, η Κ/Ξ ΟΜ μαζί με το ΥΠΠΟ είχαν επαληθεύσει μέσω διερευνητικών τομών και άλλων μεθόδων τις αναμενόμενες αρχαιολογικές περιοχές υψηλού κινδύνου βασιζόμενοι στα αποτελέσματα επιμελημένης χαρτογράφησης προηγούμενων ερευνών κάτω από την επιφάνεια σε ευρήματα κοντά στην εκσκαφή θεμελίων νέων κτισμάτων, σε πληροφορίες από αρχαία κείμενα και αρχεία, όπως π.χ. τα ταξίδια του Πausανία, σε δοκιμαστικές τάφρους και σε σύγχρονες τεχνικές, όπως π.χ. χρήση ραντάρ που διαπερνά το έδαφος. Αυτή η ανάλυση εστίασε σε πέντε σταθμούς (Σύνταγμα, Μοναστηράκι, Κεραμεικό, Ακρόπολη και Πανεπιστήμιο), όπου έγιναν και σημαντικές ανασκαφές μεγάλης διάρκειας, πριν αρχίσει κάθε κατασκευαστική εργασία. Αρχαιολογικές ανασκαφές έγιναν επίσης σε φρεάτια αερισμού, κυρίως στο κέντρο της Αθήνας (φρέατα Μητροπόλεως, Ασωμάτων, Ερμού & Αρίωνος, Ιάκχου, Αμαλίας, Εθνικού Κήπου, Αμερικής και Πετμεζιά), όπου αναμένονταν σημαντικά αρχαιολογικά ευρήματα. Οι ανασκαφές έφεραν στο φως υλικό από όλες τις εποχές, από τη νεολιθική περίοδο ως τη σύγχρονη εποχή. Στα ευρήματα περιλαμβάνονται δημόσια λουτρά, εργαστήρια επεξεργασίας μετάλλων, υδραγωγεία και στέρνες, αρχαίοι δρόμοι και τείχη, αποχετευτικά έργα, νεκροταφεία και διάσπαρτοι τάφοι, και ένας αινιγματικός χώρος γεμάτος λυχνίες με ερωτικές παραστάσεις. Σημαντικά αρχαιολογικά ευρήματα αποσπάστηκαν και φυλάσσονται από το ΥΠΠΟ σε ασφαλείς χώρους.

Σε εργοτάξια, όπου δεν αναμενόταν η ανακάλυψη σημαντικών αρχαιολογικών ευρημάτων, οι αρχαιολόγοι του ΥΠΠΟ έδιδαν το παρόν κάθε φορά που οι κατασκευαστές συναντούσαν αρχαιολογικά ευρήματα. Στις περιπτώσεις αυτές το εργατικό προσωπικό απομακρυνόταν από το χώρο ώσπου να αποπερατωθεί η αρχαιολογική έρευνα. Στα ευρήματα που αναπάντεχα συναντήθηκαν περιλαμβάνονται μία σαρκοφάγος στο σταθμό «Εθνική Άμυνα» και ένα ευρύ αποχετευτικό σύστημα της ρωμαϊκής περιόδου στους σταθμούς «Λαρίσης» και «Ευαγγελισμός» καθώς και στο φρέαρ «Παλαιολόγου». Το φρέαρ της Λ. Αμαλίας μετατοπίστηκε εξαιτίας της απροσδόκητης ανακάλυψης ενός σημαντικού συγκροτήματος ρωμαϊκών δημόσιων λουτρών, το οποίο σήμερα είναι επισκέψιμο από το κοινό.

Μερικοί σταθμοί, όπως οι σταθμοί Ακρόπολη, Μοναστηράκι και Πανεπιστήμιο, κατασκευάστηκαν με τεχνικές υπόγειας διάνοιξης σηράγγων αντί της μεθόδου εκσκαφής από την επιφάνεια με σκοπό να ελαχιστοποιηθούν τα προβλήματα όχλησης σε γνωστούς αρχαιολογικούς χώρους. Άλλοι παράγοντες, εκτός από τη αρχαιολογία, ήταν και ο περιορισμός των επιπτώσεων στην κυκλοφορία, στους αγωγούς κοινής ωφελείας, στην εμπορική δραστηριότητα και στη ζωή της πόλης.

Το σύνολο της ανασκαφικής εργασίας αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο αρχαιολογικό πρόγραμμα που τέθηκε ποτέ σε εφαρμογή στην Αθήνα. Το έργο του Μετρό “ανέσκαψε” το παρελθόν της Αθήνας για να οικοδομήσει το μέλλον της. (πηγή: Αγραπίδη, Τζουμας, 2004)

#### **1.5.4. Προσφορά του έργου στην ανάπλαση/αναβάθμιση της Πρωτεύουσας**

Κατά τη διάρκεια κατασκευής των έργων του Μετρό, η ΑΜ σχεδίασε, μελέτησε και υλοποίησε ιδιαίτερα σημαντικές παρεμβάσεις ανάπλασης και διαμόρφωσης πολλών σημείων στο δήμο της Αθήνας αλλά και σε άλλους δήμους κατά μήκος της διαδρομής των γραμμών του Μετρό, προσφέροντας ένα νέο καλαισθητο περιβάλλον γύρω από τους σταθμούς αλλά και σε παρακείμενα σημεία αυτών. Οι βασικότερες από τις παρεμβάσεις αυτές, του βασικού έργου, που κόστισαν περίπου 9 εκατ. Ευρώ παρατίθενται ακολούθως :

Αμαξοστάσιο Σεπολίων : Διαμόρφωση περιβάλλοντος χώρου, με φύτευση πλήθους δέντρων και θάμνων στην περιφέρεια και σε άλλα σημεία-ζώνες στα όρια του αμαξοστασίου.

Σταθμός ΑΤΤΙΚΗ : Διαμόρφωση χώρου γύρω από την είσοδο του σταθμού, με νέα πλακόστρωση και δεντροφύτευση.

Πλατεία Αττικής : Αναβάθμιση των χώρων της πλατείας και χώρου πρασίνου, νέα πλακόστρωση και δεντροφύτευση.

Σταθμός ΛΑΡΙΣΗΣ : Αποκατάσταση και αναβάθμιση της πλατείας, με νέα πλακόστρωση, νέο φωτισμό, νέα τοιχία με πέτρινες επενδύσεις και νέο γήπεδο μπάσκετ.

Σταθμός ΜΕΤΑΞΟΥΡΓΕΙΟ : (Πλατεία Καραϊσκάκη) Νέα διαμόρφωση πλατείας, υλοποίηση νέας αρχιτεκτονικής μελέτης για την τοποθέτηση μνημείου «πεσόντος αεροπόρου».

Σταθμός ΟΜΟΝΟΙΑ : Αναβάθμιση του υπογείου χώρου καταστημάτων, εγκατάσταση 16 νέων κυλιόμενων κλιμάκων, διαμόρφωση εισόδων σε ΗΣΑΠ / ΜΕΤΡΟ περιμετρικά της πλατείας. Υλοποιήθηκε η νέα κυκλοφοριακή ρύθμιση στην ευρύτερη περιοχή.

Σταθμός ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ: Αποκατάσταση και αναβάθμιση του χώρου με νέα διαμόρφωση των Προπυλαίων και του πεζόδρομου Κοραή με υψηλής ποιότητας υλικά πλακοστρώσεων, φυτεύσεις κτλ.

Σταθμός ΣΥΝΤΑΓΜΑ : Πρωτοποριακή έκθεση αρχαιολογικών ευρημάτων επί της πλατείας. Επίσης νέα κυκλοφοριακή ρύθμιση στην ευρύτερη περιοχή (Αμαλίας και Φιλελλήνων). Εικαστικές παρεμβάσεις στο χώρο της πλατείας (έργο Ζογγολόπουλου).

Λεωφόρος Αμαλίας : Ανάδειξη σημαντικών αρχαιολογικών ευρημάτων (βαλανείο, ρωμαϊκά λουτρά κτλ) με έκθεσή τους στο κοινό.

Σταθμός ΑΚΡΟΠΟΛΗ : Πεζοδρόμηση τμήματος οδού Διάκου και νέα διαμόρφωση περιοχής εισόδων σταθμού.

Οδός Πετμεζά : Δημιουργία μικρού εκθεσιακού χώρου με εκθέματα των ανακαλυφθέντων αρχαιολογικών ευρημάτων.

Σταθμός ΣΥΓΓΡΟΥ-ΦΙΞ : (Λ.Συγγρού-Οδός Καλλιρόης) Στην επιφάνεια του σταθμού μετεπιβίβασης και του υπόγειου χώρου στάθμευσης δημιουργία αφετηρίας λεωφορείων και νέου κήπου 2,5 στρεμμάτων, ειδική διαμόρφωση του χώρου πλησίον του κτιρίου ΦΙΞ. Επίσης, πεζοδρόμηση της οδού Δράκου.

Σταθμός ΝΕΟΣ ΚΟΣΜΟΣ : Διαμόρφωση της περιοχής του σταθμού με δημιουργία ελεύθερων χώρων πρασίνου, πεζοδρόμων κτλ.

Σταθμός ΑΓΙΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ : Σημαντική παρέμβαση και πλήρης αναβάθμιση της ομώνυμης πλατείας και της γύρω περιοχής με νέα πλακόστρωση, φύτευση, φωτισμό και δημιουργία παιδικής χαράς.

Σταθμός ΔΑΦΝΗ : Ιδιαίτερα σημαντική παρέμβαση στην πλατεία Κολοκοτρώνη με νέα κυκλοφοριακή ρύθμιση που εξυπηρετεί 3 δήμους, νέα αφετηρία λεωφορειακών γραμμών,

νέα πλακόστρωση, φύτευση, φωτισμό και δημιουργία σιντριβανιού και νέων ελεύθερων χώρων.

Σταθμός ΕΘΝΙΚΗ ΑΜΥΝΑ: Διαμόρφωση χώρου μετεπιβίβασης γύρω από τον χώρο του σταθμού με νέες αφετηρίες λεωφορείων.

Σταθμός ΚΑΤΕΧΑΚΗ: Νέα διαμόρφωση γύρω από την είσοδο του σταθμού με υπαίθριο χώρο στάθμευσης και δημιουργία χώρου πρασίνου.

Σταθμός ΠΑΝΟΡΜΟΥ: Αναβάθμιση πλατείας με πλακόστρωση και φύτευση.

Σταθμός ΑΜΠΕΛΟΚΗΠΟΙ: Διαμόρφωση νέων ελεύθερων χώρων με πράσινο στις περιοχές των εισόδων του σταθμού.

Σταθμός ΜΕΓΑΡΟ ΜΟΥΣΙΚΗΣ: Νέα διαμόρφωση πεζοδρομίων.

Σταθμός ΕΥΑΓΓΕΛΙΣΜΟΣ: Σημαντική παρέμβαση στο πάρκο Ριζάρη με δημιουργία πλατείας, πρασίνου κτλ. Διαμόρφωση πρόσβασης μέσω του πάρκου. Εγκατάσταση έργου Γ. Ζογγολόπουλου " Στήλεια ".

Στο σύνολο των σταθμών: Αναβάθμιση του φωτισμού και εγκατάσταση ειδικών καλαίσθητων στυλίσκων-εμποδίων για την αποτροπή στάθμευσης στα πεζοδρόμια γύρω από τους χώρους των σταθμών.

(πηγή: Αττικό Μετρό)

### **1.5.5 Ταχύτητα και αξιοπιστία**

Η συχνότητα διέλευσης των συρμών είναι ανά 3 λεπτά τις ώρες αιχμής και ανά 5 με 10 λεπτά τις υπόλοιπες ώρες. Ένας τυπικός συρμός τις ώρες αιχμής εξυπηρετεί 1.000 επιβάτες ανά διαδρομή. Οι δύο γραμμές εξυπηρετούν 238 εκατομμύρια επιβάτες ετησίως ή 700.000 κάθε ημέρα. Η υπάρχουσα γραμμή του Ηλεκτρικού Σιδηροδρόμου Αθήνα-Πειραιά (ΗΣΑΠ) εξυπηρετεί περίπου 171 εκατομμύρια επιβάτες ετησίως ή 550.000 επιβάτες κάθε ημέρα. Χωρίς το Μετρό, τις ώρες αιχμής, η διαδρομή από το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας στο Σύνταγμα με επιβατικό αυτοκίνητο καλύπτεται σε 35 λεπτά. Με το Μετρό αρκούν μόνο 10 λεπτά. Επίσης, η διαδρομή Δάφνη-Ομόνοια μειώθηκε από 35 σε 9 λεπτά.

Το μετρό έχει ήδη αναγνωριστεί ως ο βασικότερος τρόπος βελτίωσης των συνθηκών καθημερινής μετακίνησης των πολιτών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ότι με την

πρόσφατη διακοπή λειτουργίας της γραμμής μετρό από την Εθνική Άμυνα στο Αεροδρόμιο ο χρόνος μετακίνησης στη λεωφ. Μεσογείων, από Σταυρό ως Εθνική Άμυνα, αυξήθηκε κατά 25%-30% στις ώρες αιχμής και στη λεωφόρο Κηφισίας, από Μαρούσι ως λεωφόρο Αλεξάνδρας, η αντίστοιχη αύξηση ήταν 15%. (πηγή: Καρλαύτης, Λυμπέρης, 2009)

## **1.6 Γενικές πληροφορίες ΜΕΤΡΟ**

### **1.6.1 Απαλλοτριώσεις**

Όπως σε κάθε μεγάλο συγκοινωνιακό έργο σε περιοχή με πυκνή δόμηση όπως η Αθήνα, οι απαλλοτριώσεις ιδιοκτησιών υπήρξαν αναπόφευκτες. Στη διαδικασία ανάπτυξης και καθαρισμού της χάραξης των γραμμών του συστήματος και της χωροθέτησης των σταθμών, οι μελετητές επεδίωξαν, ως πρωταρχική μέριμνα, τη βελτιστοποίηση της χρήσης δημοσίων χώρων (δρόμοι, πλατείες, πάρκα κ.α.), όπου αυτό ήταν εφικτό. Η προσπάθεια αυτή είχε ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση των αναγκών απαλλοτρίωσης ιδιόκτητων ακινήτων. Για την υλοποίηση όμως των παραπάνω και για τους απολύτως αναγκαίους χώρους έγινε σημαντικός αριθμός αναγκαστικών απαλλοτριώσεων.

### **1.6.2 Μετατόπιση των δικτύων κοινής ωφέλειας (ΔΚΩ)**

Η κατασκευή ενός υπόγειου διαδρόμου μετρό, απαιτεί μετακινήσεις αγωγών κοινής ωφέλειας. Αυτό συμβαίνει κυρίως στις θέσεις των σταθμών και στις προσβάσεις τους. Τις μεγαλύτερες δυσκολίες προβάλλουν αγωγοί που βρίσκονται σε μεγάλο βάθος από την επιφάνεια της οδού (π.χ. αποχετευτικοί αγωγοί) οι οποίοι απαιτούν λεπτομερή σχεδιασμό καθώς η μετακίνηση τους επηρεάζει γειτονικούς αγωγούς, φρεάτια και συναφείς κατασκευές. Ως προσωρινή λύση επιλέγεται πολλές φορές η τοποθέτηση μεταλλικών αγωγών ικανοποιητικής διατομής στο χώρο του σκάμματος (προ της εκσκαφής), οι οποίοι χρησιμοποιούνται είτε ως αγωγοί ομβρίων υδάτων είτε για την διέλευση καλωδίων. Οι αγωγοί αυτοί μετά την εκσκαφή αναρτώνται εντός του σκάμματος. Η μετατόπιση των ΔΚΩ καταλαμβάνει ένα σημαντικό μέρος του χρόνου κατασκευής του έργου. Έτσι, ο λεπτομερής σχεδιασμός, η σωστή κατασκευή και η έγκαιρη διάγνωση των επιδράσεων στους γειτονικούς αγωγούς και κατασκευές, αποτελούν τη βάση τόσο για την εντός των

χρονοδιαγραμμάτων όσο και για την ασφαλή εκτέλεση των περαιτέρω εργασιών κατασκευής των σηράγγων.

Παρακάτω αναφέρονται κάποια από τα δίκτυα κοινής ωφέλειας που πιθανόν να επηρεαστούν από την κατασκευή ενός υπόγειου διαδρόμου μετρό:

- Καλώδια τηλεφώνων και τηλεπικοινωνιών
- Αγωγοί ύδρευσης και αποχέτευσης και καλυμμένοι χείμαρροι
- Ηλεκτροφόρα καλώδια χαμηλής και μέσης τάσης
- Αγωγοί αερίου
- Ρευματοφόρα καλώδια τρόλεϊ και εναέρια καλώδια
- Καλώδια επικοινωνιών του Οργανισμού Σιδηροδρόμων Ελλάδος
- Καλώδια έλεγχου φωτεινών σηματοδοτών
- Δημοτικός φωτισμός, κυκλοφοριακά μοντέλα και σήμανση
- Υφιστάμενη Γραμμή 1- ΗΣΑΠ

### **1.6.3 Παράγοντες επιρροής της μεθόδου κατασκευής**

Η μέθοδος κατασκευής ενός υπόγειου διαδρόμου μετρό επηρεάζεται ως επί το πλείστον από:

- Τις υπερκείμενες κατασκευές
- Τα δίκτυα κοινής ωφέλειας (ΔΚΩ)
- Την γεωλογική σύσταση του εδάφους
- Την υδρολογία του χώρου
- Ειδικές περιπτώσεις, όπως η ύπαρξη αρχαιολογικών ευρημάτων
- Το μήκος των σηράγγων

Και επηρεάζει:

- Το κόστος του έργου
- Τη χρονική διάρκεια περαίωσης του έργου

- Την όχληση του περιβάλλοντος χώρου

#### 1.6.4 Τεχνικός σχεδιασμός διαδρόμου

Ο διάδρομος μίας γραμμής μετρό δε διασταυρώνεται ισόπεδα με κανέναν άλλον κυκλοφοριακό διάδρομο και μπορεί να έχει τμήματα υπόγεια, επίγεια ενίοτε και υπέργεια. Στον πυρήνα μίας πόλης είναι αποκλειστικά υπόγειος, ενώ οι χώροι των συνεργείων και των αμαξοστασίων είναι επίγειοι και συνήθως χωροθετούνται στις παρυφές των δικτύων. Ο διάδρομος περιλαμβάνει τις γραμμές επί των οποίων κυκλοφορούν οι συρμοί, τους σταθμούς και τις προσβάσεις προς αυτούς. Ο διάδρομος κύριας κυκλοφορίας των συρμών έχει διπλή γραμμή, μία ανά κατεύθυνση. Ο διάδρομος μπορεί να είναι ενιαίος (και οι δύο γραμμές σε μία σήραγγα) ή να αποτελείται από δύο σήραγγες (μία για κάθε γραμμή) αν αυτό απαιτείται από την μορφολογία της πόλης.

#### 1.6.5 Σταθμοί και στάσεις

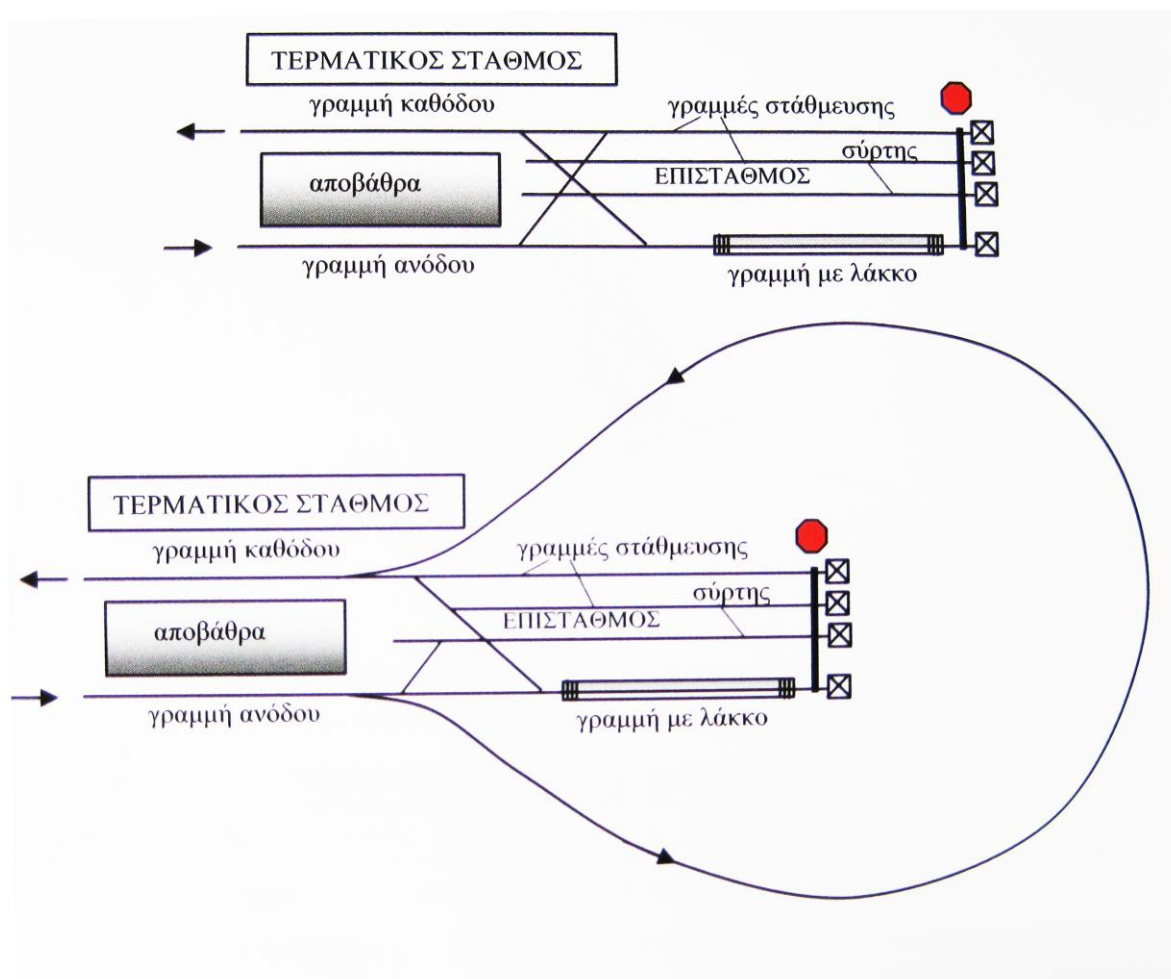
Γενικά, οι θέσεις πρόσβασης του επιβατικού κοινού στο σύστημα μετρό ονομάζονται σταθμοί. Ειδικότερα και αυστηρά σιδηροδρομικά, ως σταθμοί θεωρούνται οι εγκαταστάσεις όπου οι συρμοί σταθμεύουν για επιβίβαση και αποβίβαση επιβατών και έχουν τη δυνατότητα αναστροφής, διακλάδωσης ή εναπόθεσης. Στην περίπτωση που οι συρμοί σταθμεύουν μόνο για να επιβιβαστούν ή να αποβιβαστούν οι επιβάτες, ονομάζονται στάσεις. Στις στάσεις δεν υφίστανται συνδέσεις ή αλλαγές μεταξύ γραμμών.

Σε ένα σύστημα μετρό οι ακραίες εγκαταστάσεις είναι πάντα σταθμοί (τερματικοί σταθμοί) και οι χώροι όπου οι συρμοί μπορούν να αναστρέψουν ή να σταθμεύσουν ονομάζονται επίσταθμοι. Συνήθως οι επίσταθμοι διαθέτουν τουλάχιστον δύο γραμμές στάθμευσης συρμών, μία γραμμή αναστροφής συρμών (σύρτη) και μία γραμμή με λάκκο για ελαφρά επιθεώρηση συρμών(Σχήμα 1-1).

Ενδιάμεσα, οι θέσεις σταθμών καθορίζονται με κριτήρια:

- Τη στρατηγική στάθμευσης συρμών
- Την ανταπόκριση με άλλη γραμμή (διακλάδωση κατευθύνσεων)
- Τη σύνδεση με χώρους συνεργείων/αμαξοστασίων



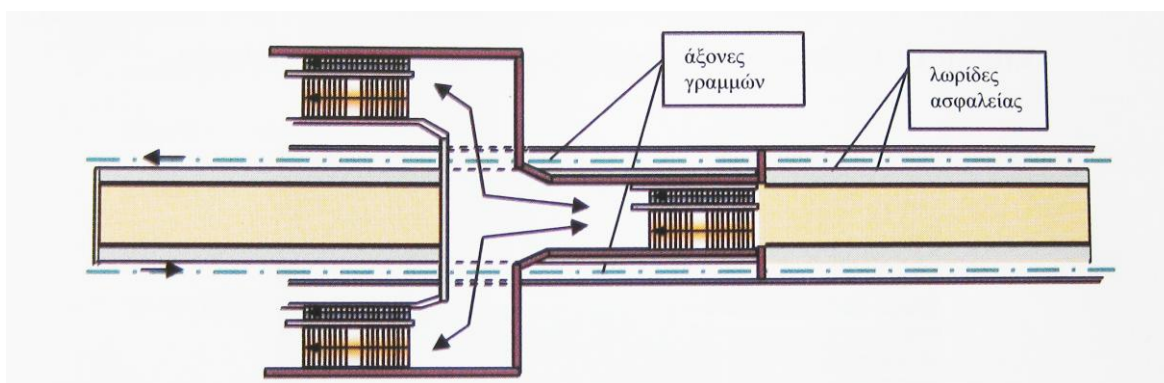


Σχήμα 1-1, Τερματικός σταθμός με επίσταθμο και φουρκέτα  
 Πηγή: Μ. Γ. Καρλαύτης, Λυμπέρης Κ. Π. Συστήματα αστικών συγκοινωνιών : σχεδιασμός, κατασκευή, λειτουργία.

Οι σταθμοί χωροθετούνται έτσι ώστε οριζοντιογραφικά να είναι σε ευθυγραμμία ή σε ελάχιστη ακτίνα 500m προκειμένου να υπάρχει ορατότητα από τον ηλεκτροδηγό κατά την είσοδο και έξοδο των επιβατών στους συρμούς. Υψομετρικά χωροθετούνται όσο το δυνατόν πλησίον της επιφάνειας προκειμένου η είσοδος και έξοδος των επιβατών προς και από τις αποβάθρες να είναι σύντομη. Η κατά μήκος κλίση οφείλει να μην υπερβαίνει το 2%.

Οι τερματικοί σταθμοί, καθώς και οι σταθμοί ανταπόκρισης και ενίοτε στάσεις σε κεντρικότατα σημεία, όπως φαίνεται στο σχήμα 1-2 τυγχάνουν πολυεπίπεδης διαμόρφωσης προκειμένου να γίνει εκμετάλλευση του μεγάλου πλήθους που κινείται με το μετρό. Έτσι, σε πρώτο τουλάχιστον επίπεδο πριν το επίπεδο αποβάθρων, υπάρχουν

διάφορες εμπορικές δραστηριότητες και λειτουργικές εγκαταστάσεις του συστήματος (π.χ. Έκδοση εισιτηρίων, γραφείο σταθμάρχη κ.α.), ενώ σε δεύτερο επίπεδο είναι οι αποβάθρες εξυπηρέτησης των επιβατών. Γενικά υπάρχει πάντα ένα επίπεδο μεταξύ επιπέδου αποβάθρων και επιφάνειας πόλης μέσω του οποίου οι επιβάτες κινούνται προς τις αποβάθρες της μίας ή της άλλης κατεύθυνσης, χωρίς να είναι υποχρεωμένοι να διασχίζουν την επίγεια κυκλοφορία. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται μία τέτοια περίπτωση.

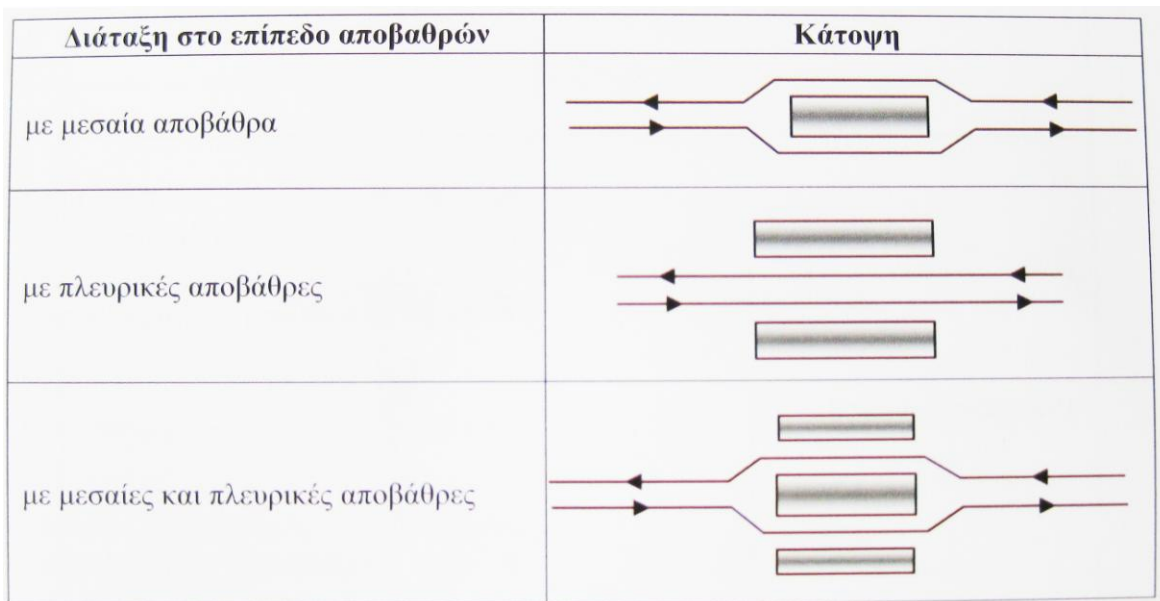


Σχήμα 1-2, Σταθμός με μεσαία αποβάθρα και ενδιάμεσο όροφο κίνησης επιβατών.  
Πηγή: Μ. Γ. Καρλαύτης, Λυμπέρης Κ. Π. Συστήματα αστικών συγκοινωνιών : σχεδιασμός, κατασκευή, λειτουργία.

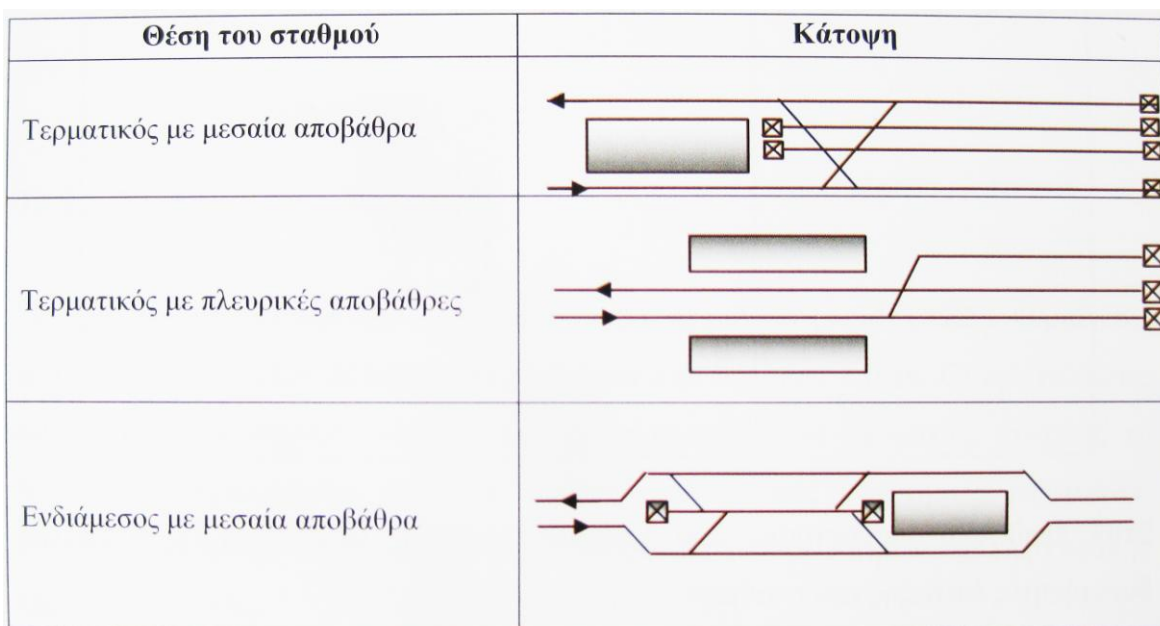
Συνιστάται γενικά ενιαία διάταξη αποβάθρων στη γραμμή έτσι ώστε οι επιβάτες προς αποβίβαση να γνωρίζουν από ποιά πλευρά θα ανοίξουν οι πόρτες των βαγονιών ώστε να προετοιμάζουν την αποβίβαση τους. Κατά αυτό τον τρόπο μειώνεται ο χρόνος παραμονής του συρμού στην αποβάθρα, κάτι που αποβαίνει υπέρ της εμπορικής ταχύτητας των συρμών(Σχήμα 1-3).

Ένα άλλο σημείο στο οποίο πρέπει να δοθεί προσοχή κατά τον σχεδιασμό των σταθμών/στάσεων, είναι αν το σημείο πρόσβασης στο επίπεδο των αποβάθρων θα είναι στις άκρες ή στη μέση της αποβάθρας. Αυτό έχει ως συνέπεια την καλύτερη κατανομή των επιβατών στους συρμούς.

Αν οι κλίμακες πρόσβασης του επιβατικού κοινού στις αποβάθρες είναι στις άκρες, τότε μπορεί να καταλήγουν εντός του πλάτους των αποβάθρων. Στην αντίθετη περίπτωση καταλήγουν σε χώρο εκτός αποβάθρων ο οποίος επικοινωνεί με αυτές μέσω διαδρόμων.



Σχήμα 1-3, Θέση αποβαθρών σε σταθμούς-στάσεις Μετρό  
 Πηγή: Μ. Γ. Καρλαύτης, Λυμπέρης Κ. Π. Συστήματα αστικών συγκοινωνιών : σχεδιασμός, κατασκευή, λειτουργία.



Σχήμα 1-4, Σταθμοί με γραμμές εναπόθεσης και αναστροφής συρμών  
 Πηγή: Μ. Γ. Καρλαύτης, Λυμπέρης Κ. Π. Συστήματα αστικών συγκοινωνιών : σχεδιασμός, κατασκευή, λειτουργία.

Τέλος, στους σταθμούς/στάσεις πρέπει να προβλέπονται χώροι για τον έλεγχο της κυκλοφορίας και λειτουργίας, για το μηχανικό και ηλεκτρικό εξοπλισμό συμπεριλαμβανομένου του εξοπλισμού για τη σηματοδότηση και την τηλεπικοινωνία.

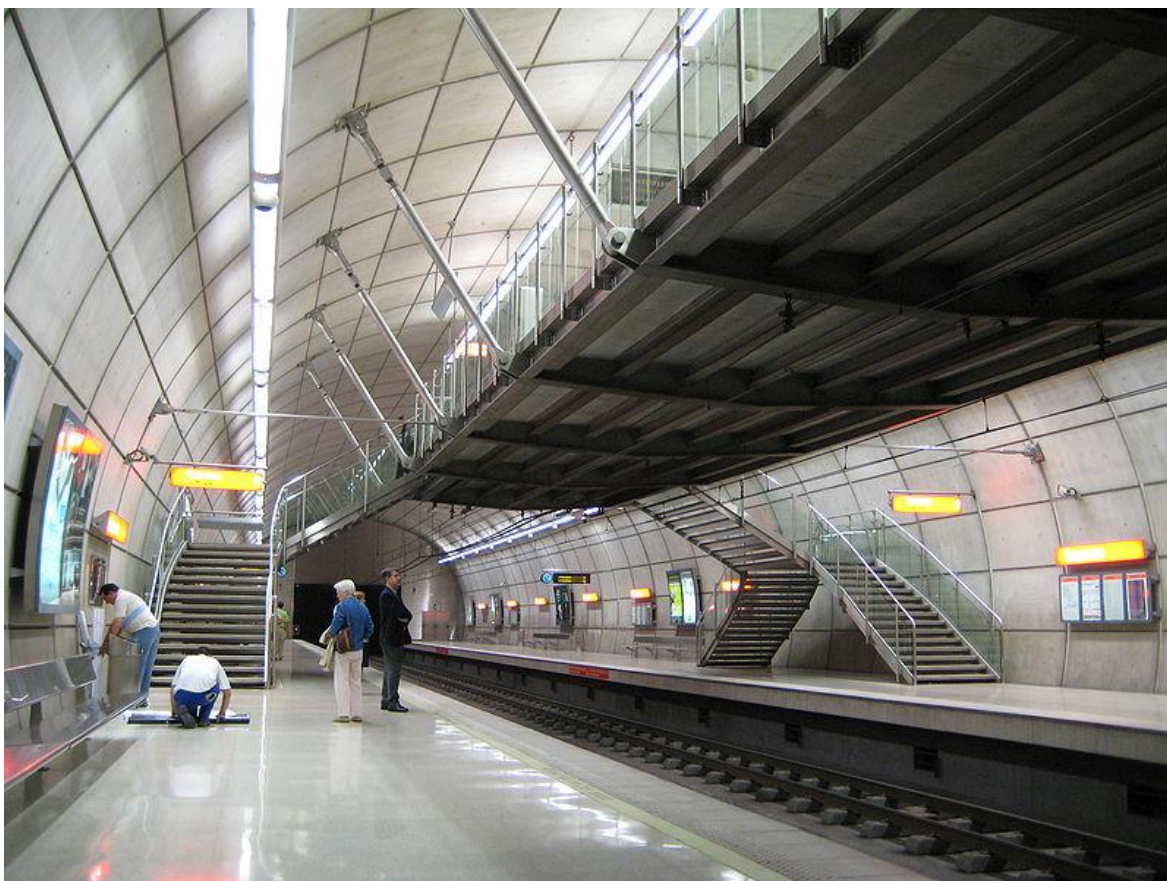
### 1.6.6 Αποβάθρες

Το ύψος των αποβάθρων από την άνω στάθμη της κεφαλής της σιδηροτροχιάς, κυμαίνεται ανάλογα με τη στάθμη δαπέδου των οχημάτων από 0,97 έως 1,05m. Οι πρωτεύουσες αναρτήσεις συμπίεζονται ανάλογα με την πληρότητα του οχήματος συνεπώς το δάπεδο του αμαξώματος μολονότι διαθέτει πνευματικές αναρτήσεις χαμηλώνει. Επιπλέον, θα πρέπει να συνυπολογιστούν οι φθορές των επισώτρων και της κεφαλής της σιδηροτροχιάς. Το μήκος της αποβάθρας εξαρτάται από το μήκος του συρμού, με επιπλέον ένα μήκος ολίσθησης κατά την πέδηση 5 – 10m. Για παράδειγμα ο συρμός έξι οχημάτων του μετρό της Αθήνας με μήκος περίπου 107m απαιτεί μήκος αποβάθρας περί τα 112m.

Για τον υπολογισμό του πλάτους των αποβάθρων λαμβάνονται υπόψη τα παρακάτω:

- ο ρυθμός πλήρωσης της αποβάθρας
- οι χρόνοι επιβίβασης και αποβίβασης των επιβατών
- η κατανομή και η πυκνότητα των επιβατών επί της αποβάθρας (μέγιστη κατάληψη αποβάθρας με 1,5 άτομα/m<sup>2</sup>)
- η ταχύτητα βάδην των επιβατών επί της αποβάθρας
- η λωρίδα ασφαλείας από την πλευρά των γραμμών πλάτους 50cm και 30cm από την πλευρά του τοίχου για πλευρικές αποβάθρες
- η θέση πρόσβασης στην αποβάθρα (ως εκ τούτου πλάτος κλιμάκων)
- για μεσαία αποβάθρα δύο συρμοί σταθμεύουν ταυτόχρονα ένας σε κάθε πλευρά
- η χρονοαπόσταση μεταξύ των συρμών (άδειασμα αποβάθρας)

Γενικά, το ελάχιστο πλάτος για πλευρικές αποβάθρες οφείλει να μην υπολείπεται, για ενδιάμεσους σταθμούς, των 3,5 – 4m και για μεσαίες αποβάθρες των 9 – 10m και για τερματικούς σταθμούς των 6 – 7m.



Εικόνα 1-4, Αποβάθρες από τη νέα γραμμή Μετρό του Bilbao, αρχιτέκτονας Norman Foster,  
 Πηγή: <http://en.wikipedia.org>

### 1.6.7 Συρμοί - Χαρακτηριστικά οχημάτων

Οι συρμοί του μέσου μπορούν να διαθέτουν 1 -10 οχήματα, ανάλογα με το μήκος των αποβάθρων των σταθμών, την υποδομή του μέσου, τη χάραξη και τη διαθεσιμότητα οχημάτων. Στο μετρό της Αθήνας, οι συρμοί έχουν έξι οχήματα (Εικόνα 1-5), ενώ η γραμμή των ΗΣΑΠ έχει πέντε ή έξι οχήματα, ανάλογα με τον τύπο του συρμού. Κάθε όχημα έχει μήκος 16 έως 23m, πλάτος από 2,5 έως 3,2m, και χωρητικότητα από 120 έως 250 άτομα ανά όχημα. Στο μετρό της Αθήνας η χωρητικότητα είναι περίπου 160 άτομα ανά όχημα με 5 άτομα ανά m<sup>2</sup> επιφανείας οχήματος. Η λειτουργική ταχύτητα κυμαίνεται από 25km/h μέχρι 40km/h με μέγιστη ταχύτητα περίπου 80km/h. Η μέγιστη μεταφορική ικανότητα του μέσου κυμαίνεται από 25.000 – 30.000 άτομα ανά ώρα και κατεύθυνση. Αν και έχει καταγραφεί μεταφορικό έργο μέχρι και 62.000 άτομα ανά ώρα και κατεύθυνση στο μετρό της Νέας Υόρκης και 80.000 στο μετρό του Ρίο.

Ο σχεδιασμός των οχημάτων μετρό είναι στενά συνυφασμένος με τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του δικτύου και υπάρχει περίπτωση τα οχήματα ενός συστήματος μετρό

να χρησιμοποιούνται και σε άλλα δίκτυα. Για το λόγο αυτό είθισται να χρησιμοποιούν γραμμή πλάτους 1435mm, οι υπόλοιπες διαστάσεις του οχήματος όπως τα μήκη των συρμών και ο εξοπλισμός των οχημάτων εξαρτώνται από τα έργα της γραμμής, τους σταθμούς, τις εγκαταστάσεις ηλεκτροδότησης και σηματοδότησης και την γεωμετρία της γραμμής. Όσον αφορά στη σύνθεση του συρμού, γίνεται προσπάθεια ώστε η λειτουργία του να είναι αδιάφορη από τη φορά της κίνησης του και παράλληλα ο συρμός να αποτελείται από 2, 3 ή 4 οχήματα.

Τα οχήματα χαρακτηρίζονται από τα κατασκευαστικά και λειτουργικά τους χαρακτηριστικά. Τα βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη με τα οποία περιγράφονται συνήθως τα οχήματα που συνθέτουν ένα στοιχειώδη συρμό, είναι:

- Το μήκος, που μετριέται μεταξύ των ακρότατων κατασκευαστικών τμημάτων
- Το ολικό πλάτος
- Το ολικό ύψος, που μετριέται από την επιφάνεια κύλισης των σιδηροτροχιών μέχρι την ανώτερη κατασκευαστική προεξοχή
- Το ύψος δαπέδου, που μετριέται από την επιφάνεια κύλισης, δηλαδή την κεφαλή της σιδηροτροχιάς
- Η διάταξη των αξόνων
- Η διάμετρος του τροχού, που μετριέται στην επιφάνεια κύλισης του επισώτρου
- Το βάρος
- Η τάση και το είδος του ρεύματος κίνησης
- Ο τρόπος ρευματοληψίας
- Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά, δηλαδή η μέγιστη ταχύτητα, η μέγιστη επιτάχυνση, ο ρυθμός μεταβολής της επιτάχυνσης και η χωρητικότητα σε επιβάτες
- Όσον αφορά στο εσωτερικό των οχημάτων αυτό εξασφαλίζει τρεις βασικές συνιστώσες εξυπηρέτησης των επιβατών, την άνεση, την ασφάλεια και την ενημέρωσή τους.

Η άνεση των επιβατών είναι ένα πολυπαραγοντικό θέμα που εξαρτάται από την επάρκεια του χώρου (για τους όρθιους επιβάτες), την επάρκεια των καθισμάτων ( για ένα ποσοστό επιβατών), την άνετη κίνηση των επιβατών, τη γρήγορη και εύκολη επιβίβαση και αποβίβαση τους, τον επαρκή αερισμό και φωτισμό, την ψύξη ή τη θέρμανση ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες. Ο τρόπος χωροθέτησης των καθισμάτων, το πλήθος και η

χωροθέτηση των θυρών, καθώς και τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα που διαθέτει ο συρμός είναι οι βασικοί παράγοντες που εξασφαλίζουν την άνετη μετακίνηση των επιβατών.

Η ασφάλεια στο εσωτερικό των οχημάτων εξασφαλίζεται κυρίως για τους όρθιους επιβάτες με την επάρκεια στηριγμάτων και τη σωστή τοποθέτηση τους, ώστε να είναι προσιτά σε όλους και να μην αποτελούν εμπόδια στη διακίνηση των επιβατών. Ακόμα, τα οχήματα θα πρέπει να διαθέτουν συστήματα ανίχνευσης πυρκαγιάς και σε αυτήν ή παρόμοιες περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης να παρέχουν ασφαλή έξοδο των επιβατών.

Τέλος, η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει συμβάλει ουσιαστικά στον τομέα της δυναμικής ενημέρωσης, με την χρήση οθονών και ηχητικών μηνυμάτων που ενημερώνουν διαρκώς το επιβατικό κοινό.



Εικόνα 1-5, Οι νέοι συρμοί του Μετρό της Αθήνας, Πηγή: <http://en.wikipedia.org>

Πίνακας 1-2, Χαρακτηριστικά της τελευταίας γενιάς συρμών (Δεύτερη γενιά συρμών)  
Πηγή: Αττικό Μετρό

ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ	
Αριθμός Συρμών	21 (7 Συρμοί DC/AC και 14 Συρμοί DC)
Σύνθεση Συρμού	6 Οχήματα
Πόρτες ανά Όχημα	4 ολισθαίνουσες θύρες εφαρμοστού τύπου ανά πλευρά
Χωρητικότητα Συρμών DC	196 Καθίσματα 866 όρθιοι (5 Επιβάτες/τ.μ.) 1062 Επιβάτες/Συρμό
Χωρητικότητα Συρμών DC-AC	158 Καθίσματα 868 όρθιοι (5 Επιβάτες/τ.μ.) 1026 Επιβάτες/Συρμό
Διευκολύνσεις Επιβατών	Κλιματισμός στους Συρμούς. Εσωτερικές πινακίδες προορισμού με δυνατότητες εναλλασσόμενων μηνυμάτων. Χώροι αποκλειστικής χρήσης από άτομα με ειδικές ανάγκες. Γέφυρες επικοινωνίας μεγάλου εύρους που επιτρέπουν να κατανέμεται ισομερώς η φόρτιση των επιβατών στα οχήματα. Κομβία ανοίγματος θυρών προς χρήση από τους επιβάτες σε ώρες μη αιχμής.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Διαμόρφωση Συρμού	Δύο μονάδες τριών (3) οχημάτων συνδεδεμένων κατοπτρικά Κινητήριο/Ιθυνήριο Όχημα - Ρυμουλκούμενο Όχημα - Κινητήριο Όχημα
Μήκος συρμού	106μ.
Πλάτος Οχήματος	2800χιλ.
Ύψος Οχήματος	3690χιλ.
Εσωτερικό Ύψος Οροφής Οχήματος	2100χιλ. έως 2200χιλ.
Βάρος Συρμού DC/AC	202 τόνοι κενός 275 τόνοι (5 Επιβάτες/τ.μ.)
Βάρος Συρμού DC	182 τόνοι κενός 255 τόνοι (5 Επιβάτες/τ.μ.)
Εύρος Τροχιάς	1435χιλ.
Τάση Λειτουργίας Συρμού DC/AC	750VDC/25kVAC
Τάση Λειτουργίας Συρμού DC	750VDC
Κινητήρες Έλξης	4 X 170kW AC ανά κινητήριο όχημα
Έλεγχοι Έλξης Συρμού DC/AC	Converter AC-DC, VVVF Inverter (IGBT technology)
Έλεγχοι Έλξης Συρμού DC	VVVF Inverter (IGBT technology)
Πέδηση	Ανάκτησης ενέργειας/Δυναμική/Πνευματική
Μέση Επιτάχυνση	1.00μ. / δευτερόλεπτο <sup>2</sup>
Μέση Επιβράδυνση	1,1μ./δευτ. <sup>2</sup> (Υπό Κανονικές Συνθήκες)



	1,20μ./δευτ.2 (Σε Συνθήκες Έκτακτης Ανάγκης)
Μέγιστη Ταχύτητα Συρμού DC/AC	120χλμ. / ώρα
Μέγιστη Ταχύτητα Συρμού DC	80χλμ. / ώρα
Κατασκευή Αμαξώματος	Ανοξειδωτος Χάλυβας
Άλλες πληροφορίες	Πλήρες σύστημα ένδειξης και διάγνωσης βλαβών. Δοκιμές προσομοίωσης εμπορικής λειτουργίας. Πρόγραμμα απόδειξης αξιοπιστίας.

ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΗΣ ΦΥΣΗΣ	
Ανάδοχος	Κοινοπραξία 'HANWHA-Rotem'
Κύριοι Προμηθευτές Τροχαίου Υλικού	ΜITSUBISHI VAPOR KNORR-BREMSE
Χώρες ή Περιοχές Κατασκευής	Ν. Κορέα, Ιαπωνία
Παράδοση	2004

### 1.6.8 Εμπορική ταχύτητα - ταχύτητες – χρόνοι

Η εμπειρία από τη λειτουργία δεκάδων μετρό μεγάλων πόλεων σε Ευρώπη και άλλες ηπείρους, δείχνει ότι η μέγιστη ταχύτητα σχεδιασμού για μέση απόσταση μεταξύ των σταθμών από 700 έως 1000m, είναι 80km/h. Σε κάποια μετρό η μέγιστη ταχύτητα αγγίζει τα 100km/h κάτι που έχει να κάνει με την απόσταση μεταξύ των σταθμών. Το Μετρό της Αθήνας σε όλες του τις γραμμές έχει ως μέγιστη ταχύτητα 80km/h. Από τον σταθμό Δ. Πλακεντίας προς Αεροδρόμιο Ελ. Βενιζέλος αναπτύσσει ταχύτητα μέχρι 120km/h.

Για την εκμετάλλευση της μέγιστης ταχύτητας ή ταχύτητας πλησίον αυτής για όσο το δυνατόν περισσότερο χρονικό διάστημα, πρέπει αφενός η χάραξη να ανταποκρίνεται στην ταχύτητα σχεδιασμού, αφετέρου η ισχύς των κινητήρων οποιασδήποτε σύνθεσης συρμών, να αποδίδει μεγάλη επιτάχυνση, περί τα  $1,1\text{m/s}^2$ , ώστε μετά την εκκίνηση από τους σταθμούς να επιτυγχάνεται γρήγορα η μέγιστη ταχύτητα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ένα κινητήριο όχημα μπορεί να έχει τέσσερις κινητήρες ισχύος 150 έως 170kW ανά κινητήρα.

Τα συστήματα πέδησης του συρμού θα πρέπει να αποδίδουν μεγάλες λειτουργικές επιβραδύνσεις, μέχρι  $1,2\text{m/s}^2$ , ώστε να ελαχιστοποιείται το μήκος πέδησης.

Συνήθως απαιτούνται περίπου 500m για την επίτευξη της μέγιστης ταχύτητας και πέδησης από την μέγιστη ταχύτητα. Κατά τον σχεδιασμό λαμβάνεται μέριμνα ώστε οι σταθμοί να βρίσκονται υψηλότερα των ενδιάμεσων γραμμών, όπου αυτό είναι δυνατόν, για να διευκολύνεται η επιτάχυνση και επιβράδυνση των συρμών.

Η εκμετάλλευση της μέγιστης ταχύτητας οδηγεί στην ελαχιστοποίηση του χρόνου διαδρομής. Υπάρχει όμως, η φιλοσοφία της οικονομικής οδήγησης ενός συρμού η οποία για την ίδια διαδρομή καθυστερεί το συρμό λίγα δευτερόλεπτα, εξοικονομώντας πολλή ενέργεια. Ο τρόπος αυτός οδήγησης γνωστός και ως ‘coasting ή auslaufen’ ή αποσύνδεση ρεύματος εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια του συρμού για δεδομένη απόσταση, μέχρι την αρχή της διαδικασίας πέδησης.

Ένα άλλο στοιχείο που υπεισέρχεται στον χρόνο διαδρομής είναι ο χρόνος εξυπηρέτησης του επιβατικού κοινού (εισερχόμενοι – εξερχόμενοι) στις στάσεις και στους σταθμούς. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από το χώρο που προσφέρουν οι αποβάθρες των σταθμών και από τον αριθμό των θυρών στα οχήματα. Γενικά ο χρόνος αυτός λαμβάνεται από 15 έως 25 δευτερόλεπτα.

Το άθροισμα του χρόνου διαδρομής μεταξύ των σταθμών και του χρόνου παραμονής του συρμού στους σταθμούς είναι ο χρόνος διαδρομής του επιβάτη. Ο χρόνος μετακίνησης του συμπεριλαμβάνει και ένα μέσο χρόνο αναμονής του στην αποβάθρα ή στο συρμό σε τερματικούς σταθμούς. Διαιρώντας τη συνολική απόσταση μίας γραμμής μετρό με το συνολικό χρόνο διέλευσης της από τούς συρμούς προκύπτει η ονομαζόμενη “εμπορική ταχύτητα” της γραμμής, η οποία εκφράζει τη μέση ταχύτητα διαδρομής του χρήστη. Συνήθως η εμπορική ταχύτητα διαδρομής κυμαίνεται μεταξύ 27km/h και 32km/h. (πηγή: Καρλαύτης, Λυμπέρης, 2009)

## 1.7 Οικονομικά στοιχεία

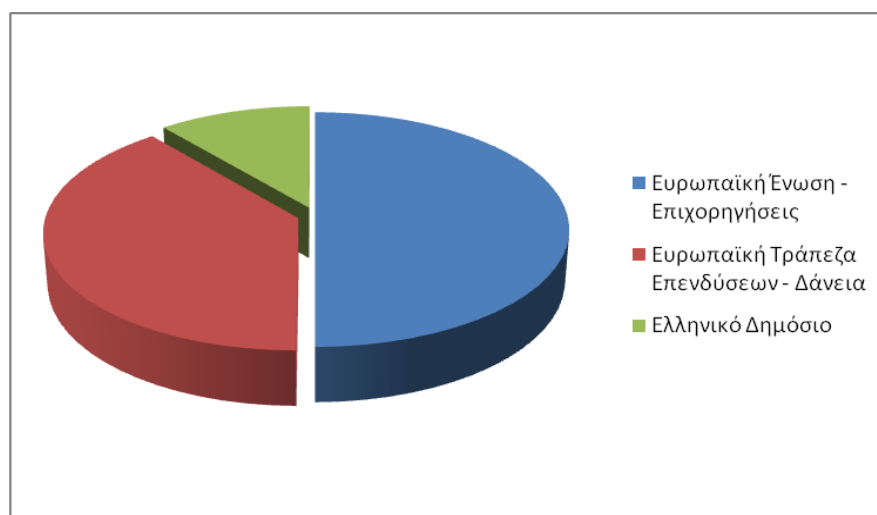
### 1.7.1 Βασικό έργο μετρό

2.100 εκατ. EURO

50% - Ευρωπαϊκή Ένωση - Επιχορηγήσεις

39% - Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων - Δάνεια

11% - Ελληνικό Δημόσιο



Σχήμα 1-5, Ποσοστά χρηματοδότησης βασικού έργου Μετρό, Πηγή:<http://www.ametro.gr/>

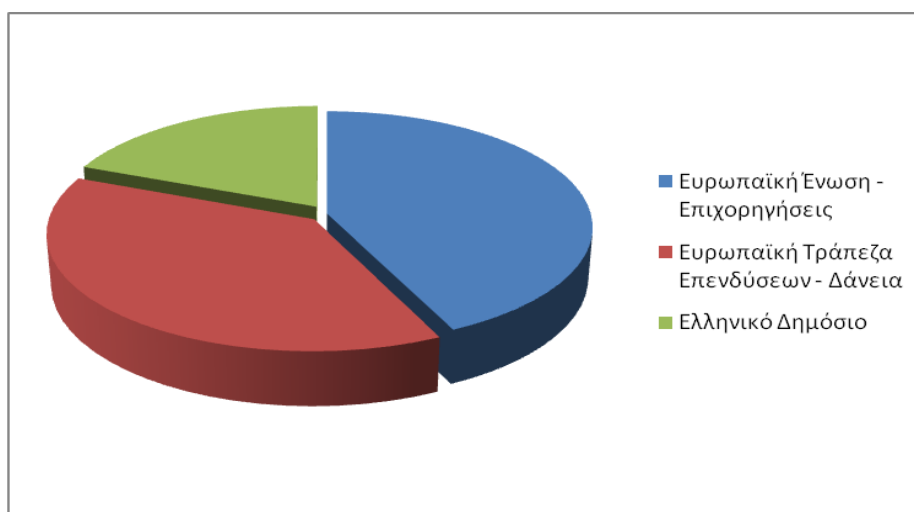
### 1.7.2 Επεκτάσεις γραμμών 2 & 3

2.200 εκατ. EURO

43% - Ευρωπαϊκή Ένωση - Επιχορηγήσεις

38% - Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων - Δάνεια

19% - Ελληνικό Δημόσιο



Σχήμα 1-6, Ποσοστά χρηματοδότησης επεκτάσεων γραμμών 2 & 3, Πηγή:<http://www.ametro.gr/>

## **1.8 Μεθοδολογία σχεδιασμού – Συγκοινωνιακή μελέτη**

### **1.8.1 Στόχοι σχεδιασμού**

Μία συγκοινωνιακή μελέτη λειτουργεί με κάποιους βασικούς κατευθυντήριους στόχους. Οι στόχοι αυτοί φιλτράρονται από τα υφιστάμενα προβλήματα, ώστε τελικά οι υπεύθυνοι φορείς να καταλήξουν σε κάποια συμπεράσματα.

Τα συμπεράσματα μίας συγκοινωνιακής μελέτης προκύπτουν από:

- την ανάλυση της υπάρχουσας κατάστασης
- τα δεδομένα της τρέχουσας και επιθυμητής συγκοινωνιακής πολιτικής
- τη σύνθεση των αναγκών και προτεραιοτήτων στα πλαίσια ικανοποίησης των μεταφορικών αναγκών του πληθυσμού
- τη συνεκτίμηση των βασικών στόχων και τις κατευθύνσεις της Πράσινης Βίβλου (Green Paper) της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη δημιουργία του Δικτύου των Πολιτών (Citizens' Network)

Η αύξηση των δημόσιων συγκοινωνιών μπορεί να συμβάλλει καθοριστικά στη συνολική βελτίωση της αποτελεσματικότητας των αστικών μεταφορών, στην αναβάθμιση του αστικού περιβάλλοντος και στη μείωση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που αποδίδονται στη χρήση των ιδιωτικών μέσων.

Επομένως, η αναβάθμιση του ρόλου και της αποτελεσματικότητας των δημόσιων συγκοινωνιών αποτελεί πρωταρχικό στόχο για την ελληνική πραγματικότητα. Παράλληλα, το ζητούμενο κάθε συγκοινωνιακής μελέτης είναι η αναβάθμιση του επιπέδου εξυπηρέτησης τόσο των χρηστών των δημόσιων μεταφορικών συστημάτων, όσο και των χρηστών του οδικού δικτύου. Παρ' όλο που η αναβάθμιση του επιπέδου εξυπηρέτησης των χρηστών του οδικού δικτύου φαίνεται εκ πρώτης όψεως ότι έρχεται σε αντίθεση με την αναβάθμιση των δημόσιων μεταφορικών συστημάτων, στην πραγματικότητα λαμβάνεται μέριμνα ίδιας βαρύτητας και για τα δύο είδη χρηστών. Είναι σημαντικό να παρατηρηθεί ότι η αναβάθμιση του ρόλου και της αποτελεσματικότητας των δημόσιων συγκοινωνιών δεν είναι δυνατόν να στηρίζεται στην χειροτέρευση των συνθηκών και του επιπέδου εξυπηρέτησης των ιδιωτικών μέσων. Επομένως, είναι σημαντικό να στηριχθεί η αναβάθμιση του ρόλου των δημόσιων συγκοινωνιών στην ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας αυτών και κυρίως στην σημαντική αύξηση του επιπέδου εξυπηρέτησης που παρέχουν τα δημόσια μέσα.

Γενικά, τα μεταφορικά συστήματα δεν λειτουργούν μόνο ανταγωνιστικά, αλλά και συμπληρωματικά, εξυπηρετώντας κατά περίπτωση διαφορετικές επιθυμίες ή ανάγκες μετακίνησης. Έτσι, τα δημόσια μεταφορικά συστήματα προσφέρονται περισσότερο για την εξυπηρέτηση των μετακινήσεων προς χώρους εργασίας που συγκεντρώνονται σε ορισμένες περιοχές, ενώ αντίθετα τα ιδιωτικά μέσα προσφέρονται περισσότερο για τις περιφερειακές μετακινήσεις που παρουσιάζουν μεγάλη γεωγραφική διασπορά. Είναι επομένως απαραίτητο να γίνει αποτελεσματική αξιοποίηση των επιμέρους πλεονεκτημάτων κάθε μεταφορικού συστήματος, ώστε να μεγιστοποιηθούν τα οφέλη των μετακινούμενων. Η συμπληρωματικότητα των μεταφορικών συστημάτων δεν αφορά μόνο στην εξυπηρέτηση διαφορετικών αναγκών μετακίνησης, αλλά και στην εξυπηρέτηση των μετακινήσεων για τις οποίες ο πλέον αποτελεσματικός τρόπος είναι ο συνδυασμός μεταφορικών μέσων.

### **1.8.2 Μεθοδολογία σχεδιασμού (Συγκοινωνιακά)**

Βασική προϋπόθεση για την επίτευξη των στόχων μίας συγκοινωνιακής μελέτης είναι:

- η ανάπτυξη μιας αξιόπιστης μεθοδολογίας πρόβλεψης της μελλοντικής ζήτησης
- η δημιουργία ενός αξιόπιστου μηχανισμού αξιολόγησης των δικτύων μεταφορικής υποδομής και των μεταφορικών συστημάτων της περιοχής μελέτης που επιτρέπουν την επιλογή του βέλτιστου σχεδίου μεταφορών

Η ανάπτυξη ενός Συγκοινωνιακού Προτύπου (μοντέλου) στρατηγικού σχεδιασμού παρέχει τη δυνατότητα διερεύνησης και αξιολόγησης εναλλακτικών λύσεων συγκοινωνιακής υποδομής. Ο ρόλος του συγκοινωνιακού μοντέλου είναι η προσομοίωση της συγκοινωνιακής λειτουργίας μιας περιοχής σε ένα δεδομένο χρονικό ορίζοντα, ώστε να δημιουργηθεί η σύνθεση μεταξύ προσφοράς (δίκτυα μεταφοράς) και ζήτησης (μετακινήσεις), με τελικό αποτέλεσμα την εικόνα φόρτισης των δικτύων.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή του μοντέλου είναι η προσαρμογή του στην υφιστάμενη κατάσταση, δηλαδή η ικανοποιητική προσομοίωση της συγκοινωνιακής λειτουργίας μιας περιοχής σε ένα δεδομένο χρονικό ορίζοντα. Η επιτυχία της προσομοίωσης ελέγχεται με βάση το βαθμό ικανοποιητικής προσέγγισης της φόρτισης των δικτύων που παρέχει το μοντέλο συγκριτικά με την αντίστοιχη φόρτιση που προκύπτει από τις έρευνες της υπάρχουσας κατάστασης κατά τη διαδικασία προσαρμογής.

Τα τέσσερα στάδια υλοποίησης ενός μοντέλου τυπικού σχεδιασμού είναι:

**Γένεση μετακινήσεων:** αφορά στον υπολογισμό των μετακινήσεων που παράγει ή έλκει κάθε ζώνη της περιοχής που μελετάται. Κατά την προσαρμογή του μοντέλου συσχετίζονται οι παραγωγές και οι έλξεις κάθε ζώνης με τα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά της.

**Καταμερισμός των μετακινήσεων στα μέσα:** υπολογίζεται ο αριθμός παραγόμενων μετακινήσεων κάθε ζώνης που πραγματοποιούνται με κάθε ένα από τα κύρια μέσα μεταφοράς (ΙΧ αυτοκίνητο, ταξί, δημόσιες συγκοινωνίες, πεζοί), σαν συνάρτηση του γενικευμένου κόστους μετακίνησης με κάθε μέσο αντίστοιχα και των κοινωνικοοικονομικών χαρακτηριστικών των χρηστών.

**Κατανομή των μετακινήσεων:** υπολογίζονται οι ανταλλαγές μετακινήσεων με κάθε μέσο μεταξύ των ζωνών, σαν συνάρτηση αφενός μεν των παραγωγών και έλξεων κάθε ζώνης, αφετέρου δε του γενικευμένου κόστους μετακίνησης μεταξύ των ζωνών.

**Καταμερισμός των μετακινήσεων στα δίκτυα:** αφορά την φόρτιση των ιδιωτικών μέσων και των δημόσιων συγκοινωνιών, σαν αποτέλεσμα της επιλογής διαδρομής από το χρήστη. Στο δίκτυο δημόσιων συγκοινωνιών πραγματοποιείται ταυτόχρονα και καταμερισμός στα εναλλακτικά μέσα όπως λεωφορείο, μετρό, τραμ, προαστιακός σιδηρόδρομος.

Ο υπολογισμός των μελλοντικών μετακινήσεων που παράγονται σε κάθε κυκλοφοριακή ζώνη βασίζεται σε μεταβλητές που σχετίζονται με τα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά των νοικοκυριών. Τα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά που μελετώνται είναι:

- το πλήθος των νοικοκυριών
- το μέγεθος των νοικοκυριών
- δείκτες ιδιοκτησίας οχημάτων
- το εισόδημα
- ο αριθμός των απασχολούμενων στο νοικοκυριό, κ.α.

Αντίστοιχα, ο υπολογισμός των μελλοντικών μετακινήσεων που έλκονται σε κάθε ζώνη βασίζεται σε μεταβλητές, όπως είναι οι χρήσεις γης και η απασχόληση (θέσεις εργασίας). Οι παραπάνω μεταβλητές αποτελούν βασικούς συντελεστές σχεδιασμού στα πλαίσια της μιας συγκοινωνιακής μελέτης.

Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στον προσδιορισμό της μελλοντικής ανάπτυξης και κατανομής στο χώρο είναι:

- Ο υφιστάμενος πληθυσμός, η σύνθεση του κατά ηλικία και η δυναμική του.
- Ο οικονομικά ενεργός πληθυσμός, σε απόλυτα μεγέθη και ως ποσοστό του συνολικού πληθυσμού.
- Η ανεργία, συνολικά και μεταξύ νέων.
- Η απασχόληση και η διάρθρωση της κατά κλάδο, ομάδες επαγγελματιών και θέση στο επάγγελμα.
- Το επίπεδο εισοδήματος.
- Η κινητικότητα του πληθυσμού ως προς τον τόπο διαμονής.
- Οι θέσεις εργασίας κατά κλάδο και κατά χρήση γης
- Η “ισορροπία” μεταξύ του πληθυσμού, της απασχόλησης, και των θέσεων εργασίας.
- Η διαθέσιμη γη ανά γενικευμένη κατηγορία χρήσεων, όπως προσδιορίζεται από τα ΓΠΣ και άλλα σχετικά στοιχεία, δηλαδή την διαθέσιμη γη για πρώτη και δεύτερη κατοικία, για κεντρικές λειτουργίες υπερτοπικού χαρακτήρα, για τη βιομηχανία και για τις δραστηριότητες του πρωτογενή τομέα.
- Η ποιότητα κατοίκησης, όπως προσδιορίζεται από την πληθυσμιακή πυκνότητα και το βαθμό κορεσμού της κύριας και δεύτερης κατοικίας.
- Η συγκέντρωση χρήσεων γης και κτιρίων σε δραστηριότητες υπερτοπικού χαρακτήρα (εμπόριο, υπηρεσίες, ξενοδοχεία, γραφεία, διοίκηση, τριτοβάθμια εκπαίδευση, υγεία-περίθαλψη-κοινωνική πρόνοια, υπερτοπική ψυχαγωγία και τουρισμός-αναψυχή, αποθήκες χονδρεμπόριο, βιομηχανία-βιοτεχνία και συγκοινωνίες)
- Η προσβασιμότητα των περιοχών, όπως είναι το κέντρο της Αθήνας και τα περιφερειακά εμπορικά κέντρα, το αεροδρόμιο Σπάτων, τις Εθνικές Οδούς, τους σταθμούς μετρό και το λιμάνι του Πειραιά. Η προσπελασιμότητα αυτή υπολογίστηκε από τα στοιχεία των χρόνων διαδρομής που μετρήθηκαν στα πλαίσια των ερευνών της μελέτης.
- Η ποιότητα του φυσικού περιβάλλοντος, ως προς την ύπαρξη κατάλληλων χώρων, ως προς τη ρύπανση και ως προς την εγγύτητα σε περιοχές ιδιαίτερου φυσικού κάλους.

- Η κατάσταση της υφιστάμενης υποδομής, κυρίως ύδρευσης, αποχέτευσης και απορροής όμβριων.

Στη συνέχεια η συγκοινωνιακή μελέτη πρέπει να παρέχει προβλέψεις για κάθε περιοχή. Οι προβλέψεις αυτές πρέπει να αφορούν:

- Το μόνιμο και εποχιακό πληθυσμό,
- Το μέσο μέγεθος νοικοκυριού,
- Το μέγεθος και τη σύνθεση της απασχόλησης κατά τομέα,
- Τις θέσεις εργασίας σε βασικούς κλάδους οικονομικών δραστηριοτήτων (εμπόριο, υπηρεσίες τοπικού και υπερτοπικού χαρακτήρα, μεταποίηση-χονδρεμπόριο),
- Τον αριθμό νοικοκυριών ανά κλιμάκιο εισοδήματος,
- Τον δείκτη ιδιοκτησίας ΙΧ επιβατικών (ΙΧΕ/1000 κατοίκους)

(πηγή:Μελέτη Ανάπτυξης Μετρό)

### **1.8.3 Αστικές συγκοινωνίες και ΙΧ**

Η παροχή καλύτερου συγκοινωνιακού έργου σχετίζεται με την ομαλή λειτουργία του συστήματος μετακινήσεων στον αστικό χώρο. Οι μετακινήσεις πραγματοποιούνται με ΙΧ, αστικές συγκοινωνίες (μετρό, λεωφορεία, κλπ), μέσα μαζικής μεταφοράς χαμηλής χωρητικότητας (ταξί) και μέσα χαμηλών ταχυτήτων (ποδήλατα). Τα ΙΧ προσφέρουν, υπό κανονικές συνθήκες, αυτονομία στη μετακίνηση, αίσθηση ανεξαρτησίας και προστατευμένο, άνετο και ασφαλές περιβάλλον μετακίνησης. Σε ότι αφορά τα δίκυκλα, η ασφάλεια είναι μειωμένη αλλά η ευελιξία του μέσου αντισταθμίζει, τουλάχιστον εν μέρει, το μειονέκτημα αυτό, όπως το αντιλαμβάνεται τουλάχιστον ο μετακινούμενος. Επιπλέον, η κατοχή και η χρήση ΙΧ αποτελεί σε πολλές περιπτώσεις δείγμα κοινωνικής θέσης και ευμάρειας. Άλλωστε το ΙΧ αποτελούσε και συνεχίζει να αποτελεί σύμβολο κοινωνικής καταξίωσης και ελευθερίας (Βλαστός, 1997).

Παρόλα αυτά, το ΙΧ παρουσιάζει σημαντικά μειονεκτήματα, όπως:

- Η μικρή χωρητικότητα του, σε σχέση με τις διαστάσεις του, στον περιορισμένο αστικό χώρο.
- Η επιβάρυνση του φυσικού περιβάλλοντος, λόγω της ρύπανσης και του θορύβου.
- Η ανάγκη για εύρεση χώρων στάθμευσης.



Ο αριθμός των ΙΧ παρουσιάζει διαρκή αύξηση, τόσο ως αποτέλεσμα της αύξησης του πληθυσμού, όσο και της βελτίωσης των κοινωνικοοικονομικών συνθηκών. Στην Αθήνα, ο αριθμός των ΙΧ αυξήθηκε κατά 2.000.000 τα τελευταία 30 χρόνια. Σύμφωνα με μελέτη της Αττικό Μετρό (1996) τα αυτοκίνητα στην Αθήνα πρόκειται να αυξηθούν κατά 83% μέχρι το 2020, σε σχέση με τα αυτοκίνητα της περιόδου μελέτης. Επίσης, σύμφωνα με τη “Μελέτη Προσέλευσης – Προορισμού Μετακινήσεων” του ΟΑΣΑ (2007), περίπου τα μισά νοικοκυριά στην Αττική διαθέτουν ένα ΙΧ, ενώ το 25% έχει περισσότερα από ένα αυτοκίνητα. Ο υψηλός αριθμός ΙΧ, συνδυαζόμενος με τη χαμηλή πληρότητα των οχημάτων (1 – 1,3 άτομα ανά ΙΧ), οδηγούν σε χαμηλό παραγόμενο μεταφορικό έργο ιδιαίτερα σε σχέση με τον αριθμό των κυκλοφορούντων ΙΧ. Οι συνέπειες από την υψηλή χρήση ΙΧ είναι πολλαπλές και περιλαμβάνουν περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις.

Σήμερα κατά μέσο όρο, σε κάθε κάτοικο μίας μεγαλούπολης της Ευρώπης αντιστοιχούν 2 με 3 μετακινήσεις ημερησίως (EMTA, 2004). Σύμφωνα με τη “Μελέτη Προσέλευσης – Προορισμού Μετακινήσεων” του ΟΑΣΑ (2007) σε μία τυπική μέρα το 40,6% πραγματοποιεί δύο μετακινήσεις και το 25% πάνω από δύο. Οι αστικές συγκοινωνίες αποτελούν την πλέον αποτελεσματική απάντηση στα προβλήματα που δημιουργούνται από το αυτοκίνητο στις σύγχρονες πόλεις. Τα πλεονεκτήματά τους συμπεριλαμβάνουν το υψηλό μεταφορικό έργο σε σχέση με την καταλαμβανόμενη επιφάνεια, τη φθηνότερη μετακίνηση, τις χαμηλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την κοινωνική παράμετρο.

## **1.9 Κυκλικές Χαράξεις**

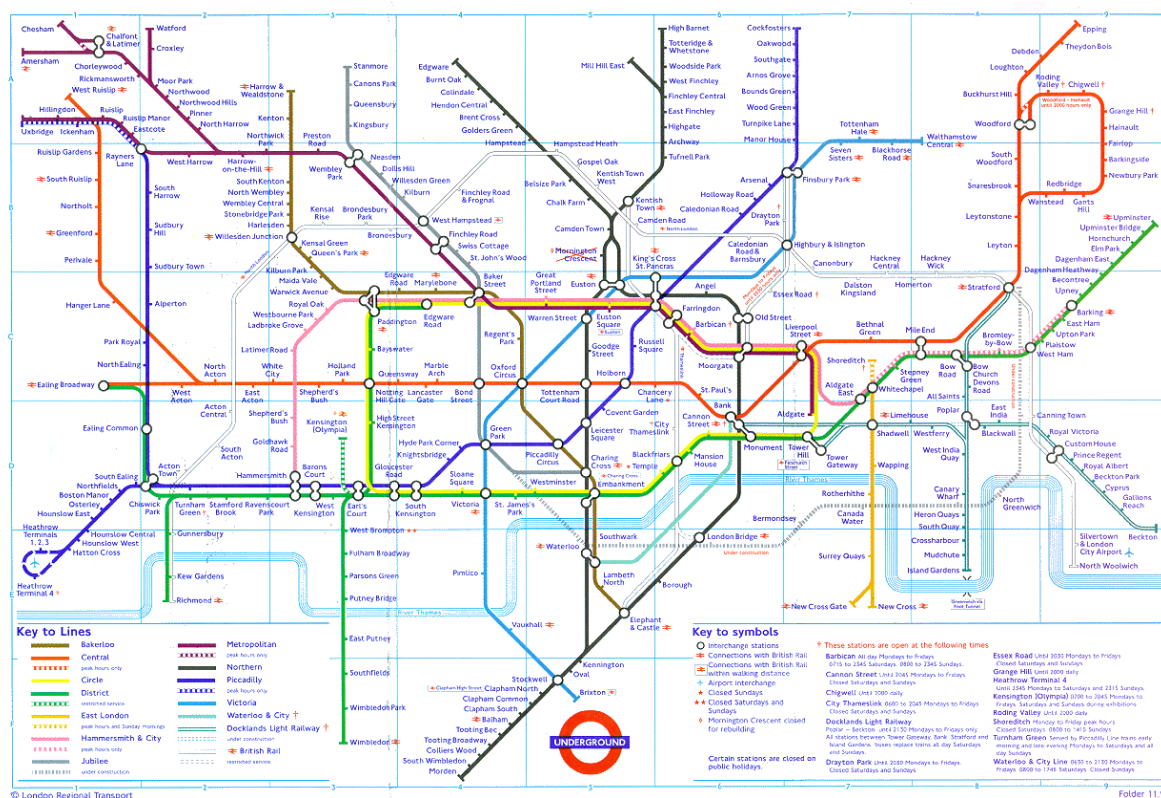
### **1.9.1 Κυκλική γραμμή – Η ιδέα**

Όλες οι μεγάλες πόλεις του κόσμου διαθέτουν έναν πολύ μεγάλο αριθμό σε εγκαταστάσεις Μετρό και υπόγειες διαβάσεις. Το σύνολο των γραμμών του Μετρό κατασκευάζεται με όσο το δυνατόν πιο ευθείες χαράξεις. Υπάρχει όμως και ένας τύπος χάραξης ο οποίος έχει σχεδιαστεί ειδικά για τις μητροπολιτικές περιοχές, αυτός είναι η Κυκλική Χάραξη. Στην Αττική δεν έχει κατασκευαστεί ακόμα κάποια τέτοιου είδους γραμμή Μετρό.

Σήμερα, λειτουργούν 33 κυκλικές γραμμές σε 26 πόλεις ανά τον κόσμο. Το Λονδίνο (Εικόνα 1-6), το Σίδνεϊ και το Τόκιο διαθέτουν από δύο τέτοιου είδους γραμμές, ενώ η Μαδρίτη και η Σιγκαπούρη τρεις. Ο μέσος όρος περιμέτρου των ήδη υπάρχουσών κυκλικών γραμμών είναι 20km, με διακυμάνσεις από 3km (Μαϊάμι, Σικάγο) έως 49km (Σεούλ). Αρκετές γραμμές βρίσκονται ακόμα υπό κατασκευή.

Οι περισσότερες κυκλικές τροχιές βρίσκονται στο κέντρο των πόλεων, υπάρχουν όμως και κάποιες που λειτουργούν από τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα με σκοπό να συνδέσουν την περιφέρεια με το κέντρο της πόλης.

Οι κυκλικές γραμμές που διατρέχουν το κέντρο της πόλης μπορούν να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα του δικτύου μεταφορών, καθώς παρέχουν σημαντικές συνδέσεις μεταξύ των κεντρικών περιοχών της πόλης, ενώ συγχρόνως απελευθερώνουν την επιβάρυνση από τις γραμμές που διέρχονται από το κέντρο της πόλης.



Εικόνα 1-6, Χάρτης Μετρό του Λονδίνου, Πηγή: <http://www.google.gr>

## 1.9.2 Είδη κυκλικών χαράξεων

Τα είδη των κυκλικών χαράξεων μπορούν να διακριθούν σε:



### **Isolated circle (Μεμονωμένος κύκλος)**

Μια ενιαία κυκλική γραμμή με μορφή δαχτυλιδιού.

Παραδείγματα: Γλασκόβη, Μόσχα.



### **Shared circle (Κοινόχρηστος κύκλος)**

Αρκετές γραμμές, μία από τις οποίες σχηματίζει δακτύλιο, ενώ οι άλλες χρησιμοποιούν μόνο τμήματα του δακτυλίου.

Παράδειγμα: κυκλική του Λονδίνου, που συνδυάζεται με τις Metropolitan, District και Hammersmith & City Lines.



### **Pan-shaped loop (Βρόγχος σε σχήμα τηγανιού)**

Μία γραμμή που ξεφεύγει από την διαδρομή της, ακολουθεί μία κυκλική διαδρομή έξω από αυτήν και επιστρέφει στην αρχική της θέση να συνεχίσει την πορεία της.

Παράδειγμα: Σικάγο, Τόκιο.



### **Operationally split circle (Διαχωρισμένος κύκλος)**

Αρκετές γραμμές από τις οποίες καμία δεν πραγματοποιεί ολόκληρο το δακτύλιο, αλλά ο δακτύλιος είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί με την ένωση τους.

Παράδειγμα: Βιέννη



### **Terminal loop (Τερματικός βρόγχος)**

Ένας μικρός βρόγχος μονής κατεύθυνσης στο τέλος μίας γραμμής, με ή χωρίς σταθμούς.

Παράδειγμα: Παρίσι, Νέα Υόρκη (Εικόνα 1-8)



### **Inclinal spiral**

Η παράκαμψη που πραγματοποιεί μία γραμμή για να ακολουθήσει μια

απότομη γεωγραφική κλίση.

Παράδειγμα: Νάπολη, Τόκιο



### **False circle (Ψευδής κύκλος)**

Ένα κυκλικό μοτίβο το οποίο δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί από μία γραμμή μετρό.

Παράδειγμα: Γραμμές 2 και 6 στο Παρίσι.

### **1.9.3 Χρησιμότητα κυκλικών γραμμών**

Μια κυκλική γραμμή που διασχίζεται από πολλές ευθείες (ακτινικές) γραμμές θεωρείται ότι είναι η καλύτερη δυνατή λύση για δίκτυα μετρό διότι παρέχει τις καλύτερες δυνατές συνδέσεις κυκλοφορίας σε μια πόλη. Ωστόσο, ένας κεντρικός μεγάλος σταθμός μετεπιβίβασης στο κέντρο του κύκλου με όλες τις ακτινικές γραμμές να τον διασχίζουν, αποδεικνύεται αναποτελεσματική λύση. Οι ακτινικές γραμμές, αντίθετα θα πρέπει να καταλήγουν σε πολλούς σταθμούς μεταφοράς μέσα στον κύκλο. Όπως φαίνεται στην εικόνα 1-7 το μετρό της Μόσχας αποτελεί ένα εξαιρετικό παράδειγμα αυτής της ιδέας.



Εικόνα 1-7, Χάρτης Μετρό της Μόσχας, Πηγή: <http://en.wikipedia.org>

Στο Λονδίνο οι κατασκευαστές εντόπισαν εξαιρετικά ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη υπόγειων σιδηροδρόμων. Αυτές οι συνθήκες τους βοήθησαν ώστε να κατασκευάσουν ένα υπόγειο δίκτυο και να επιλέξουν τη δημιουργία μίας κυκλικής γραμμής η οποία διατρέχεται από επιμέρους ακτινικές γραμμές.

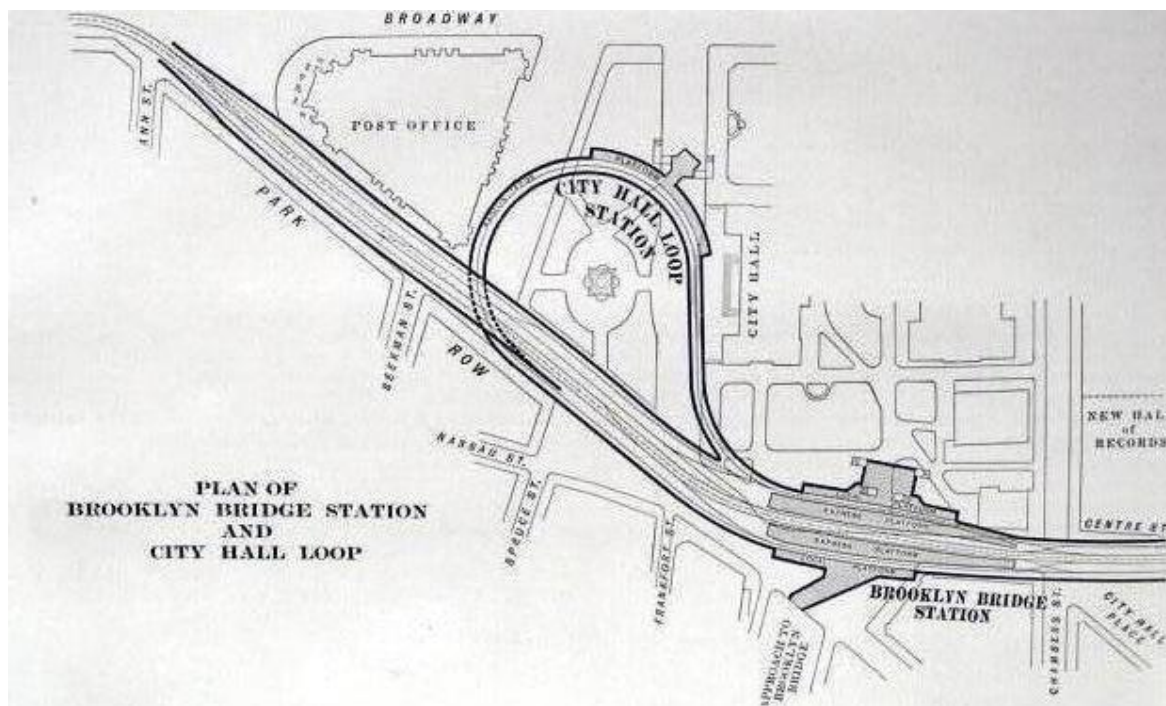
Επιπλέον, ο σχετικά μεγάλος αριθμός δακτυλίων μετρό, που είτε έχουν προταθεί μέχρι σήμερα, είτε βρίσκονται υπό κατασκευή, αποδεικνύει ότι οι κυκλικές γραμμές αποτελούν μία ορθή επιλογή για την ενίσχυση της χρηστικότητας του υφιστάμενου δικτύου μετρό. Όμως, όταν ένα δαχτυλίδι μοιράζεται ανάμεσα σε διαφορετικές γραμμές του μετρό, αυτό

μπορεί να αποδειχθεί δυσλειτουργικό από την άποψη της λειτουργίας και της κίνησης, καθώς μπορεί να ξεκινούν καθυστερήσεις από τα κλαδιά και να επηρεάζουν όλο το μήκος των γραμμών. Ωστόσο, μεμονωμένες κυκλικές γραμμές μπορεί να αποδειχθούν πολύ αξιόπιστες. Πολλοί είναι αυτοί που χρησιμοποιούν το μετρό της Μόσχας ως παράδειγμα για τις δικές τους σχεδιάσεις μετρό.

Ένας αστικός μύθος στη Μόσχα λέει ότι όταν ο Στάλιν ρωτήθηκε από τους πολεοδόμους, τι πίστευε για το σχεδιασμό του δικτύου του μετρό τους, ο Στάλιν ακούμπησε το φλιτζάνι του καφέ του στο κέντρο του σχεδίου και έφυγε από το δωμάτιο σιωπηλά. Όταν σήκωσαν το φλιτζάνι από τον χάρτη παρατήρησαν ότι είχε παραμείνει μια κυκλική καφέ γραμμή. Οι σχεδιαστές το ερμήνευσαν ως σημάδι της ιδιοφυΐας του Στάλιν και άρχισαν να κατασκευάζουν μια κυκλική γραμμή μετρό (Koltsevaya Line). Είτε αυτό το γεγονός είναι αλήθεια είτε όχι, οι περισσότεροι επίσημοι χάρτες του μετρό της Μόσχας χρησιμοποιούν στην κωδικοποίηση τους το καφέ χρώμα για την κυκλική γραμμή.

Όμως, η κυκλική πορεία των γραμμών μπορεί εύκολα να μπερδέψει τους επιβάτες, αυτό συμβαίνει διότι δεν υπάρχουν τερματικοί σταθμοί οι οποίοι να διευκολύνουν τη σήμανση της πορείας κάθε αμαξοστοιχίας. Κάθε σταθμός χρησιμοποιείται και για τις δύο κατευθύνσεις της πορείας. Αυτό έχει ως συνέπεια οι μισοί εκ των προσωρινών επιβατών να ακολουθούν τη λάθος πορεία και να καθυστερούν στον προορισμό τους. Μία μέθοδος ώστε να αποφευχθεί η σύγχυση είναι να δοθούν διαφορετικοί αριθμοί γραμμής (όπως το S41 και S42 στο Βερολίνο) ή ονόματα (όπως εξωτερικός κύκλος και εσωτερικός κύκλος στη Γλασκόβη) στους συρμούς που πάνε προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά. Πιθανότατα τα καλύτερα ονόματα που θα μπορούσαν να δοθούν στους συρμούς είναι "Α" και "Β". Για παράδειγμα, μία γραμμή με το όνομα 5, θα μπορούσε να έχει το όνομα 5A για την αντιωρολογιακή πορεία της και το όνομα 5B για την ωρολογιακή. Αυτός ο διαχωρισμός θα έκανε πολύ εύκολη την αναγνώριση του σταθμού, χωρίς να χρειάζεται ο επιβάτης να συμβουλευθεί κάποιον χάρτη.

Τέλος, παρατηρείται ότι κάποιες κυκλικές γραμμές δεν έχουν πολύ μεγάλο αριθμό επιβατικού κοινού, αυτό συμβαίνει διότι η συνεχής πορεία και πιθανότατα η σταθερή φυγόκεντρη δύναμη σε μια κατεύθυνση, κάνει τους επιβάτες να αισθάνονται άβολα. Αυτό τουλάχιστον έχει αναφερθεί από επιβάτες στο μετρό της Μαδρίτης.



Εικόνα 1-8, Τερματικός βρόγχος στη γραμμή 6 του Μετρό της Νέας Υόρκης που διέρχεται από τον σταθμό του εγκαταλελειμμένου σταθμού City Hall χωρίς επιβάτες, πηγή: <http://www.columbia.edu>

#### 1.9.4 Πλήρης λίστα κυκλικών γραμμών

Στοιχεία που παρέχονται: Όνομα πόλης - Ονομασία γραμμής - περίμετρος - αριθμός των σταθμών στο δακτυλίδι - χρόνος για μια κυκλική διαδρομή - εγκαίνια του πρώτου τμήματος - ολοκλήρωση του δακτυλίου - παρατηρήσεις.



**Isolated circles** (Μεμονωμένος κύκλος)

**Πεκίνο** - Line 2 - 28 km - 18 σταθμοί - εγκαίνια 1984 - ολοκλήρωση 1987.

**Δελχί** - Ring Railway - 21 σταθμοί.

**Ντιτρόιτ** - People mover - 4.8 km - 13 σταθμοί – διάρκεια διαδρομής 15min – ολοκλήρωση 1987 – μονής κατεύθυνσης.

**Γλασκόβη** - Circle Line - 10.4 km - 15 σταθμοί – διάρκεια διαδρομής 24min - ολοκλήρωση 1896.

**Μαδρίτη** - Line 12 ('MetroSur') - 40.5 km - 28 σταθμοί – διάρκεια διαδρομής 75min - εγκαίνια 2000 - ολοκλήρωση 2003 – στα νότια προάστια.

**Μαδρίτη** - Line 6 - 23 km - 28 σταθμοί – διάρκεια διαδρομής 67min - εγκαίνια 1979 -

ολοκλήρωση 1995.

**Μόσχα** - Kol'tsevaya Line - 19.4 km - 12 σταθμοί – διάρκεια διαδρομής 29min - εγκαίνια 1950 - ολοκλήρωση 1954.

**Σιγκαπούρη** - Sengkang LRT - 10.7 km - 14 σταθμοί - εγκαίνια 1998 - ολοκλήρωση 2003

**Σιγκαπούρη**- Punggol LRT - 10.3 km - 15 σταθμοί - εγκαίνια 2000 - ολοκλήρωση 2005.

Σίδνεϊ - Monorail - 7 σταθμοί - ολοκλήρωση 1988.

**Τόκιο** - Yamanote Line - 34.5 km - 29 σταθμοί – διάρκεια διαδρομής 64min - εγκαίνια 1872 - ολοκλήρωση 1914 – Προαστιακός



**Shared circles**(Κοινόχρηστος κύκλος )

**Βερολίνο** - S41/S42 - 37 km - 27 σταθμοί – διάρκεια διαδρομής 62min - εγκαίνια 1871 – ολοκλήρωση 1877 - Προαστιακός

**Λονδίνο** - Circle Line - 22.5 km - 27 σταθμοί - εγκαίνια 1863 - ολοκλήρωση 1884.

**Μαϊάμι** - People mover - 3 km - 8 σταθμοί - ολοκλήρωση 1986 - Υπερυψωμένη, ελαστικοφόρα, αυτοματοποιημένη.

**Ναγκόγια** - Meijo Line - 25 km - 28 σταθμοί - εγκαίνια 1965 - ολοκλήρωση 2004.

**Όσάκα** - 21.7 km - 19 σταθμοί - εγκαίνια 1874 - ολοκλήρωση 1898 - Προαστιακός.

**Όσλο** - Lines 4, 5, 6 - 13 km - εγκαίνια 1898 - ολοκλήρωση 2006.

**Σεούλ** - Line 2 - 48.8 km - 43 σταθμοί - διάρκεια διαδρομής 84min - εγκαίνια 1978 - ολοκλήρωση 1984.

**Σανγκάη** - Line 4 - 33.7 km - 26 σταθμοί - εγκαίνια 2000 - ολοκλήρωση 2007 – από κοινού με τη γραμμή 3.



**Pan-shaped loops** (Βρόγχος σε σχήμα τηγανιού)

**Βρυξέλες** - Lines 2 and 6 - 18 σταθμοί- εγκαίνια 1981 - ολοκλήρωση 2009.

**Βουκουρέστι** - Lines M1, M3 - 24 km - 16 σταθμοί- εγκαίνια 1979 - ολοκλήρωση 1989.

**Σικάγο** - different lines - 3.2 km - 9 σταθμοί- ολοκλήρωση 1897

**Αμβούργο**- Line U3 - 17.5 km - 23 σταθμοί- διάρκεια διαδρομής 38min - ολοκλήρωση 1912.

**Ιντσόν** - Wolmido monorail - 5.1 km - 5 σταθμοί - εγκαίνια 2010 – μονής κατεύθυνσης



**Λίβερπουλ** - Wirral Line - 4 σταθμοί- προαστιακή γραμμή, μονής τροχιάς βρόγχος

**Λονδίνο** - Central Line - 23 km - 14 σταθμοί- εγκαίνια 1948 – κοντά στο Hainault

(λειτουργεί ως βρόγχος μόνο τις ώρες αιχμής).

**Μαδρίτη** - Cercanias Line C7 – 16 σταθμοί.

**Μελβούρνη** - several lines - 5 σταθμοί- εγκαίνια 1984 – προαστιακός.

**Νιούκαστλ** - Yellow Line - 26 σταθμοί – εγκαίνια 1980 – ολοκλήρωση 1982.

**Παρίσι** - Line 7bis - 4 σταθμοί- εγκαίνια 1911 – ολοκλήρωση 1921 – μονής κατεύθυνσης βρόγχος

**Σιγκαπούρη** - Bukit Panjang LRT - 7.8 km - 13 σταθμοί - ολοκλήρωση 1999.

**Σίδνεϊ** - Suburban metro - 6 km - 6 σταθμοί – ολοκλήρωση 2000.

**Τόκιο** - O-Edo Line - 28 km - 26 σταθμοί- εγκαίνια 1991 – ολοκλήρωση 2000.

**Βανκούβερ** - Millennium Line - 22 σταθμοί- εγκαίνια 1986 – ολοκλήρωση 2002.



**Abandoned or operationally split circles** (Εγκαταλείφθηκαν ή Διαχωρισμένοι κύκλοι)

**Κοπεγχάγη** - S-Tog - 20 σταθμοί- ολοκλήρωση 2005 – λειτουργεί κατά τμήματα

**Βιέννη** - Lines U4/U6 - 18 σταθμοί – λειτούργησε ως βρόγχος σε σχήμα τηγανιού από το 1925 έως το 1978.

**Βιέννη** - Lines U2/U4 - 10 σταθμοί - λειτούργησε ως βρόγχος σε σχήμα τηγανιού μόνο για δύο εβδομάδες το 1981.



**Rings under construction** (Δακτύλιοι υπό κατασκευή)

**Πεκίνο** - line 10 - 32.5 km - 23 σταθμοί – εγκαίνια 2008 – θα ολοκληρωθεί το 2012.

**Κοπεγχάγη** - Line M3 (Cityringen) - 15 km - 17 σταθμοί – διάρκεια διαδρομής 23min – θα ολοκληρωθεί το 2018 – χωρίς οδηγό, από κοινού με τη γραμμή M4.

**Νάπολη** - Line 1 – εγκαίνια 1993 - θα ολοκληρωθεί το 2011 – σχήμα 8 (μονής κατεύθυνσης βρόγχος).

**Σιγκαπούρη** - Circle Line - 33.3 km - 29 σταθμοί - εγκαίνια 2009 - θα ολοκληρωθεί το 2011 – χωρίς οδηγό.



### Proposed rings ( Προτεινόμενοι δακτύλιοι)

**Σικάγο** - Circle line - 20 km - 22 σταθμοί – θα ολοκληρωθεί το 2015.

**Μόσχα**- Περιφερειακός σιδηροδρομικός δακτύλιος μέσα στην πόλη, υπό συζήτηση.

**Μόσχα** - Line 4 – εξωτερική γραμμή 5 ως προέκταση της γραμμής 4 (Mezhdunarodnaya branch), υπό συζήτηση.

**Μόσχα** - Line 11, part of line 1 – Μεγάλος δακτύλιος μετρό, εγκρίθηκε το 1960.

**Παρίσι** - Arc Express - 50 km - 50 σταθμοί – διάρκεια διαδρομής 75 minutes – θα ολοκληρωθεί το 2017 – χωρίς οδηγό.

**Ρίο Ντε Τζανέιρο** - Line 1 - 23 σταθμοί – Η Γραμμή 1 έχει προταθεί να γίνει κυκλική.

**Σιγκαπούρη** - Downtown Line – θα ανοίξει το 2013 – θα ολοκληρωθεί το 2018 – Βρόγχος με 9 σταθμούς στο κέντρο μίας γραμμής που έχει 32 σταθμούς.

**Τορόντο** - Yellow/Purple lines – ασαφής ολοκλήρωση.



### Terminal loops (Τερματικός βρόγχος)

**Λονδίνο** - Piccadilly Line - 2 σταθμοί - στο Heathrow, μονής κατεύθυνσης.

**Λος Άντζελες** - Blue Line - 5 σταθμοί – στο νότιο άκρο, μονής κατεύθυνσης.

**Νέα Υόρκη** - Line 6 - 1 σταθμός – διέρχεται από τον σταθμό του εγκαταλελειμμένου σταθμού City Hall χωρίς επιβάτες, μονής κατεύθυνσης.

**Νέα Υόρκη** - Lines 1 and 9 - 1 σταθμός- στο σταθμό South Ferry, μονής κατεύθυνσης.

**Παρίσι** - Several lines – Το Παρίσι έχει τον μεγαλύτερο αριθμό τερματικών βρόγχων μονής κατεύθυνσης στον κόσμο, δύο από αυτούς λειτουργούν με επιβάτες: Nation στη γραμμή 2, Charles de Gaulle - Etoile στη γραμμή 6.

**Σεούλ** - Line 6 - 6 σταθμοί – μονής κατεύθυνσης.



### Inclinal spirals (Ψευδής κύκλος)

Αυτός ο τύπος είναι πολύ σπάνιος. Κατασκευάζεται ώστε να εξυπηρετήσει μία γραμμή μετρό να ανέβει ή να κατέβει μία γέφυρα ή έναν απότομο λόφο. Ο ένας κύκλος στη

Νάπολη είναι εντελώς υπόγειος και θα μπορούσε να περάσει απαρατήρητος από τους επιβάτες αν δεν καταγραφόταν στους επίσημους χάρτες του μετρό.

**Νάπολη** - Line 1 – στους σταθμούς Vanvitelli και Cilea/Quattro Giornate, υπόγειοι, αναρριχάται σε μία περιοχή 250m πάνω από το κέντρο της πόλης.

**Τόκιο** - Yurikamome Line – κοντά στο σταθμό Shibaura-Futo, υπερυψωμένος, ανεβαίνει στην γέφυρα Rainbow.

(πηγή: Rohde, 2010)



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΧΑΡΑΞΗ**



## 2.1 Γενικά

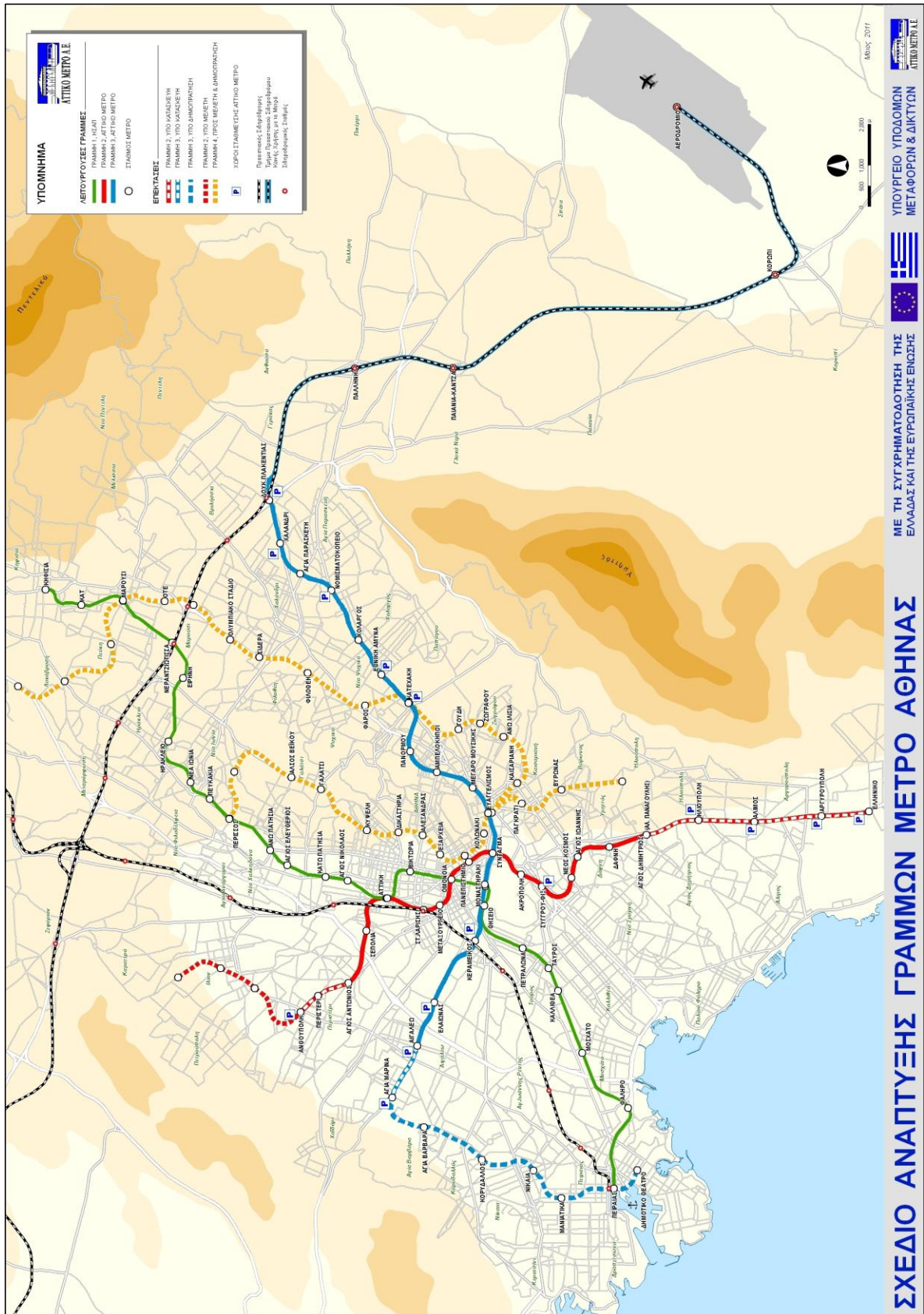
Η παρατήρηση του χάρτη της Αττικό Μετρό που περιλαμβάνει το υπάρχον δίκτυο, αλλά και όλες τις υπό κατασκευή και υπό μελέτη γραμμές, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η φιλοσοφία, τόσο για το υπάρχον δίκτυο, όσο και για το μελλοντικό, βασίζεται στη λογική δημιουργίας ενός ακτινικού δικτύου. Δηλαδή, όλες οι γραμμές ξεκινούν από κάποιο κεντρικό σημείο (στην περίπτωση της Αθήνας αυτό το σημείο είναι η Πλατεία Συντάγματος) και καταλήγουν ακτινικά προς τα προάστια.

Γνωρίζοντας την κυκλοφοριακή κατάσταση που επικρατεί στην πρωτεύουσα, αλλά και ύστερα από μελέτη της εικόνας του δικτύου συγκοινωνιών των μεγαλύτερων πόλεων της Ευρώπης, τίθεται έντονα το ζήτημα δημιουργίας μίας κυκλικής περιφερειακής γραμμής. Η πρόταση αυτή έχει ως απώτερο σκοπό της την λύση του έντονου κυκλοφοριακού προβλήματος που παρατηρείται όχι μόνο στο κέντρο της πόλης αλλά και σε ένα μεγάλο μήκος εξυπηρέτησης της Εθνικής Οδού. Η γραμμή αυτή θα εξυπηρετεί τις μετακινήσεις από και προς τα προάστια αλλά και τη σύνδεση μεταξύ τους.

Η ήδη υπάρχουσα σχεδίαση της Γραμμής 4 του Μετρό εξυπηρετεί ένα μεγάλο μέρος του κέντρου των Αθηνών, το οποίο δεν εξυπηρετείτο μέχρι πρότινος από κάποιο μέσο σταθερής τροχιάς, καθώς και την Λεωφόρο Κηφισίας σε ένα μεγάλο τμήμα της (Εικόνα 2-1).

Στόχος της συγκεκριμένης χάραξης είναι η κατασκευή μίας κυκλικής γραμμής (ring), που αποτελεί καινοτομία για την Ελλάδα. Η κατασκευή κυκλικών γραμμών έχει λειτουργήσει πολύ θετικά σε πολλές πόλεις. Μία τέτοια κυκλική γραμμή στην Αθήνα θα προσφέρει πολλά οφέλη, όπως είναι η ένωση όλων των υφιστάμενων γραμμών, η αποσυμφόρηση του κέντρου των Αθηνών και της Εθνικής οδού και πολλά άλλα (Εικόνα 2-24).

Επίσης, η ήδη υπάρχουσα χάραξη από την Αττικό Μετρό δεν εξυπηρετεί την Πολυτεχνειούπολη και την Πανεπιστημιούπολη στο Γουδή. Στόχος της νέας προτεινόμενης σχεδίασης είναι μία ελαφρά τροποποίηση στην συγκεκριμένη γραμμή, από τη στάση Ευαγγελισμός έως και τη στάση Κατεχάκη, ώστε να εξυπηρετεί και τα δύο αυτά Εκπαιδευτικά Ιδρύματα τα οποία εξυπηρετούν καθημερινά χιλιάδες φοιτητές αλλά και ένα πολύ μεγάλο αριθμό προσωπικού. Συνεπώς, η νέα αυτή μελέτη θα εξυπηρετεί αυτά τα Ιδρύματα με την κατασκευή ενός σταθμού για το καθένα (Εικόνα 2-24).



Εικόνα 2-1, Σχέδιο ανάπτυξης γραμμών Μετρό Αθήνας,  
 Πηγή: Αττικό Μετρό



## 2.2 Επιλογή βέλτιστης λύσης με πολυκριτηριακή ανάλυση

Ο άξονας κατά μήκος του οποίου θα διέλθει το μετρό προκύπτει συνεκτιμώντας κυκλοφοριακές, κατασκευαστικές, περιβαλλοντικές και λειτουργικές παραμέτρους. Για την τελική επιλογή του βέλτιστου άξονα, μελετούνται τα εξής δέκα κριτήρια:

1. Ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός
2. Η αναμενόμενη ζήτηση (τόσο σε ωριαία όσο και σε ημερήσια βάση)
3. Η εξοικονόμηση χρόνων διαδρομής που προκύπτει
4. Η εξοικονόμηση καυσίμων που προκύπτει
5. Η βελτίωση της προσπελασιμότητας, ιδίως προς τις κεντρικές λειτουργίες της πόλης
6. Το κόστος κατασκευής
7. Το κόστος λειτουργίας
8. Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον (ηχορύπανση, ατμοσφαιρική ρύπανση)
9. Οι επιπτώσεις στα υπόγεια δίκτυα (αποχέτευση, ύδρευση, ΔΕΗ, ΟΤΕ)
10. Οι επιπτώσεις στις αρχαιότητες

## 2.3 Στατιστικά στοιχεία

Στη συνέχεια γίνεται προσπάθεια να αναδειχθούν μέσα από κάποια στατιστικά στοιχεία οι λόγοι που οδήγησαν στην ιδέα της τροποποίησης της Γραμμής 4 και αλλαγής της σχεδίασης της έτσι ώστε να εξυπηρετεί την Πολυτεχνειούπολη και την Πανεπιστημιούπολη. Τα στατιστικά στοιχεία σχετίζονται με το πρώτο κριτήριο που αναφέρθηκε, αυτό του πληθυσμού.

Τα πληθυσμιακά στοιχεία για την Πολυτεχνειούπολη και την Πανεπιστημιούπολη, προκύπτουν από τις διοικητικές υπηρεσίες του κάθε ιδρύματος.

### 2.3.1 Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου

#### Οι φοιτητές του Ιδρύματος

Πίνακας 2-1, Στατιστικά στοιχεία για το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο( ακαδ. Έτος 2009-2010),  
Πηγή:Ε.Μ.Π.

Τμήμα	ΑΡΙΘΜΟΣ ΦΟΙΤΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΦΟΙΤΗΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΨΗΦΙΩΝ ΔΙΑΔΑΚΤΟΡΩΝ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών	1943	184	230
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών	1742	156	212
Σχολή Ηλ. Μηχανικών και Μηχ.Υπολογιστών	3188	295	633
Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών	1532	193	443
Σχολή Χημικών Μηχανικών	1164	102	495
Αγρονόμων και Τοπογράφων	868	122	132
Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών	454	197	141
Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών	625	40	65
Σχολή Εφ. Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών	1479	310	212
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>12995</b>	<b>1599</b>	<b>2563</b>

Σημειώνεται ότι ο αριθμός των φοιτητών που καταγράφεται δεν είναι εκείνος των συνολικά εγγεγραμμένων φοιτητών αλλά αποκλειστικά των ενεργών, δηλαδή εκείνων των οποίων η διάρκεια φοίτησης δεν έχει υπερβεί τον ελάχιστο χρόνο φοίτησης προσαυξημένο κατά 2 έτη για κάθε Τμήμα.

Το προσωπικό του ιδρύματος

Το προσωπικό που εμπλέκεται στην παροχή εκπαιδευτικού και ερευνητικού έργου στο ίδρυμα αποτελείται από:

- α) το διδακτικό και ερευνητικό προσωπικό (ΔΕΠ)
- β) το επικουρικό διδακτικό προσωπικό (ΕΔΠ)
- γ) το ειδικό εκπαιδευτικό προσωπικό (ΕΕΠ)
- δ) το ειδικό διοικητικό και τεχνικό προσωπικό (ΕΔΤΠ)

Διοικητικό προσωπικό

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται στοιχεία για το διοικητικό προσωπικό του ιδρύματος κατά το έτος 1998 που αποτελείται από :

- α) Τακτικό προσωπικό , Δημόσιοι Υπάλληλοι - Διοικητικοί (ΜΟΝΙΜΟΙ)
- β) Ειδικό Διοικητικό & Τεχνικό Προσωπικό (ΕΔΤΠ)
- γ) Προσωπικό διοικητικό – Ιδιωτικού Δικαίου Αορίστου Χρόνου (ΙΔΑΧ)

Πίνακας 2-2, Στατιστικά στοιχεία για το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο( ακαδ. Έτος 20010-2011)  
Πηγή:Ε.Μ.Π.

<b>ΙΔΙΟΤΗΤΑ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ</b>	<b>ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ</b>
<b>ΜΟΝΙΜΟΙ</b>	187
<b>ΙΔΑΧ</b>	736
<b>ΕΤΕΠ</b>	91
<b>ΕΕΔΠΠ</b>	70
<b>ΔΕΠ</b>	557
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>1641</b>

Συνολικός πληθυσμός Ε.Μ.Π.

Από τους παραπάνω πίνακες και αθροίζοντας τα επιμέρους σύνολα κάθε κατηγορίας προκύπτει ένα σύνολο που αγγίζει τις 19.000. Το νούμερο αυτό χρόνο με το χρόνο αυξάνεται και μεγαλώνουν οι απαιτήσεις για ένα καλύτερο συγκοινωνιακό δίκτυο.

### 2.3.2 Πανεπιστημιούπολη

#### Οι φοιτητές του Ιδρύματος

Το Πανεπιστήμιο Αθηνών έχει περίπου 110.000 προπτυχιακούς φοιτητές και 12.000 μεταπτυχιακούς φοιτητές. Η Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου φιλοξενεί δέκα τμήματα του Πανεπιστημίου, συνεπώς υπολογίζεται με έμμεσες μεθόδους, πως οι εξυπηρετούμενοι φοιτητές ξεπερνούν τις 40.000.

#### Το προσωπικό του ιδρύματος

Πίνακας 2-3, Στατιστικά στοιχεία για το Πανεπιστήμιο Αθηνών  
Πηγή: Πανεπιστήμιο Αθηνών

<b>ΙΔΙΟΤΗΤΑ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ</b>	<b>ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ</b>
<b>ΜΟΝΙΜΟΙ</b>	1100
<b>ΙΑΔΧ</b>	500
<b>ΕΤΕΠ</b>	300
<b>ΕΕΔΠΠ</b>	65
<b>ΔΕΠ</b>	2000
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>3965</b>

#### Συνολικός πληθυσμός Πανεπιστημιούπολης

Αν σε αυτόν τον αριθμό προστεθούν οι μεταπτυχιακοί φοιτητές και ο αριθμός των υποψήφιων διδασκόντων, για τους οποίους δεν ήταν δυνατή η συγκέντρωση στοιχείων, ο πληθυσμός της Πανεπιστημιούπολης που προκύπτει είναι ιδιαίτερα σημαντικός για την τροφοδοσία της γραμμής. Ένας τέτοιος υψηλός αριθμός μετακινούμενων στην κοινότητα καθιστά αναγκαία την κατασκευή ενός σταθμού Μετρό που να την εξυπηρετεί.

Δεδομένου ότι η κατασκευή ενός σταθμού Μετρό απαιτεί την ύπαρξη ανάγκης εξυπηρέτησης πάνω από 25.000 άτομα, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα πως μία τέτοια λύση αποτελεί αναγκαιότητα και για τα δύο Εκπαιδευτικά Ιδρύματα σημειώνεται επίσης ότι μία τέτοια λύση θα εξυπηρετεί και έναν μεγάλο αριθμό μετακινούμενων των γύρω περιοχών. Ειδικά ο σταθμός που θα εξυπηρετεί και την Πολυτεχνειούπολη βρίσκεται στο κέντρο του Ζωγράφου.

## 2.4 Κριτήρια επιλογής διαδρομής χάραξης

### 2.4.1 Εξυπηρέτηση Εθνικής Οδού – Χώρος στάθμευσης (Βόρειος κλάδος)

Η μελέτη της χάραξης οδήγησε στην ιδέα εξυπηρέτησης της Εθνικής Οδού. Τα τελευταία χρόνια, και όχι μόνο, έχει παρατηρηθεί έντονος κυκλοφοριακός φόρτος, ειδικά τις πρωινές ώρες, στο σύνολο της Εθνικής Οδού. Η απουσία σύνδεσης της Εθνικής Οδού με κάποιο μέσο σταθερής τροχιάς καθιστά ανυπόφορη την κυκλοφορία στις ώρες αιχμής. Ο λόγος αυτός οδήγησε στη χάραξη δύο σταθμών κοντά σε εξόδους της Εθνικής Οδού. Οι σταθμοί αυτοί θα πρέπει να κατασκευασθούν σε συνδυασμό με χώρους στάθμευσης μεγάλης χωρητικότητας. Με τον τρόπο αυτό θα εξυπηρετούνται οι χρήστες της Οδού, οι οποίοι θα σταθμεύουν τα αυτοκίνητα τους στον ειδικό χώρο στάθμευσης και θα έχουν τη δυνατότητα να κινηθούν με το Μετρό προς το κέντρο της πόλης.

### 2.4.2 Σύνδεση με το κέντρο της πόλης (Βόρειος κλάδος)

Η σχεδίαση όλων των γραμμών του Μετρό έχει ως στόχο την ένωση των προαστίων της πόλης με το κέντρο. Η σύνδεση αυτή αποσκοπεί στην εξυπηρέτηση του πληθυσμού από και προς το κέντρο των Αθηνών. Με τον τρόπο αυτό οι χρήστες της γραμμής εξυπηρετούνται χωρίς να χρησιμοποιούν το αυτοκίνητο και μειώνουν αισθητά το κόστος των μετακινήσεών τους. Επίσης, η σύνδεση των σταθμών του κέντρου της Αθήνας με περιοχές μακριά από αυτό συμβάλει αισθητά στη βελτίωση των επικρατούμενων ατμοσφαιρικών συνθηκών.

### 2.4.3 Αναβάθμιση περιοχής – Εξυπηρέτηση εμπορικής ζώνης (Βόρειος κλάδος)

Η μελέτη της βόρειας περιοχής σχεδίασης οδήγησε στο συμπέρασμα πως στην περιοχή αυτή υπάρχει έλλειψη ενός μέσου σταθερής τροχιάς. Ένα βαρύ μέσο σταθερής τροχιάς, όπως είναι το Μετρό, έχει αποδειχθεί ότι αναβαθμίζει σταδιακά μία περιοχή. Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι σε περιοχές όπου γίνεται γνωστή η έλευση μίας νέας συγκοινωνιακής γραμμής οι αξίες των ακινήτων και των οικοπέδων ανεβαίνουν. Συνεπώς, ένα βαρύ μέσο σταθερής τροχιάς αλλάζει τις χρήσεις γης στην περιοχή όπου διέρχεται αλλά και τη συνολική εικόνα της.

Η υπό μελέτη περιοχή σε ένα σημαντικό ποσοστό της είναι αραιοκατοικημένη, αυτό οφείλεται στον εμπορικό χαρακτήρα της. Ακόμη, ένα κομμάτι της χάραξης που σχεδιάστηκε έχει σκοπό να εξυπηρετήσει την εμπορική ζώνη στην οποία παρατηρήθηκε ανυπαρξία εξυπηρέτησης από τα μέσα μαζικής μεταφοράς.

#### **2.4.4 Εξυπηρέτηση Πολυτεχνειούπολης και Πανεπιστημιούπολης (Νότιος κλάδος)**

Εδώ και πολλά χρόνια γίνεται συζήτηση για μία γραμμή Μετρό η οποία θα εξυπηρετεί τον πληθυσμό της Πολυτεχνειακής και της Πανεπιστημιακής κοινότητας. Κατά καιρούς έχουν γίνει πολλές μελέτες από φοιτητές και όχι μόνο για τη διεκπεραίωση ενός τέτοιου σχεδίου. Οι δύο αυτές κοινότητες αποτελούνται από έναν πολύ μεγάλο αριθμό ατόμων, οι οποίοι μετακινούνται καθημερινά. Η υπό μελέτη χάραξη εξυπηρετεί με ένα σταθμό την Πολυτεχνειούπολη και με έναν άλλο την Πανεπιστημιούπολη. Οι χρήστες της γραμμής θα αποβιβάζονται στη στάση που επιθυμούν και από εκεί θα επιβιβάζονται στις ειδικές τροφοδοτικές λεωφορειακές γραμμές οι οποίες θα εκτελούν κυκλικά τον γύρο κάθε κοινότητας. Οι στάσεις αυτές έχουν διπλή χρήση καθώς θα εξυπηρετούν συγχρόνως την περιοχή του Ζωγράφου και της Καισαριανής.

## **2.5 Επιλογή χώρων για την κατασκευή σταθμών**

Αφού, λοιπόν, αποκτήθηκε μια πρώτη ιδέα για τις περιοχές που θα συμπεριληφθούν και με βάση τα κριτήρια που αναφέρθηκαν παραπάνω επιλέχθηκαν οι χώροι που θα δημιουργηθούν οι σταθμοί και ο άξονας διέλευσης της σήραγγας. Αυτή η εργασία προϋπέθετε την καλή γνώση των περιοχών από τις οποίες θα διέρχεται η γραμμή, τόσο από επί τόπου αυτοψία, όσο και από γνώση της τοπογραφίας τους. Για το σκοπό αυτό έγινε προμήθεια κατάλληλου τοπογραφικού χάρτη από τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού και ρυμοτομικού χάρτη από την Αττικό Μετρό.

### **2.5.1 Έρευνα γραφείου**

Μελετώντας το χάρτη έγινε η χωροθέτηση των σταθμών σε σημεία που κρίθηκε ότι θα εξυπηρετούσαν καλύτερα τις περιοχές από τις οποίες θα διέλθει η γραμμή. Επιλέχθηκαν δηλαδή εκείνα τα σημεία που είναι κεντρικά και ταυτόχρονα διαθέτουν τους απαραίτητους χώρους για τη δημιουργία εργοταξίων και την κατασκευή των σταθμών. Έτσι, η πλειοψηφία των χώρων αυτών αποτελείται από πλατείες, οικόπεδα και καταστρώματα οδών καθώς έτσι επιτυγχάνουμε τη βελτιστοποίηση της χρήσης των δημοσίων χώρων και ελαχιστοποιούνται οι ανάγκες απαλλοτρίωσης ιδιοκτητων ακινήτων.

### **2.5.2 Επί τόπου μελέτη**

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε επί τόπου μελέτη των περιοχών αυτών για κάθε ένα από τα σημεία που επιλέχθηκαν. Οι τρεις ενέργειες που πραγματοποιήθηκαν ήταν:

- α) εξετάστηκε εάν πράγματι είναι κεντρικό
- β) υπολογίστηκε προσεγγιστικά η επάρκεια των χώρων για την κατασκευή του σταθμού
- γ) φωτογραφήθηκε

### 2.5.3 Χωροθέτηση σταθμών

Οι υπό εξέταση περιοχές χωρίστηκαν σε δύο κλάδους, το Νότιο κλάδο και το Βόρειο κλάδο που παρουσιάζονται στις εικόνες 2-2 και 2-12 αντίστοιχα. Στις φωτογραφίες αυτές διακρίνονται η πυκνότητα δόμησης, οι ελεύθεροι χώροι, οι κύριοι οδικοί άξονες, η προσπελασιμότητα των περιοχών και οι διαφορετικές χρήσεις γης όπως οικιστικές ζώνες, πανεπιστημιακά ιδρύματα, χώροι αναψυχής, νοσοκομεία, εμπορο-βιοτεχνικές ζώνες και άλλα.

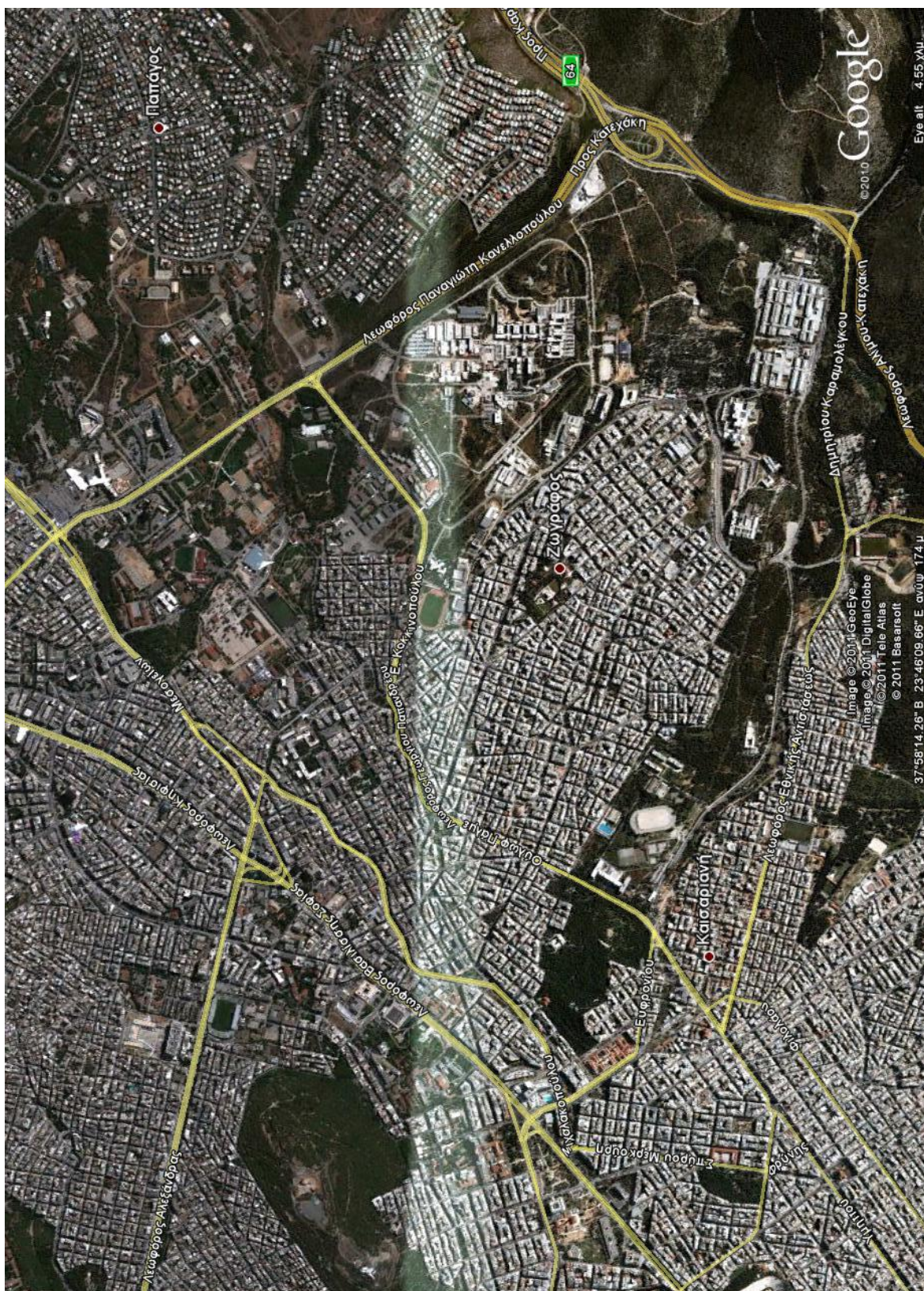
Στη συνέχεια παρατίθεται η υπάρχουσα πρόταση της Αττικό Μετρό για την εξυπηρέτηση αυτών των περιοχών, εικόνες 2-3 και 2-13.

Η ανάλυση όλων των παραπάνω στοιχείων οδήγησε στην χωροθέτηση πιθανών σημείων δημιουργίας σταθμών που θα πρέπει να ικανοποιούν όλα τα κριτήρια. Τα σημεία όπου χωροθετήθηκαν οι σταθμοί εξετάστηκαν ώστε να εξυπηρετούνται τόσο οι ειδικές χρήσεις κάθε περιοχής (πανεπιστήμια, νοσοκομεία), όσο και οι ανάγκες μετακίνησης του πληθυσμού (κατοικίες, χώροι εργασίας, χώροι αναψυχής). Ακόμα, εξετάστηκε η προσβασιμότητα με ιδιωτικά οχήματα και η δημιουργία μικρών ή μεγάλων χώρων στάθμευσης.

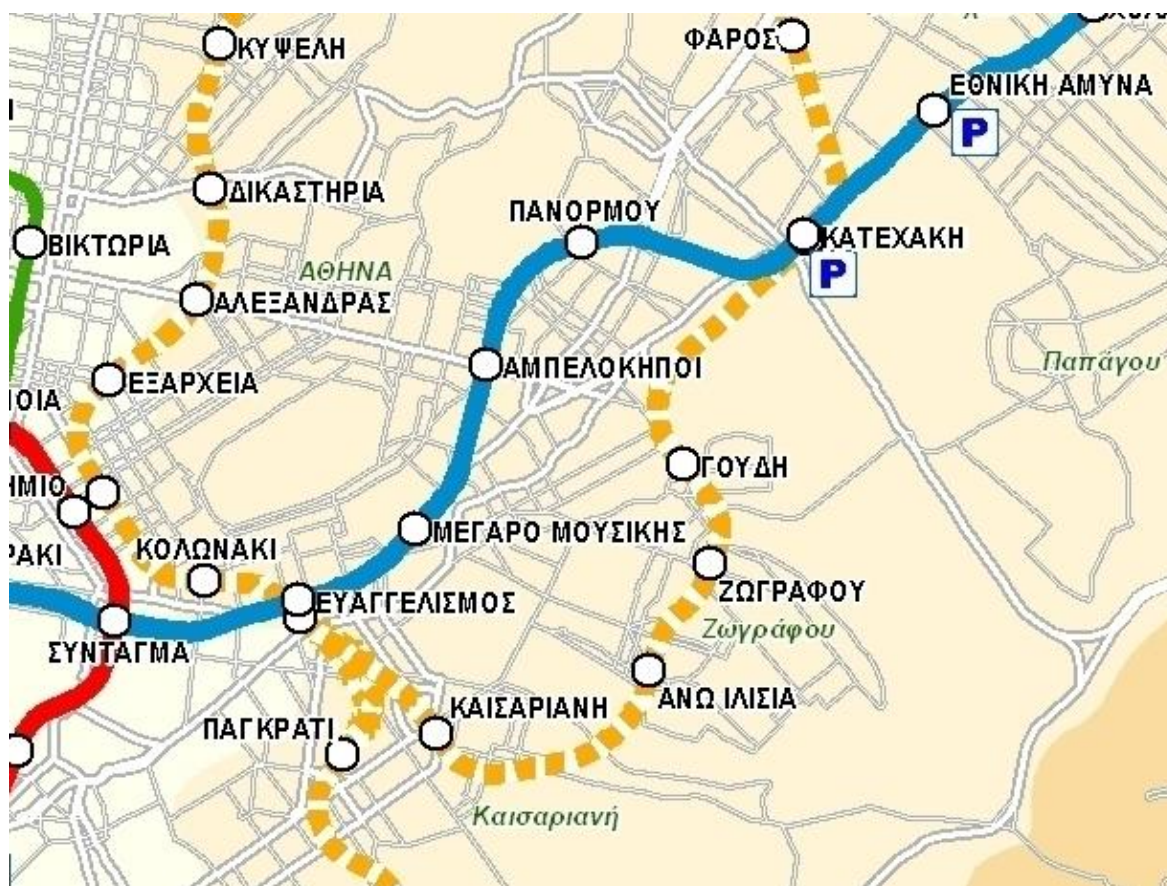
Η τελική επιλογή των χώρων έγινε ύστερα από πολλαπλές επισκέψεις στους πιθανούς χώρους και διαρκή ανάλυση των υφιστάμενων μεταφορικών υποδομών της κάθε περιοχής. Η τελική χωροθέτηση έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε οι σταθμοί να μπορούν να αποτελούν σημείο μετάβασης, δηλαδή να συνδέουν το δίκτυο του Μετρό είτε με το οδικό δίκτυο είτε με τις λεωφορειακές γραμμές.



Νότιος κλάδος



Εικόνα 2-2, Δορυφορική λήψη Νότιας περιοχής μελέτης, πηγή: Google Earth



Εικόνα 2-3, Υπάρχουσα πρόταση της Αττικό Μετρό για την εξυπηρέτηση της Νότιας περιοχής.

Ακολουθεί αναλυτική χωροθέτηση των σταθμών του Νότιου κλάδου (πίνακας 2-4) μαζί με επεξεργασμένες δορυφορικές εικόνες που δείχνουν την ακριβή τοποθεσία των μελλοντικών σταθμών και των εργοταξιακών χώρων που θα δημιουργηθούν κατά την περίοδο κατασκευής τους. Ακόμα, παραθέτονται και φωτογραφίες από τη σημερινή μορφή και τη χρήση των χώρων αυτών.

Τέλος σχεδιάστηκε στην ίδια μορφή με τον χάρτη της Αττικό Μετρό, η πρόταση για την τροποποίηση του υπό σχεδίαση δικτύου (εικόνα 2-11).

Πίνακας 2-4, Χωροθέτηση σταθμών Νοτίου κλάδου

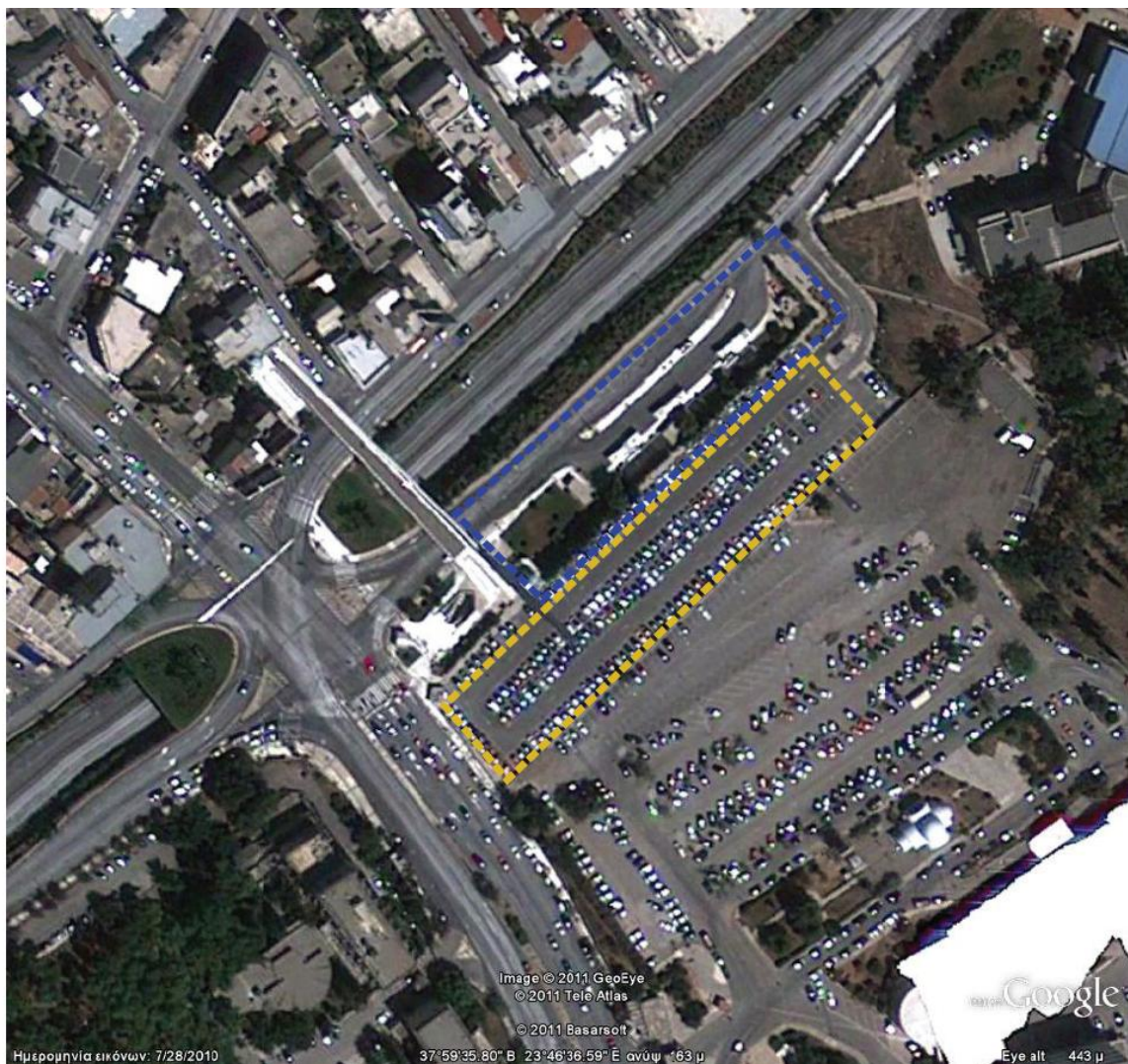
<p>Κατεχάκη (Εικόνες 2-4)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Επί της Λεωφόρου Μεσογείων και κάθετα στη Λεωφόρο Κατεχάκη, παράλληλα με τον ήδη υπάρχοντα σταθμό της Γραμμής 3.</li> <li>• Σταθμός μετεπιβίβασης.</li> </ul>
<p>Γουδή (Εικόνες 2-5)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Κάθετα στις οδούς Παπαδιαμαντοπούλου και Αγίας Λαύρας και στα όρια του Ολυμπιακού Γυμναστηρίου Badminton στο Γουδή.</li> <li>• Εξυπηρέτηση Γενικού Νοσοκομείου Παίδων ‘Αγία Σοφία’, Γενικό Νοσοκομείο Αθηνών ‘Λαϊκό’, Ιατρικής-Οδοντιατρικής-Νοσηλευτικής Σχολής Πανεπιστημίου Αθηνών, Θεάτρου Badminton και Άλσους Ελληνικού Στρατού.</li> <li>• Δυνατότητα δημιουργίας υπόγειου ή υπαίθριου χώρου στάθμευσης.</li> </ul>
<p>Ζωγράφου – Πολυτεχνειούπολη (Εικόνες 2-6)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Κάθετα στις οδούς Ηρώων Πολυτεχνείου και Ιωάννου Θεολόγου, κάτω από το κατάστρωμα της οδού Λοχαγού Σισμάνη.</li> <li>• Εξυπηρέτηση Δήμου Ζωγράφου, Πολυτεχνειούπολης Ε.Μ.Π. και Δημοτικού Σταδίου «Γρ. Λαμπράκης».</li> </ul>
<p>Άνω Ιλίσια (Εικόνες 2-7)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Περικλύεται από τις οδούς Εθνικής Αντιστάσεως, Σειλιστρίας και Υδάσπου.</li> <li>• Εξυπηρέτηση Άνω Ιλισίων και Άνω Ζωγράφου.</li> </ul>
<p>Πανεπιστημιούπολη (Εικόνες 2-8)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Κάθετα στην οδό Σ.Τσάφου, παράλληλα στην οδό Νικομήδειας και στην αρχή της οδού Μιχαήλ Καραολή.</li> <li>• Εξυπηρέτηση Πανεπιστημιούπολης, Καισαριανή.</li> </ul>

Καισαριανή (Εικόνες 2-9)

- Στη συμβολή της Λεωφόρου Εθνικής Αντιστάσεως με τη Λεωφόρο Υμηττού, κάτω από το κατάστρωμα της Λεωφόρου Εθνικής Αντιστάσεως.
- Εξυπηρέτηση Καισαριανής, Ιλισίων και Παγκρατίου.

Ευαγγελισμός (Εικόνες 2-10)

- Περικλύεται από τις Λεωφόρους Βασιλίσσης Σοφίας και Βασιλέως Κωνσταντίνου, παράλληλος στην οδό Ριζάρη, κάθετα στον ήδη υπάρχων σταθμό της Γραμμής 3.
- Σταθμός μετεπιβίβασης.



Εικόνες 2-4, Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Κατεχάκη' και πιθανού εργοταξιακού χώρου.



Εικόνες 2-5, Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Γουδή' και πιθανού εργοταξιακού χώρου.



Εικόνες 2-6, Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού ‘Ζωγράφου - Πολυτεχνειούπολη’ και πιθανού εργοταξιακού χώρου.



Εικόνες 2-7, Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Άνω Ιλίσια' και πιθανού εργοταξιακού χώρου.





Εικόνες 2-8, Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Καισαριανή - Πανεπιστημιούπολη' και πιθανού εργοταξιακού χώρου.



Εικόνες 2-9, Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Καισαριανή' και πιθανού εργοταξιακού χώρου.

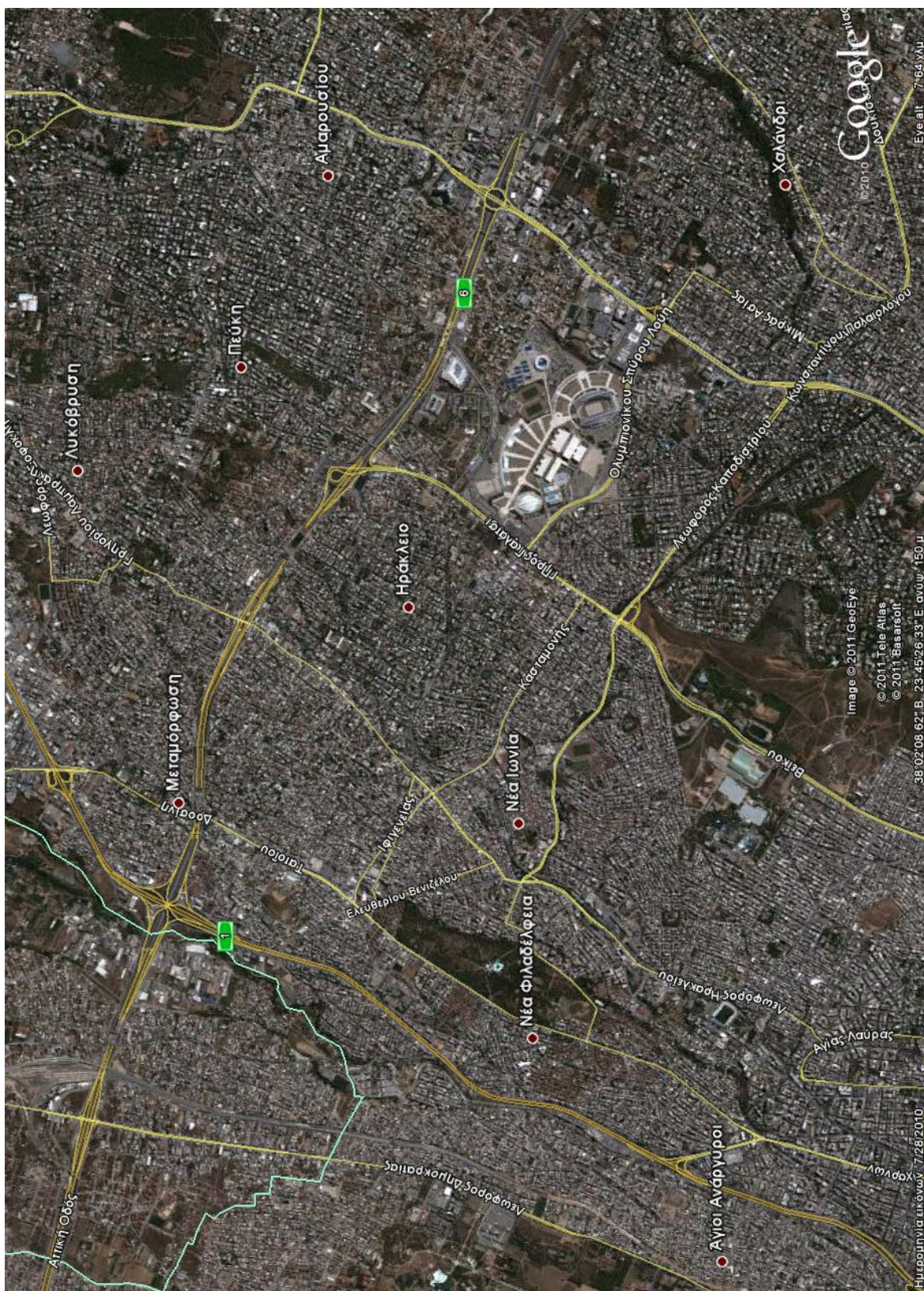


Εικόνες 2-10, Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Ευαγγελισμός' και πιθανού εργαζαξιακού χώρου.

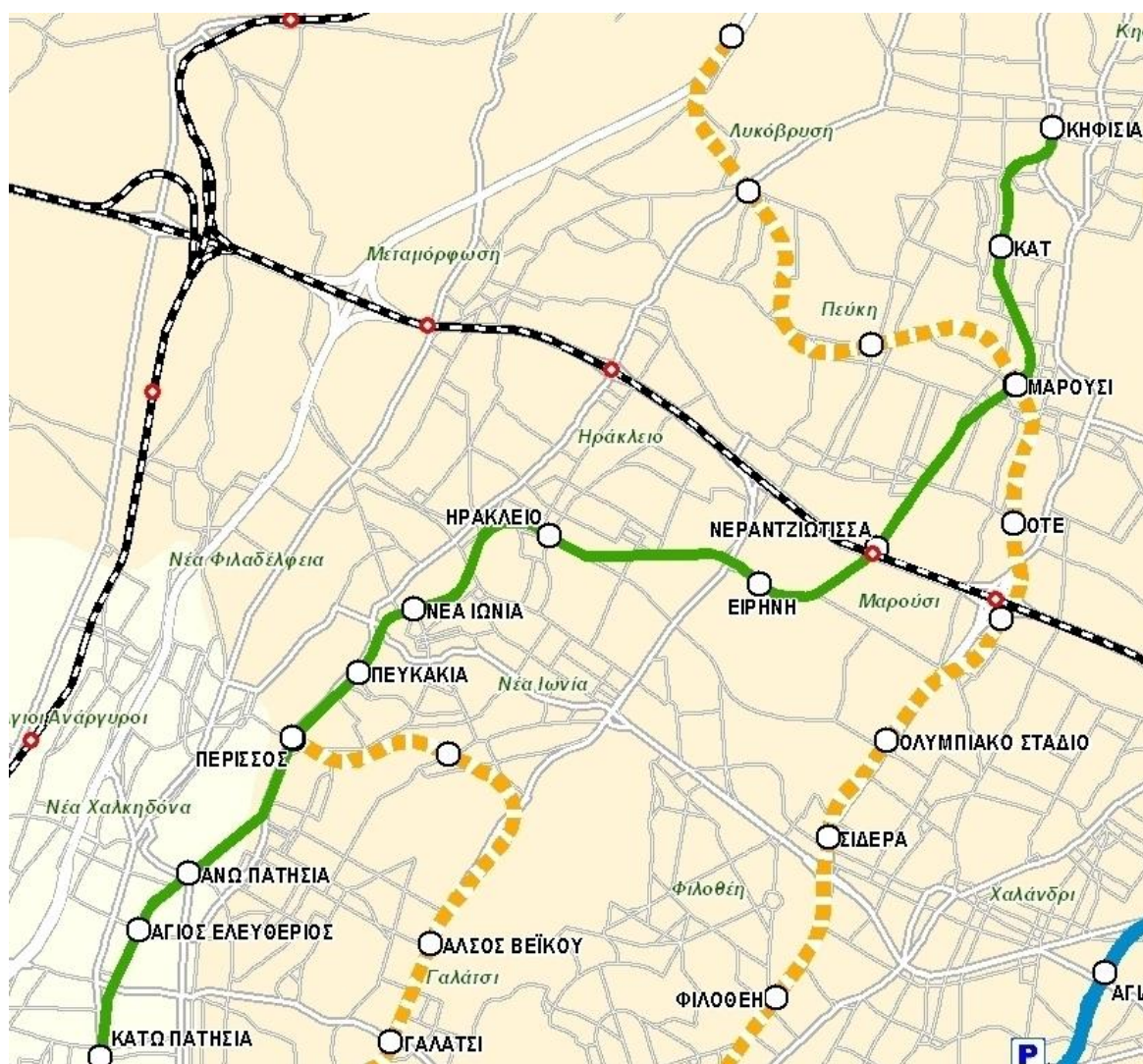


Εικόνα 2-11, Πρόταση για την τροποποίηση του Νότιου κλάδου

Βόρειος κλάδος



Εικόνα 2-12, Δορυφορική λήψη Βόρειας περιοχής μελέτης, πηγή:Google Earth



Εικόνα 2-13, Υπάρχουσα πρόταση της Αττικό Μετρό για την εξυπηρέτηση της Βόρειας περιοχής.

Ακολουθεί αναλυτική χωροθέτηση των σταθμών του Βορείου κλάδου (πίνακας 2-5) μαζί με επεξεργασμένες δορυφορικές εικόνες που δείχνουν την ακριβή τοποθεσία των μελλοντικών σταθμών και των εργοταξιακών χώρων που θα δημιουργηθούν κατά την περίοδο κατασκευής τους. Ακόμα, παραθέτονται και φωτογραφίες από τη σημερινή μορφή και τη χρήση των χώρων αυτών.

Τέλος σχεδιάστηκε στην ίδια μορφή με τον χάρτη της Αττικό Μετρό, η πρόταση για την τροποποίηση του υπό σχεδίαση δικτύου (εικόνα 2-23).

Πίνακας 2-5, Χωροθέτηση σταθμών Βόρειου κλάδου

<p>Άλσος Βεΐκου (Εικόνες 2-14)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Κάθεται στις οδούς Τραλλέων και Πυθείας, κάτω από το κατάστρωμα της Λεωφόρου Βεΐκου.</li> <li>• Εξυπηρέτηση περιοχής Γαλατσίου, Άλσους Βεΐκου και Ολυμπιακού Γυμναστηρίου Γαλατσίου.</li> </ul>
<p>Πλατεία Υγείας (Εικόνες 2-15)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Περικλύεται από τις οδούς Μήδειας, Ομήρου και Βασιλείου Βουλγαροκτόνου.</li> <li>• Εξυπηρέτηση Νέας Ιωνίας.</li> </ul>
<p>Νέα Ιωνία (Εικόνες 2-16)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Περικλύεται από τις οδούς Πατριάρχου Ιωακείμ, Χρυσοστόμου Σμύρνης και Γυμνασίου, πλησίον του σταθμού Νέα Ιωνία της Γραμμής 1.</li> <li>• Εξυπηρέτηση Νέας Ιωνίας</li> <li>• Σταθμός μετεπιβίβασης</li> </ul>
<p>Ελευθερίου Βενιζέλου (Εικόνες 2-17)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Επί της οδού Ελευθερίου Βενιζέλου, μεταξύ των οδών Χίου και Αλέξανδρου Παναγούλη.</li> <li>• Εξυπηρέτηση της Νέας Φιλαδέλφειας και Μεταμόρφωσης.</li> </ul>
<p>Μεταμόρφωση (Εικόνες 2-18)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Επί της οδού Τατοΐου, μεταξύ των οδών Μπιζανίου και Ιωαννίνων.</li> <li>• Εξυπηρέτηση Μεταμόρφωσης</li> <li>• Σύνδεση με τον σταθμό «Μεταμόρφωση» του Προαστιακού Σιδηρόδρομου.</li> </ul>

Εθνική Οδός Αθηνών – Λαμίας (Εικόνες 2-19)

- Μεταξύ των οδών Τατοΐου, Λεβαδείας και Ελευθερίου Βενιζέλου.
- Εξυπηρέτηση Μεταμόρφωσης και χρηστών Εθνικής Οδού Αθηνών-Λαμίας.
- Δυνατότητα δημιουργίας υπόγειου ή υπαίθριου χώρου στάθμευσης.

Λυκόβρυση (Εικόνες 2-20)

- Παράλληλα στην οδό Λυκοβρύσεως, στη συμβολή της με την οδό Γεωργίου Παπανδρέου.
- Εξυπηρέτηση Λυκόβρυσης, χρηστών Εθνικής Οδού Αθηνών-Λαμίας και εμπορικής ζώνης.
- Δυνατότητα δημιουργίας υπόγειου ή υπαίθριου χώρου στάθμευσης.

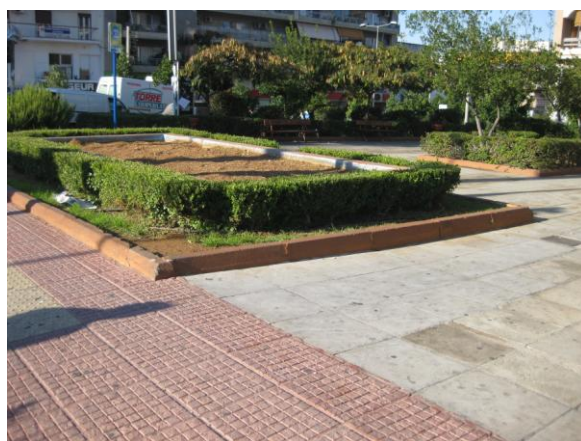
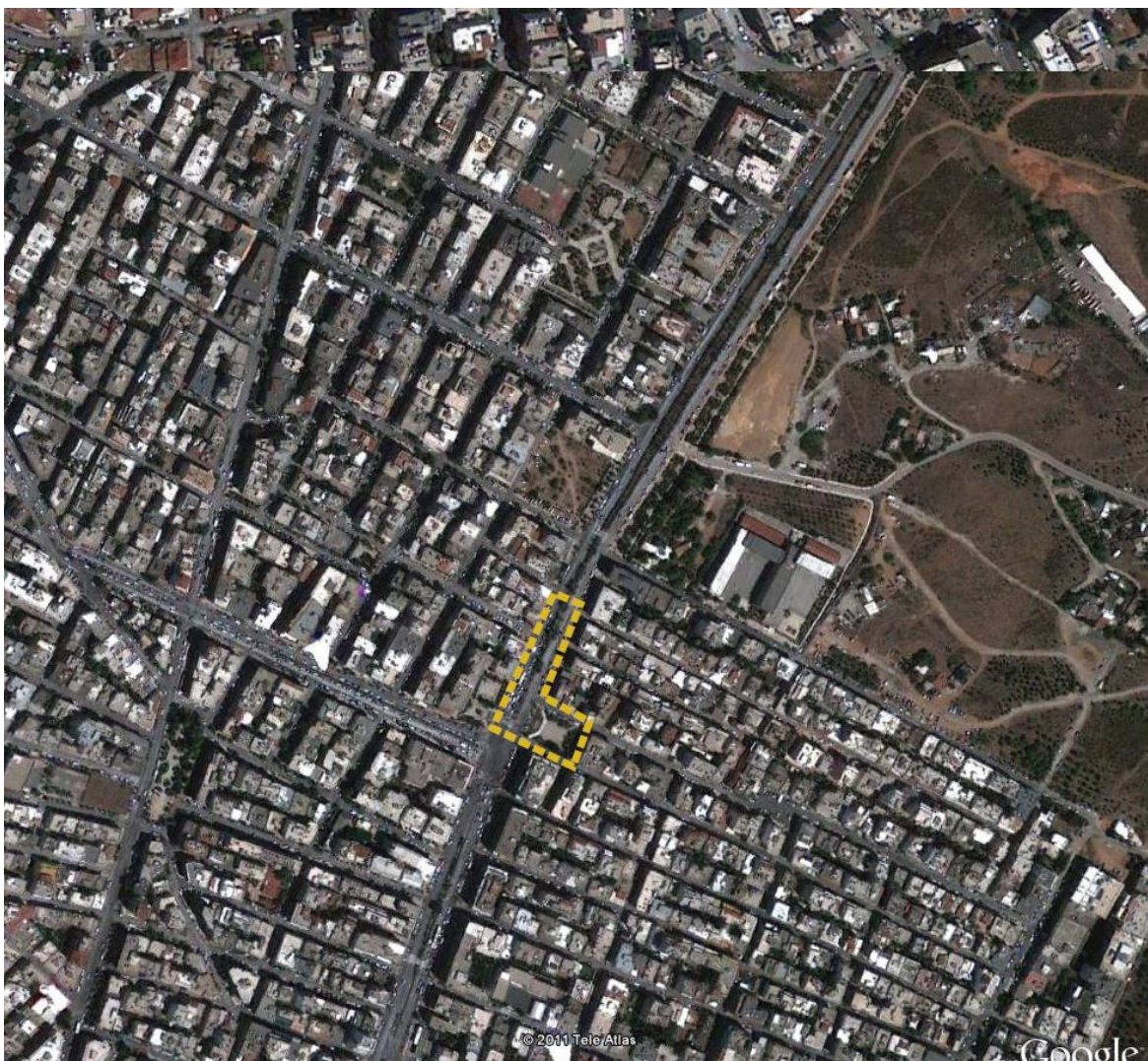
Λεωφόρος Ειρήνης (Εικόνες 2-21)

- Στο οικόπεδο που περικλύεται από την Λεωφόρο Ειρήνης, την οδό Αγίου Στεφάνου και την οδό Στρατήγη.
- Εξυπηρέτηση Νέου Ηρακλείου, Λυκόβρυσης και Πεύκης.

Πεύκη (Εικόνες 2-22)

- Επί της Λεωφόρου Ειρήνης, μεταξύ των οδών Αγίου Παντελεήμονος και Ελευθερίου Βενιζέλου.
- Εξυπηρέτηση της Πεύκης.





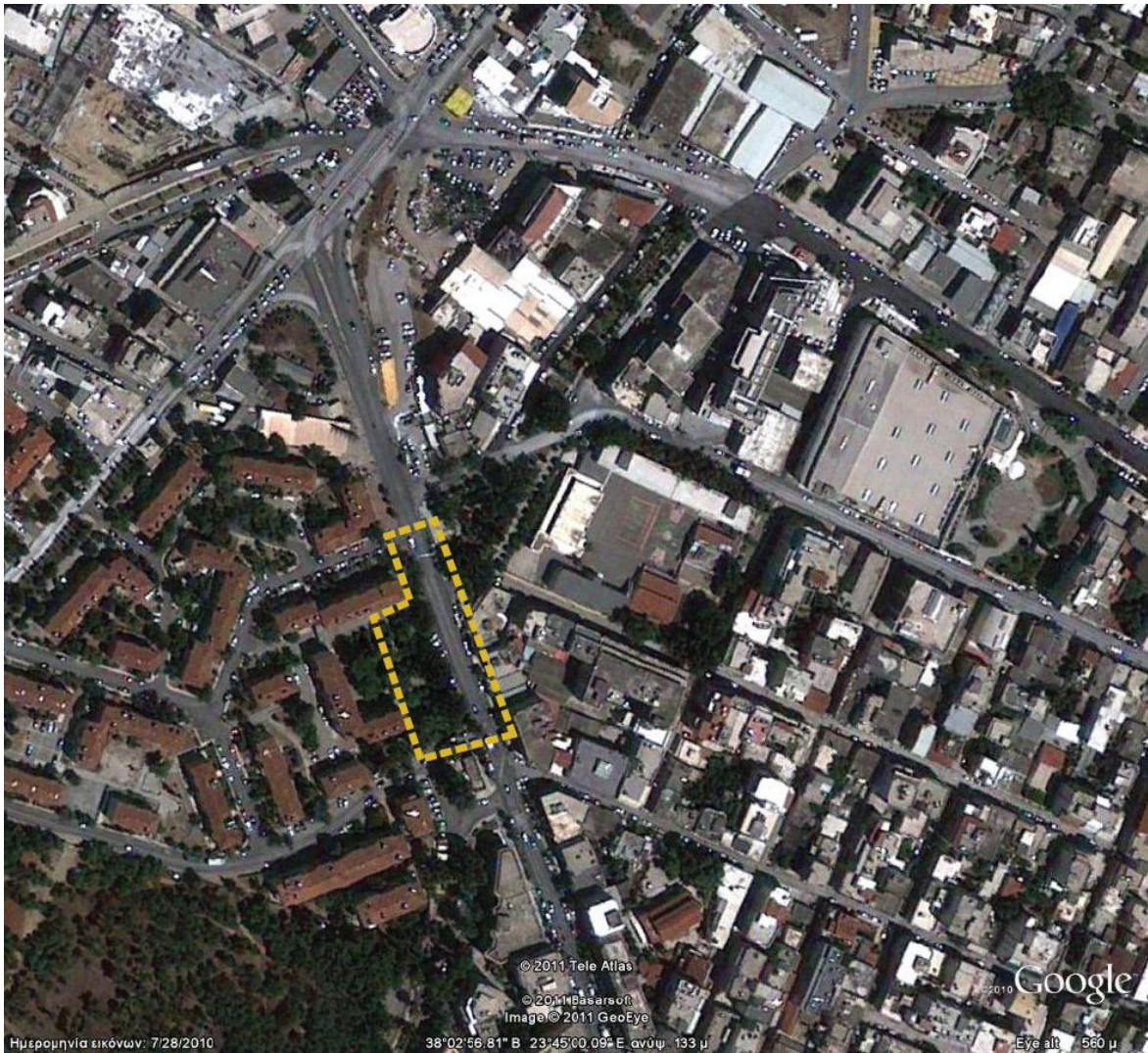
Εικόνες 2-14, Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Άλσος Βεΐκου' και πιθανού εργοταξιακού χώρου.



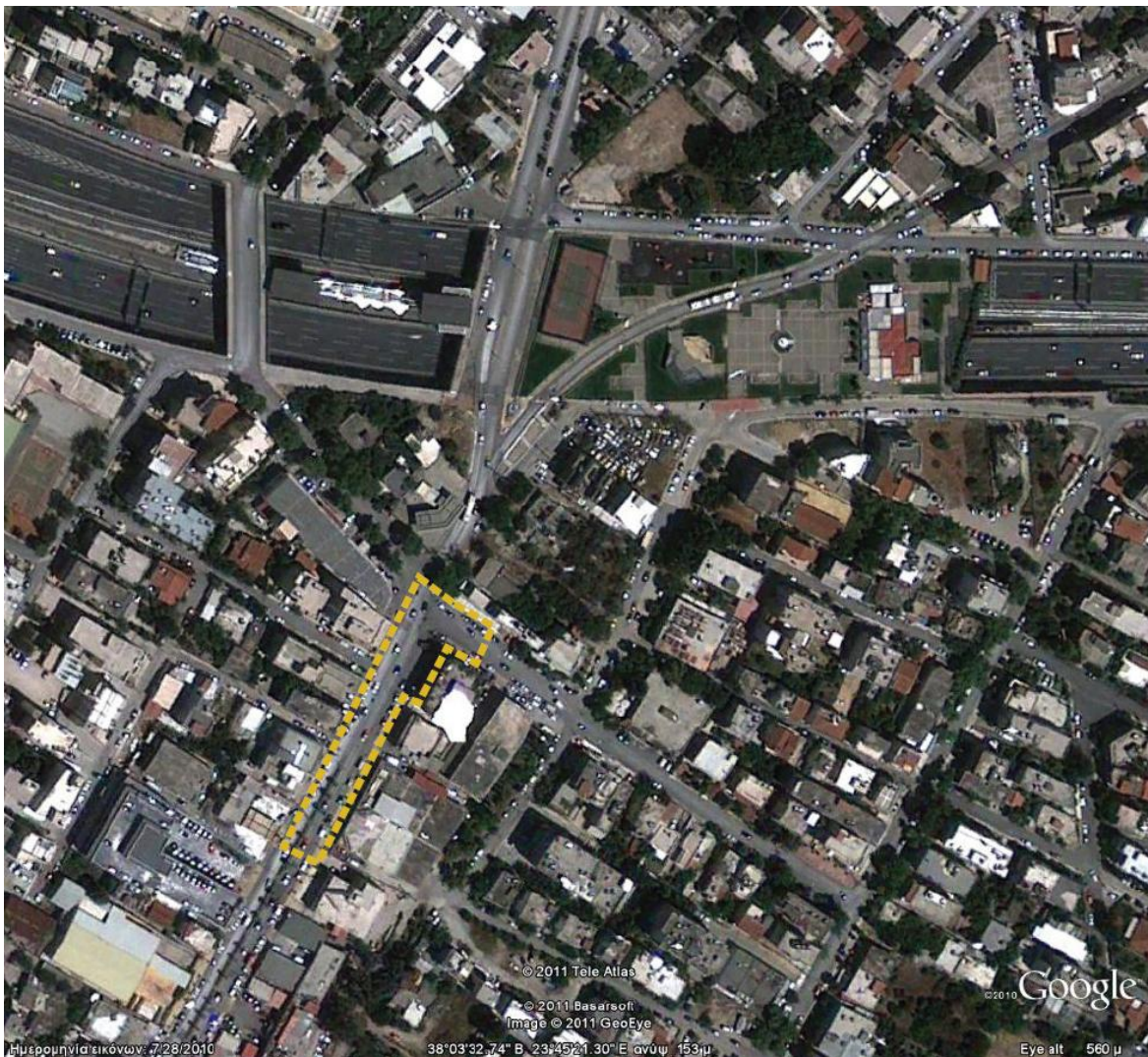
Εικόνες 2-15, Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Πλατεία Υγείας' και πιθανού εργοταξιακού χώρου.



Εικόνες 2-16, Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Νέα Ιωνία' και πιθανού εργοταξιακού χώρου.



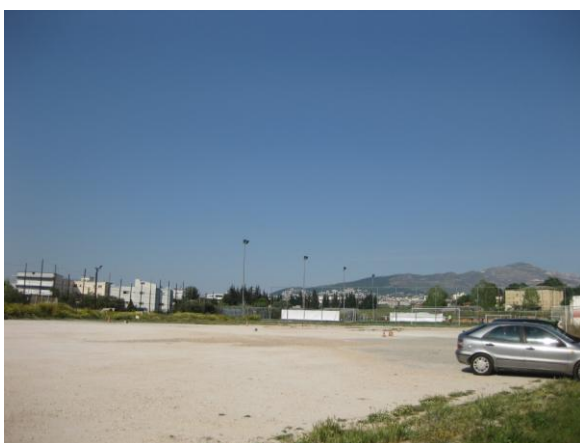
Εικόνες 2-17, Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Ελευθερίου Βενιζέλου' και πιθανού εργοταξιακού χώρου.



Εικόνες 2-18, Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Μεταμόρφωση' και πιθανού εργοταξιακού χώρου.



Εικόνες 2-19, Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Εθνική Οδός Αθηνών – Λαμίας' και πιθανού εργοταξιακού χώρου.

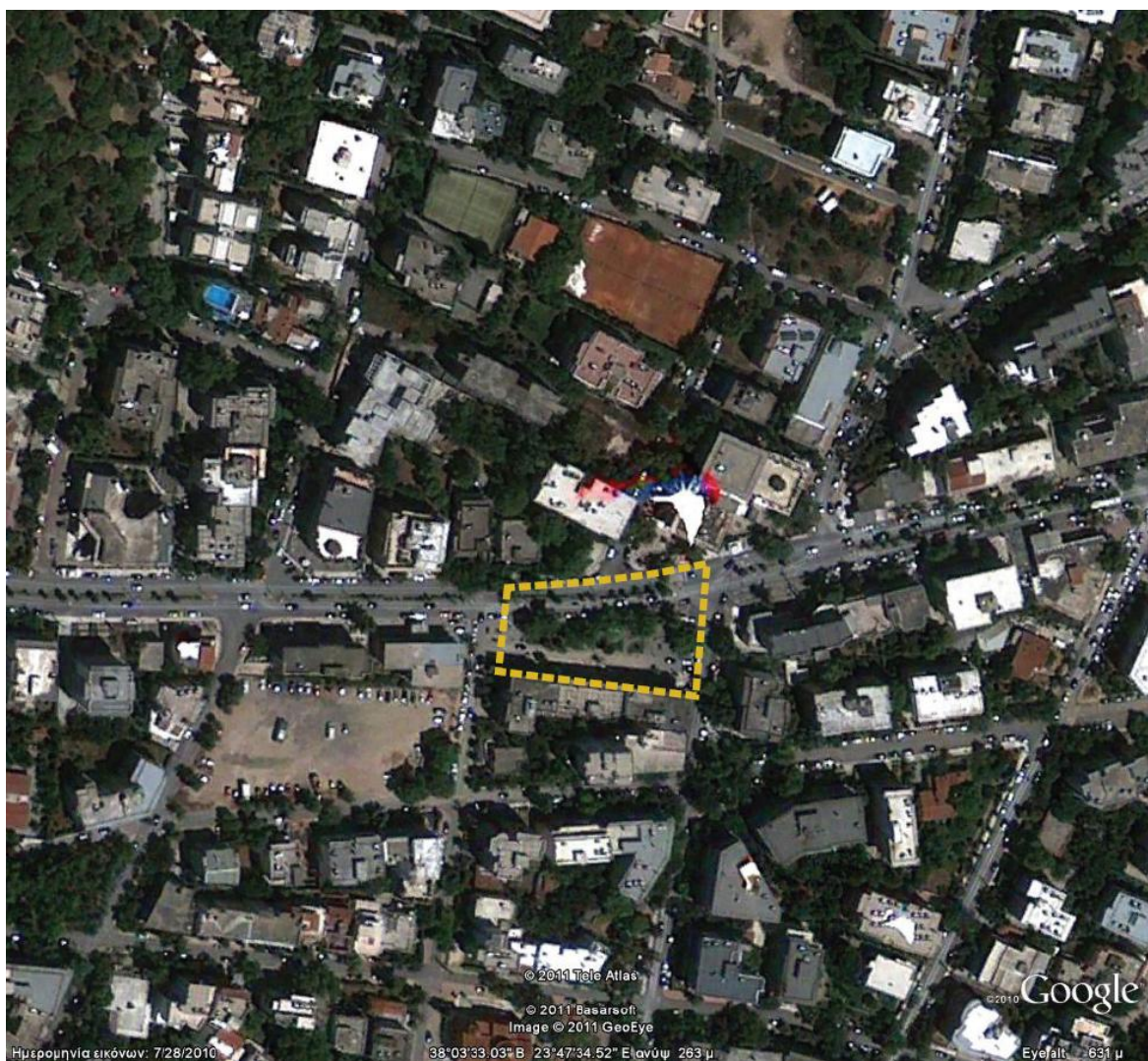


Εικόνες 2-20, Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Λυκόβρυση' και πιθανού εργοταξιακού χώρου.

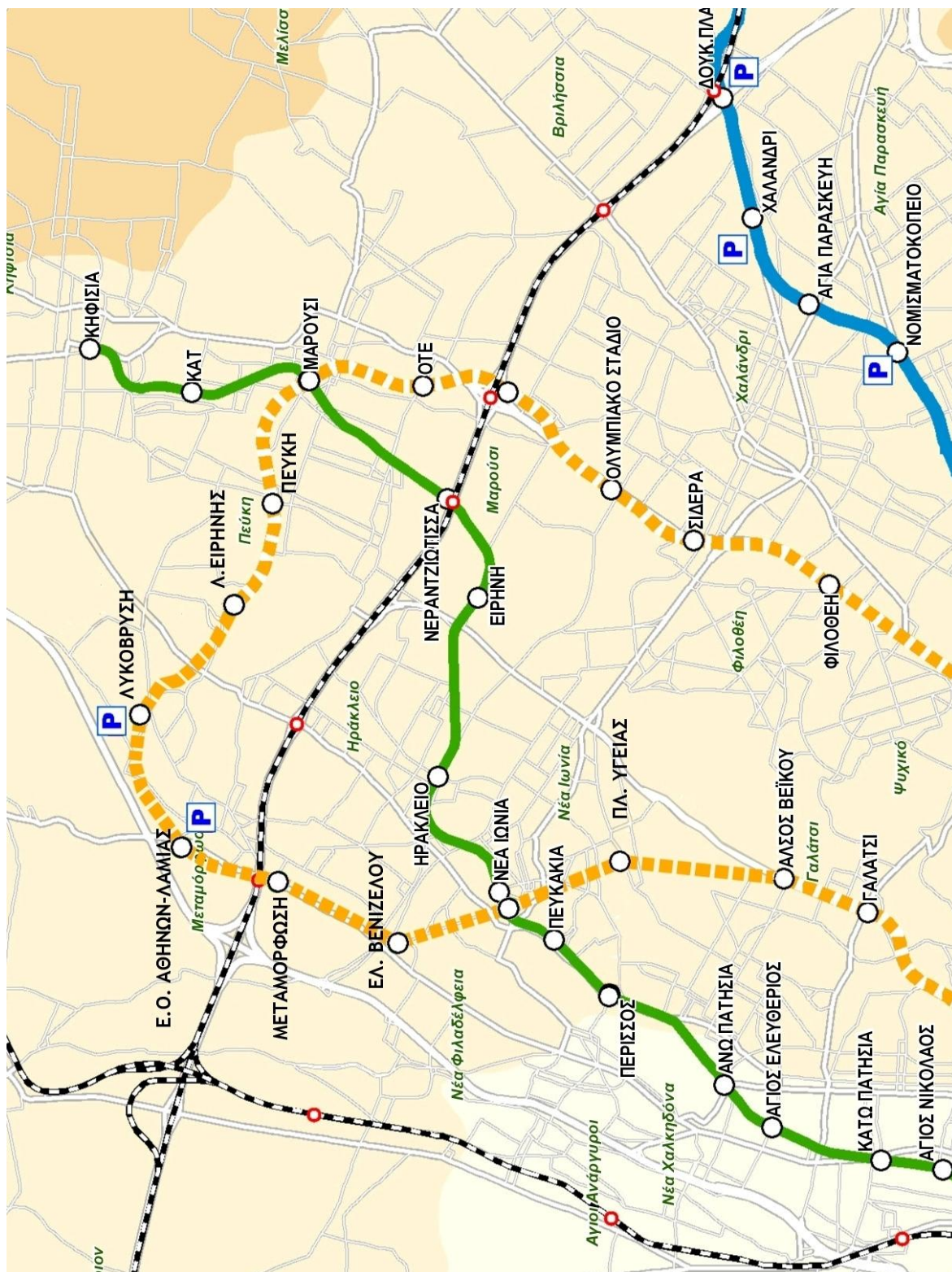


Εικόνες 2-21, Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Λεωφόρος Ειρήνης' και πιθανού εργοταξιακού χώρου.



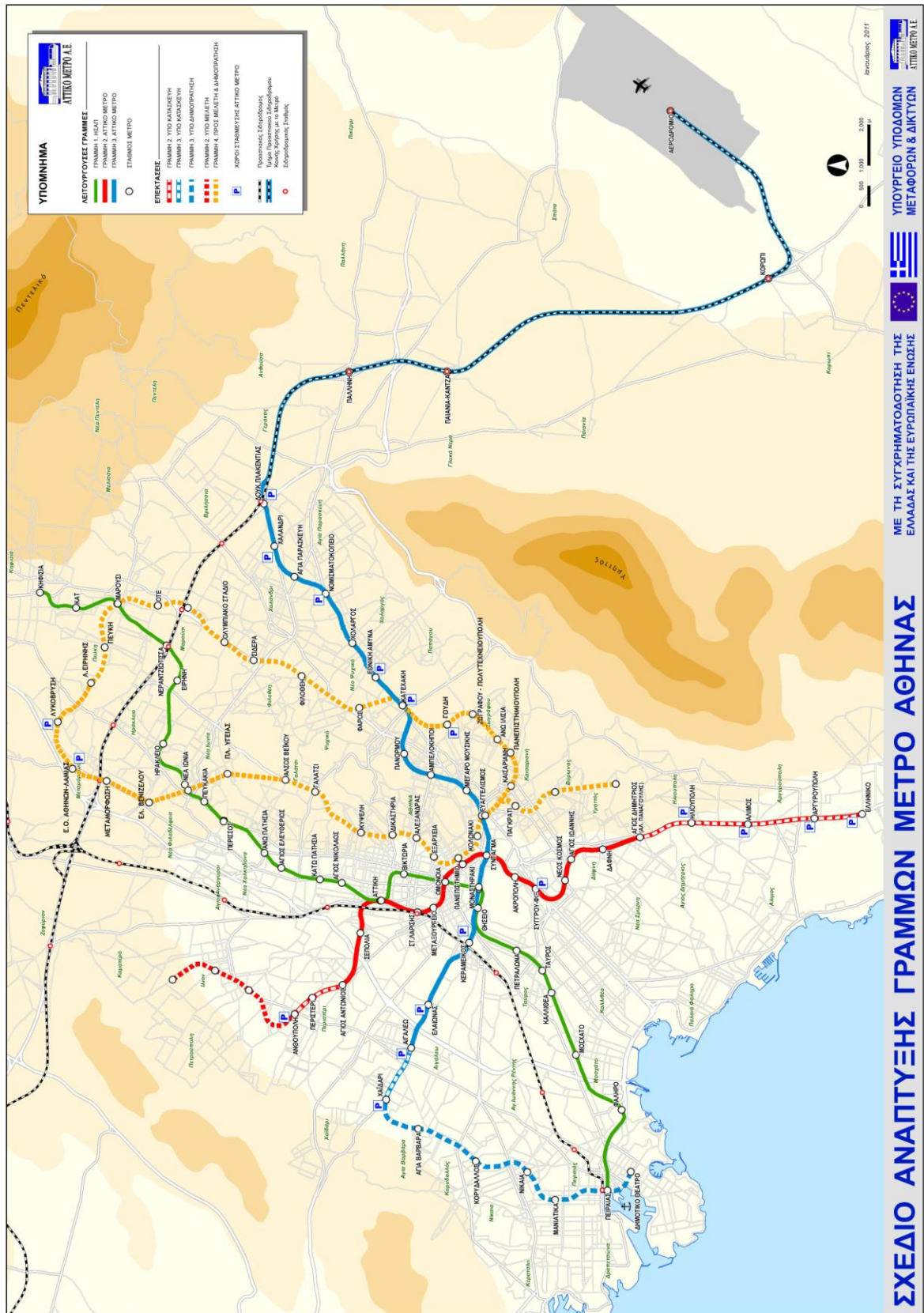


Εικόνες 2-22, Παρουσίαση χώρου τοποθέτησης σταθμού 'Πεύκη' και πιθανού εργοταξιακού χώρου.



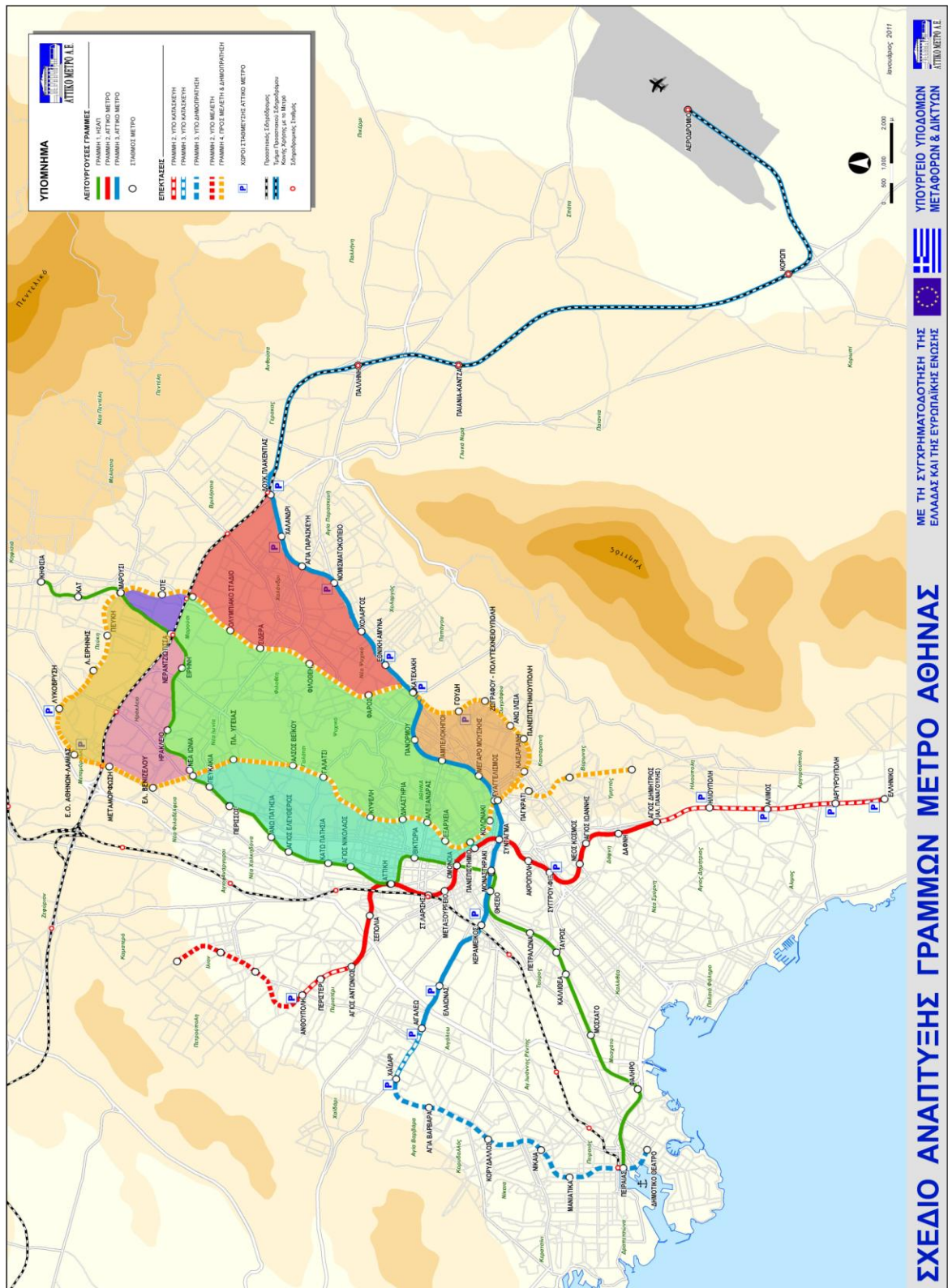
Εικόνα 2-23, Πρόταση για την τροποποίηση-δημιουργία του Βορείου κλάδου

Ακολουθεί η γραφική απεικόνιση της πρότασης για την κυκλική μορφή της Γραμμής 4. Το τελικό σχήμα της κυκλικής χάραξης είναι μία έλλειψη και οφείλεται στη μορφολογία του λεκανοπεδίου της Αττικής.



Εικόνα 2-24, Πρόταση σχεδίου ανάπτυξης γραμμών Μετρό Αθήνας,

## 2.6 Υποδακτύλιοι εξυπηρέτησης



Εικόνα 2-25, Σχέδιο ανάπτυξης μικρότερων δακτυλίων εξυπηρέτησης

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Η γραμμή 4 από το αρχικό σχήμα U, το οποίο είχε, μετατράπηκε σε κυκλική. Συγκρίνοντας τη συγκεκριμένη κυκλική χάραξη με τα πρότυπα των κυκλικών χαράξεων που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 1 εξάγεται το συμπέρασμα ότι ανήκει στην κατηγορία των μεμονωμένων κύκλων (isolated circles).
- Ύστερα από προσεκτική ανάλυση της νέας κυκλικής γραμμής 4 και των σχημάτων που προκύπτουν από τη σχεδίαση της παρατηρείται η ανάπτυξη αρκετών υποδακτυλίων. Οι συγκεκριμένοι υποδακτύλιοι διαιρούν την χάραξη και τη διαχωρίζουν σε μικρότερες ζώνες εξυπηρέτησης. Οι υποδακτύλιοι που προκύπτουν μπορούν να ταξινομηθούν στην κατηγορία των ψευδών κύκλων (false circle)(Εικόνα 2-25).

## 2.7 Χάραξη Γραμμής

Τα βασικά κριτήρια οριζόντιας και κάθετης χάραξης, όπως η ακτίνα καμπυλότητας και οι κλίσεις των σηράγγων αποτέλεσαν τη βάση για τη χάραξη.

### 2.7.1 Οριζόντια χάραξη

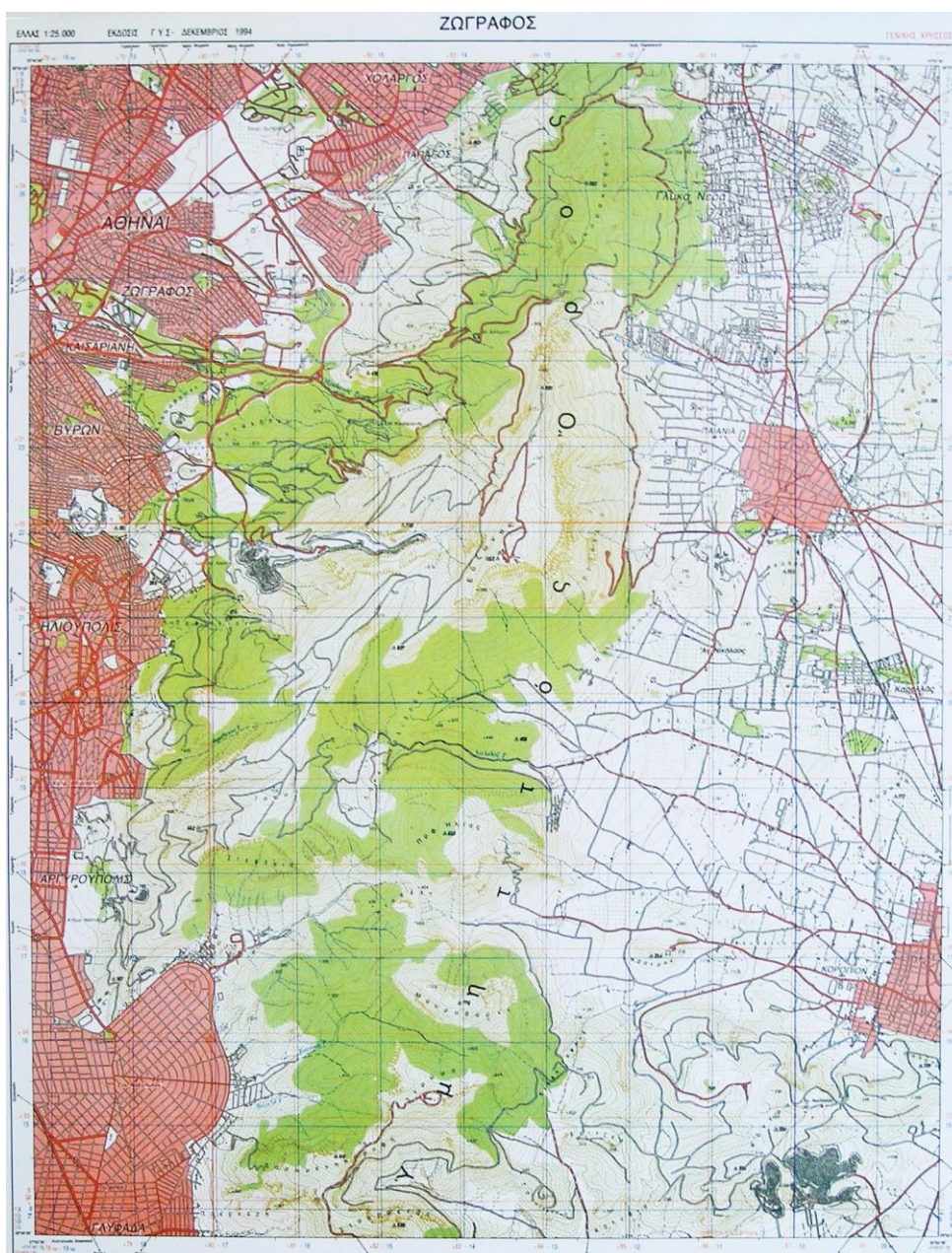
Κατά τη μελέτη της οριζόντιας χάραξης επιδίωξη ήταν η σύνδεση των σταθμών που επιλέχθηκαν να γίνει με τροχιά που η ελάχιστη τιμή της καμπυλότητάς της να περιορίζεται στο όριο των 300 μ. που έχει θέσει η Αττικό Μετρό. Επιπλέον, όπου ήταν δυνατή η χάραξη με τη χρήση μεγάλων ακτινών καμπυλότητας έγινε προσπάθεια για αυτό.

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

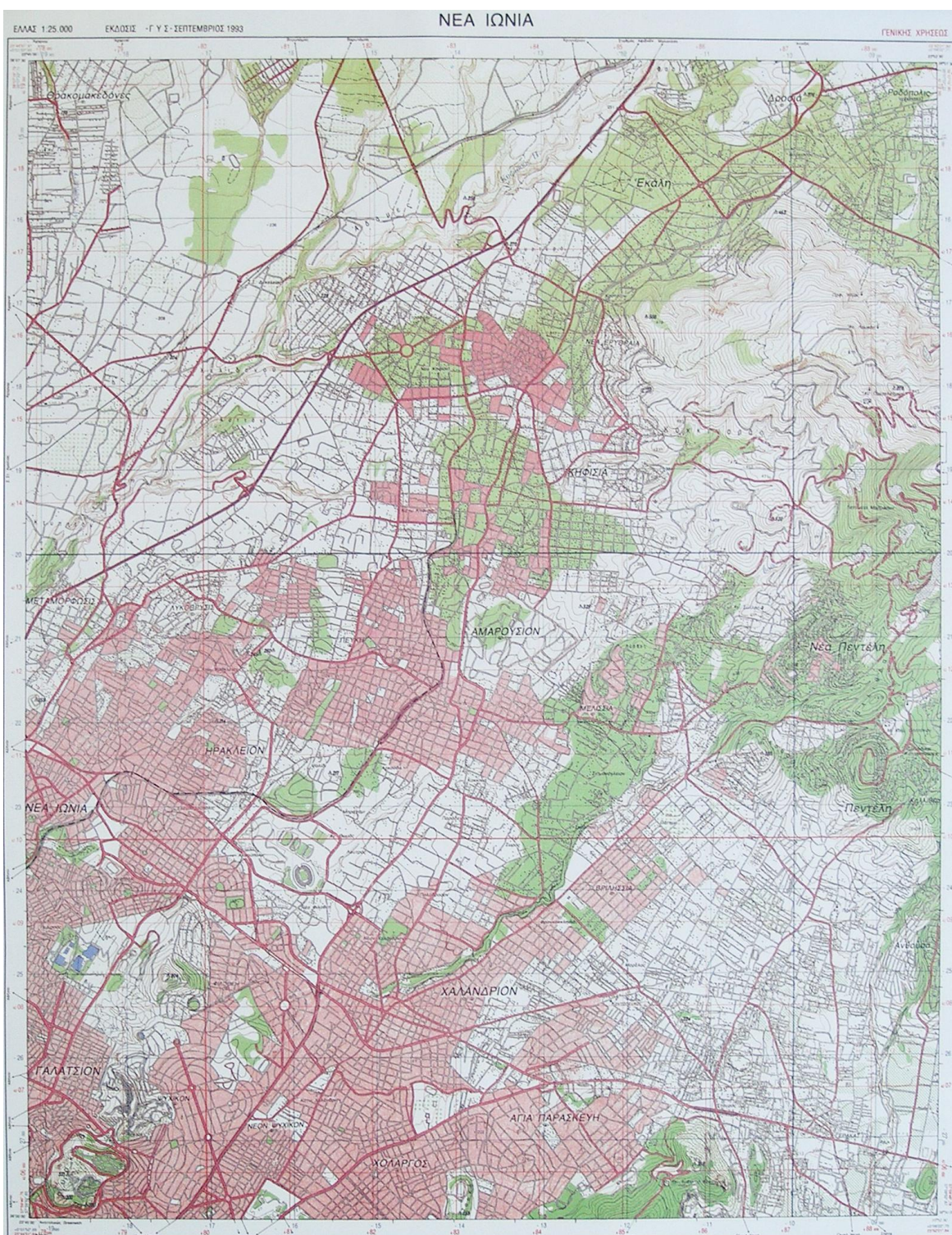
Τα ακριβή σχέδια της χάραξης και των δύο κλάδων παραθέτονται στο παράρτημα σχεδίων.

## 2.7.2 Η μηκοτομή της χάραξης

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται η μηκοτομή της χάραξης καθώς και οι κλίσεις κατα μήκος της γραμμής. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη μελέτη αυτών ήταν η γνώση του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής. Για τη δημιουργία της μηκοτομής μελετήθηκε το ανάγλυφο των περιοχών από τοπογραφικούς χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Εικόνα 2-26, Εικόνα 2-27). Επίσης, πραγματοποιήθηκαν επιτόπου επισκέψεις στις περιοχές που διέρχεται η γραμμή καθώς και στα σημεία όπου έχουν χωροθετηθεί οι σταθμοί.



Εικόνα 2-26, Γενικός χάρτης, Φύλλο Ζωγράφος, Δεκέμβριος 1994  
 Πηγή: Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού



Εικόνα 2-27, Γενικός χάρτης, Φύλλο Νέα Ιωνία, Σεπτέμβριος 1993  
Πηγή: Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού

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

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

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

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

Σκοπός της χάραξης που σχεδιάστηκε ήταν ο συνδυασμός των προτεινόμενων αρχικών σχεδίων με τη διατήρηση των προδιαγραφών της Αττικό Μετρό που αναφέρθηκαν.

Οι μηκοτομές και των δύο κλάδων παραθέτονται στο παράρτημα σχεδίων.

### **2.7.3 Αμαξοστάσιο**

Η υπό μελέτη χάραξη θα εξυπηρετείται από το ήδη χωροθετημένο αμαξοστάσιο της Γραμμής 4, στην περιοχή του Γαλασίου.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΓΕΩΛΟΓΙΑ**



### 3.1 Εισαγωγικά

Η γεωλογική έρευνα είναι η διαδικασία που ακολουθεί μετά τη σχεδίαση της χάραξης μίας νέας γραμμής. Σε πολλές περιπτώσεις η γεωλογία είναι αυτή που καθορίζει την χάραξη μιας γραμμής, καθώς κάποια γεωλογικά στοιχεία καθιστούν εξαιρετικά δύσκολη έως και αδύνατη τη δημιουργία μιας υπόγειας κατασκευής.

Η έρευνα των συγκεκριμένων περιοχών βασίστηκε σε ήδη υπάρχουσες μελέτες για τη γεωλογία της Αττικής, καθώς και σε κάποιες δημοσιευμένες γεωτρήσεις. Δεδομένης της αμετάβλητης φύσης του γεωλογικού υποβάθρου, η πορεία της έρευνας που ακολουθήθηκε είναι αρκετά ακριβής, ανεξάρτητα από την χρονολογική προέλευση των πηγών. Όμως, μία πλήρης γεωτεχνική έρευνα απαιτεί επιπλέον εξειδικευμένες γεωτρήσεις στα σημεία των σταθμών και της χάραξης.

Στο σύνολο τους οι γενικές αρχές μίας γεωτεχνικής έρευνας είναι:

1. η έρευνα γραφείου (θεωρητική έρευνα),
2. η κύρια έρευνα του εδάφους και
3. η έρευνα κατά την κατασκευή.

Η έρευνα γραφείου, η οποία και πραγματοποιήσαμε, είναι η μόνη από τις παραπάνω που δεν απαιτεί νέα έργα για την υλοποίηση της.

Τα στάδια της είναι τα εξής:

- α) συλλογή όλων των διαθέσιμων γεωλογικών και εδαφικών στοιχείων έρευνας κατά μήκος της πορείας της σήραγγας αλλά και από την περιβάλλουσα περιοχή η οποία μπορεί να δώσει περισσότερες πληροφορίες για τις συνθήκες που μπορούν να συνεκτιμηθούν, συμπεριλαμβανομένης και της εμπειρίας από προηγούμενα έργα,
- β) ερμηνεία αυτών των στοιχείων και αρχική ταυτοποίηση των γεωλογικών κινδύνων που μπορούν να εμφανιστούν με την εφαρμογή της μεθόδου
- γ) σχεδιασμός και εξειδίκευση των εδαφικών ερευνών.

### 3.2 Γενική γεωλογία των Αθηνών και της ευρύτερης περιοχής

Το γεωλογικό υπόβαθρο του Λεκανοπεδίου των Αθηνών έχει πολύ ενδιαφέρον για μελέτη. Το ενδιαφέρον αυτό ενισχύεται από την, σε μεγάλο βαθμό, ανισοτροπία και την ανομοιόμορφη συμπεριφορά των σχηματισμών.

Στον ευρύτερο χώρο της Αττικής είναι γνωστή, από τις έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα, η πολυσύνθετη γεωλογική δομή και η ποικιλία των λιθολογικών φάσεων που συναντώνται εκεί. Έχουν διαπιστωθεί ποικίλης συστάσεως ιζηματογενείς σχηματισμοί, με βεβαιωμένη ηλικία από το Λιθανθρακοφόρο μέχρι το Νεογενές, εκρηξιγενή πετρώματα με ευρύ φάσμα μαγματικού τύπου και πετρογένεση (π.χ. πλουτωνίτης γρανοδιοριτικού τύπου με όξινες αποφύσεις, βασικά πετρώματα διαβασικού ή σπιλιτικού τύπου, υπερβασικοί σερπεντινωμένοι περιδοτίτες), διαδικασίες μεταμορφώσεως με ποικίλη ένταση που επηρεάζουν την αρχική δομή του πετρώματος (π.χ. μάρμαρα και μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, αργιλικοί και χλωριτικοί σχιστόλιθοι της φυλλιτικής σειράς), ισχυρές πτυχώσεις, επωθητικές κινήσεις και γενικά έντονος τεκτονισμός.

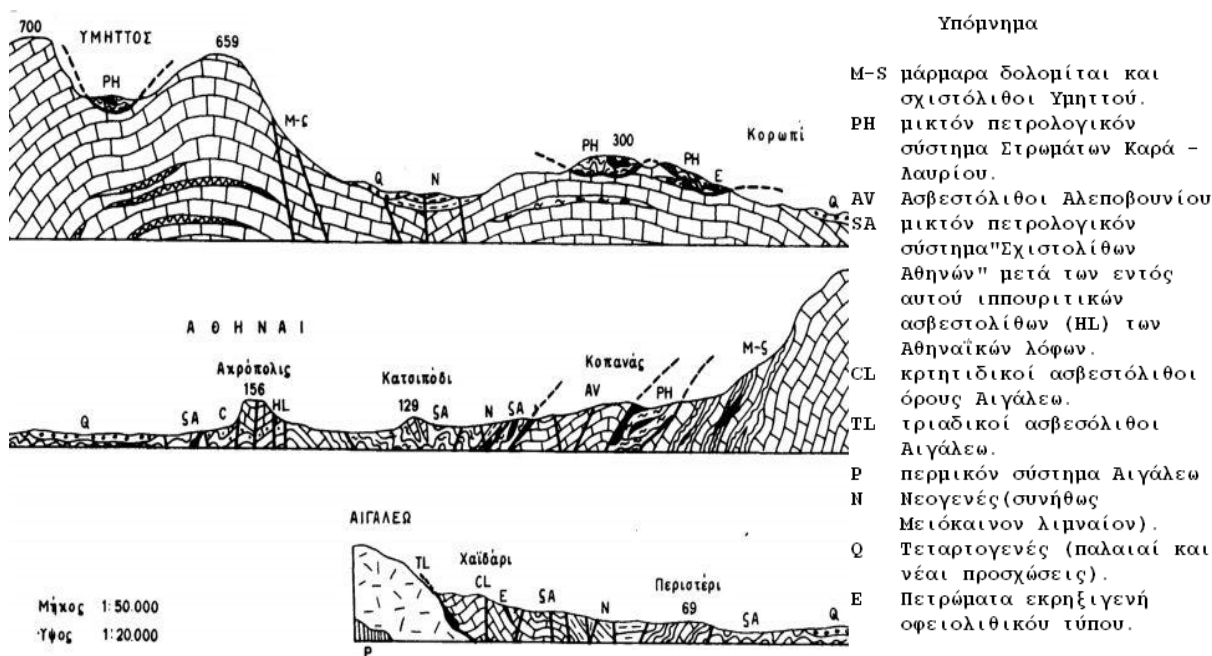
Έτσι, στην ΝΑ Αττική και τη Λαυρεωτική απαντούν οι μεταμορφωμένοι σχηματισμοί της Αττικό-κυκλαδικής μάζας, που μπορούν να διακριθούν σε τρεις κύριους ορίζοντες, οι οποίοι δεν διαχωρίζονται πάντα με σαφήνεια μεταξύ τους:

1. Το κατώτερο μάρμαρο που περιλαμβάνει τους σχιστολίθους της Βάρης στα κατώτερα τμήματα αυτού,
2. Οι σχιστόλιθοι (μαρμαρυγικοί) της Καισαριανής,
3. Το ανώτερο μάρμαρο, που μπορεί να θεωρηθεί σαν ανώτερος ορίζοντας των μαρμαρυγακών σχιστολίθων.

Στην Πάρνηθα είναι γνωστή η σειρά των Άνω Παλαιοζωικών σχηματισμών. Επίσης, στη Νότια Αττική είναι το επωθημένο φυλλιτικό κάλυμμα, κυρίως με σερικιτικούς και χλωριτικούς σχιστολίθους και χαλαζίτες και μικρά ή μεγάλα σώματα μεταμορφωμένων βασικών εκρηξιγενών πετρωμάτων, καθώς και ασβεστόλιθοι ή μάρμαρα σε ενστρώσεις και φακούς μέσα στους φυλλίτες. Η σειρά αυτή είναι γνωστή στο Λεκανοπέδιο με μικρές εμφανίσεις στον Υμηττό, επωθημένες επί των μαρμαρυγακών σχιστολίθων – Καισαριανής.

Για τις μεταλλικές αποθέσεις επισημαίνουμε μόνο την εξάπλωση των Νεογενών στρωμάτων, που κατά θέσεις είναι λιμναίας φάσεως και περιέχουν τα γνωστά λιγνιτικά κοιτάσματα. Τα νεογενή ιζήματα αποτέθηκαν στις εσωτερικές τεκτονικές λεκάνες, που σχηματίστηκαν με την εκδήλωση κατακόρυφων κινήσεων και την καταβύθιση ορισμένων τμημάτων των πτυχωμένων σειρών.

Στο τελευταίο στάδιο έχουμε την απόθεση των ηπειρωτικών φάσεων των τεταρτογενών σχηματισμών, που με ποικίλο πάχος καλύπτουν κατά περιοχές τους παλαιότερους σχηματισμούς και συμβάλλουν σε πολύ σημαντικό βαθμό στη μορφογένεση της ευρείας περιοχής. (πηγή: Αττικό Μετρό)



Σχήμα 3-1, Γεωλογική τομή που τέμνει εγκάρσια το λεκανοπέδιο της Αθήνας από τον Υμηττό μέχρι το Αιγάλεω (Γ. ΜΑΡΙΝΟΣ κ.α. 1971)

Πηγή: Ν. Σαμπατακάκης, Τεχνικογεωλογική έρευνα λεκανοπεδίου Αθηνών.

### 3.3 Γενική τεκτονική δομή

Παρατηρώντας τον τοπογραφικό και το γεωλογικό χάρτη του Λεκανοπεδίου Αθηνών διαπιστώνεται ότι οι ορεογραφικοί άξονες και οι άξονες των επιμέρους λεκανών ακολουθούν σε γενικές γραμμές δύο κύριες διευθύνσεις και πιο συγκεκριμένα τη Βορειοανατολική - Νοτιοδυτική ή τη Βορειοδυτική - Νοτιοανατολική διεύθυνση. Οι δυο αυτές διευθύνσεις ταυτίζονται με τις διευθύνσεις των κύριων τεκτονικών στοιχείων,

δηλαδή με τις διευθύνσεις των αξόνων των πτυχών, των επωθήσεων και των κύριων ρηξιγενών δομών. Εκτός από τις δυο αυτές κύριες διευθύνσεις ορισμένα ρήγματα ακολουθούν τη διεύθυνση ΑΝΑ/κή – ΔΒΔ/κή.

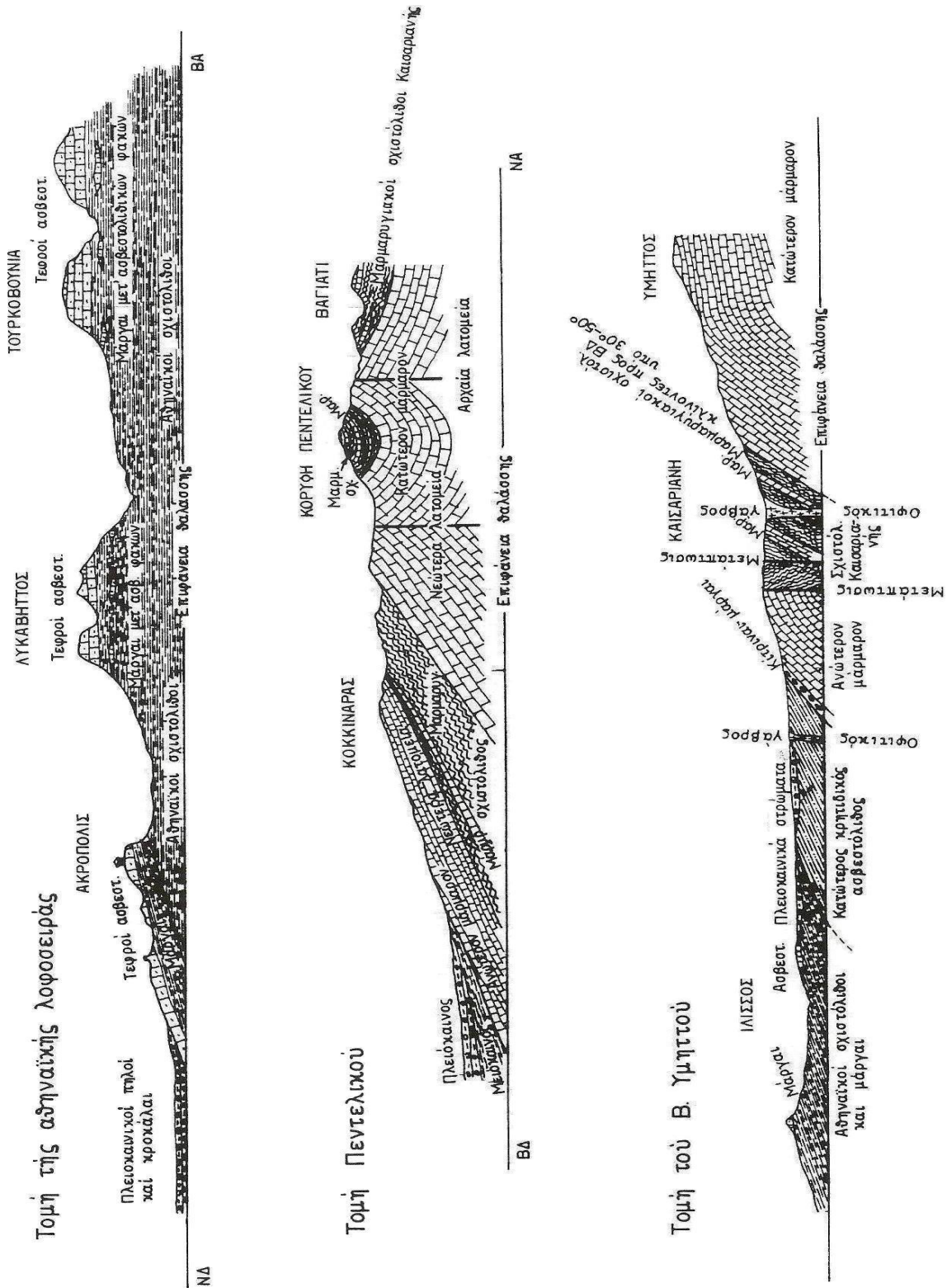
Οι κύριοι ορεινοί όγκοι από τους οποίους περιβάλλεται το λεκανοπέδιο αποτελούν ο καθένας μια χωριστή τεκτονική ενότητα όπως αναφέρεται πιο κάτω:

- Η οροσειρά του Υμηττού αποτελεί ένα όρθιο ανοικτό αντίκλινο του οποίου ο άξονας έχει διεύθυνση ΒΒΑ – ΝΝΔ και βυθίζεται προς τα ΒΒΑ.
- □ Το Πεντελικό όρος και οι γύρω πρόβουνοι αποτελούν στο σύνολο τους, και κάπως απλοποιημένα, ένα αντικλινόριο, του οποίου ο άξονας έχει διεύθυνση ΒΑκή – ΝΔκή. Υπάρχουν βέβαια και οι ανοικτές μακροπτυχές των οποίων οι άξονες έχουν διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ αλλά η γενική εικόνα είναι αυτή που αναφέρθηκε προηγούμενα.
- □ Η οροσειρά της Πάρνηθας αποτελεί επίσης στο σύνολό της ένα αντίκλινο μεγάλης καμπυλότητας, του οποίου ο άξονας έχει διεύθυνση ΒΑκή – ΝΔκή και βυθίζεται προς τα ΝΔ. Το αντίκλινο αυτό έχει προβληθεί από πολλά εγκάρσια ρήγματα και έχει επωθηθεί πάνω στο μεταμορφωμένο υπόβαθρο της Αττικής. Το βορειοδυτικό σκέλος παρουσιάζει μικρότερη κλίση από το νοτιοανατολικό και κατά συνέπεια καταλαμβάνει μεγαλύτερη επιφανειακή έκταση από το απότομο νοτιοανατολικό σκέλος που βυθίζεται προς τη λεκάνη δηλαδή προς νοτιοανατολικά.
- Το όρος Αιγάλεω αποτελεί κανονικό αντίκλινο του οποίου ο άξονας έχει διεύθυνση ΒΑ – ΝΔ.
- □ Η λεκάνη των Αθηνών έχει διεύθυνση επίσης ΒΑ – ΝΔ και αποτελεί σε γενικές γραμμές μια τεκτονική τάφρο. Τα ρήγματα των παρυφών πρέπει να έγιναν πριν από το Άνω Μειόκαινο και δραστηριοποιήθηκαν κατά καιρούς τουλάχιστον μέχρι και το Πλειόκαινο.

Η λεκάνη διασχίζεται και από άλλα κύρια ρήγματα διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ όπως εκείνα μεταξύ Υμηττού και Πεντελικού όρους καθώς και βορειότερα.

Η ρηξιγενής τεκτονική χαρακτηρίζεται από τρεις κύριες διευθύνσεις, τη ΒΑ – ΝΔ, τη ΒΔ – ΝΑ και τη ΔΒΔ – ΑΝΑ. Μέσα στη λεκάνη τα ρήγματα δε φαίνονται, αν και πιστεύεται ότι υπάρχουν αρκετά. Όμως, στις παρυφές της λεκάνης και στους ορεινούς όγκους που την

περιβάλλον φαίνονται καλύτερα και ασφαλώς παίζουν σημαντικό ρόλο στην υπόγεια ροή του νερού. (πηγή: Σαμπατακάκης, 1991)



Σχήμα 3-2, Γεωλογικές τομές σε διάφορες περιοχές του Λεκανοπεδίου (R. LEPSIUS 1893)  
 Πηγή: Ν. Σαμπατακάκης, Τεχνικογεωλογική έρευνα λεκανοπεδίου Αθηνών.

### 3.4 Στρωματογραφία

Στη συνέχεια περιγράφονται οι λιθολογικοί τύποι, που συμμετέχουν στη σύσταση της περιοχής και γίνεται ανάλυση της στρωματογραφίας και της τεκτονικής αυτής. Στοιχεία για το πάχος επικαλύψεως του υποβάθρου ελήφθησαν κυρίως από τις γεωλογικές τομές των γεωτρήσεων του Μετρό Αθηνών.

#### Αθηναϊκοί σχιστόλιθοι

Στον χώρο σημειώνουν σημαντική εξάπλωση, αποτελούν δε (έως ένα σημαντικό τουλάχιστον βάθος) τους κατώτερους ορίζοντες στη στρωματογραφική σειρά του Λεκανοπεδίου των Αθηνών.

Θεωρούνται αυτόχθονες σχηματισμοί (Ανωκρητιδικής πιθανόν ηλικίας) και εντάσσονται στην ιζηματογενή σειρά της γεωτεκτονικής ζώνης Ανατολικής Ελλάδας (Υποπελαγονικής). Λιθολογικώς το σύστημα των Αθηναϊκών Σχιστολίθων αποτελείται κυρίως από αργιλικούς σχιστολίθους, ψαμμίτες, μάργες, πυριτόλιθους, χαλαζίτες και ασβεστολίθους. Ενίοτε οι σχηματισμοί αυτοί, λόγω ασθενούς μεταμορφώσεως, γίνονται χλωριτικοί, σερικιτικοί σχιστόλιθοι και φυλλίτες.

Με σαφή σύνδεση προς την διάπλαση των Αθηναϊκών Σχιστολίθων απαντούν εμφανίσεις έκχυτων, υποηφαιστειακών πετρωμάτων υπό μορφή μικρών μαζών. Πετρολογικώς επικρατούν οι διαβάσες, σπιλίτες και σερπεντινωμένοι περιδοτίτες. Οι σχηματισμοί των Αθηναϊκών Σχιστολίθων είναι τεφροί – τεφρό-πράσινοι, πάντοτε λεπτοστρωματώδεις και εύθρυπτοι. Εμφανίζονται δε συνήθως διερρηγμένοι και κερματισμένοι, συχνά δε ισχυρώς αποσαθρωμένοι. Κατά κανόνα τα στρώματα των Αθηναϊκών Σχιστολίθων είναι πτυχωμένα με άξονα, ο οποίος λόγω της πλαστικότητας του πετρώματος και των ισχυρών τεκτονικών πιέσεων, εμφανίζει συχνά κάμψεις.

Το συνολικό πάχος του συστήματος των Αθηναϊκών Σχιστολίθων δεν έχει μέχρι τώρα επακριβώς προσδιορισθεί (κατά τον Lepsius το πάχος αυτό υπερβαίνει τα 200m).

#### Ψαμμιτομαργαϊκοί σχηματισμοί

Οι σχηματισμοί αυτοί αναπτύσσονται κυρίως στους λόφους των Αθηνών (Λυκαβηττός, Τουρκοβούνια, Ακρόπολις, Φιλοπάππου κλπ) επίκεινται απ' ευθείας του συστήματος του



Αθηναϊκού Σχιστολίθου, με πάχος που κυμαίνεται συνήθως από 5 έως 30m. Αποτελούνται δε από εναλλασσόμενα στρώματα μαργών, ψαμμιτών, πλακωδών ασβεστολίθων και λατυπόκροκαλοπαγών με επικράτηση κατά θέσεις των μαργαϊκών στρωμάτων.

Προς τους ανώτερους ορίζοντες του σχηματισμού, τα ψαμμιτομαργαϊκά στρώματα εναλλάσσονται με τους πλακώδεις μαργαϊκούς ασβεστολίθους και σχηματίζεται έτσι μια ενδιάμεση ζώνη μεταβάσεως μεταξύ της κλαστικής φάσεως και της ανθρακικής, η οποία ακολουθεί. Μετά την εν λόγω μεταβατική ζώνη, η ανθρακική ιζηματογένεση διατηρείται σταθερά αμιγής.

### Άστρωτοι Ασβεστόλιθοι

Τα ασβεστολιθικά στρώματα πάχους 50 – 150m σχηματίζουν τους λόφους του Λεκανοπεδίου των Αθηνών, υπέρκεινται του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου και βρίσκονται σε κανονική επαφή με αυτόν. Η σχέση αυτή είναι καλώς ορατή στους περισσότερους λόφους των Αθηνών.

Πρόκειται συνήθως περί τεφρών έως τεφρό-φαιών, συχνά κλαστικών, υποκρυσταλλικών ασβεστολίθων, οι οποίοι κατά κανόνα είναι άστρωτοι ως μαζώδεις ή σπανιότερα παχυστρωματώδεις.

Από πλευράς ηλικίας σχηματισμού, οι ασβεστόλιθοι ανήκουν μετά βεβαιότητας στην Άνω Κρητιδική.

### Μεταλλικοί σχηματισμοί

Επί των ως άνω σχηματισμών του υποβάθρου συναντώνται οι μεταλλικοί σχηματισμοί, οι οποίοι όπως προαναφέρθηκε, αποτελούνται από Νεογενή Ιζήματα και Τεταρτογενείς Αποθέσεις.

### Νεογενή ιζήματα

Αποτελούνται από λίμνο-θαλάσσιους και θαλάσσιους σχηματισμούς εναλλασσόμενους μεταξύ τους. Πετρολογικώς τα Νεογενή Ιζήματα συνίστανται κυρίως από στρώματα μαργών, μαργαϊκών ασβεστολίθων και κροκαλοπαγών. Η ηλικία των σχηματισμών αυτών είναι παλαιοντολογικός αποδεδειγμένη, Κάτω Πλειοκαινική. Τα στρώματα του Νεογενούς,

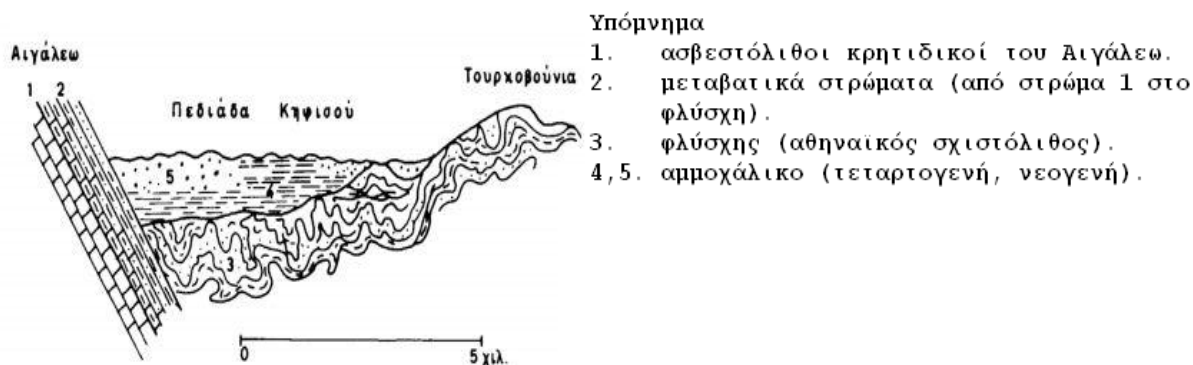
που αναπτύσσονται στο Λεκανοπέδιο των Αθηνών πιστεύεται ότι έχουν πάχος περίπου 100 – 150m, αν και το μέσο πάχος αυτών μπορεί να είναι πολύ μικρότερο, οφειλόμενο στην ακανόνιστη διερρηγμένη και διαβρωμένη υποκείμενη επιφάνεια του υποβάθρου.

### Τεταρτογενείς αποθέσεις

Καταλαμβάνουν όλη την πεδινή έκταση της Λεκάνης των Αθηνών υπό μορφή διλουβιακών και αλλουβιακών αποθέσεων.

Οι αποθέσεις αυτές συνδέονται γενικώς με τη μορφολογική εξέλιξη της περιοχής, δεδομένου ότι σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια και μετά τον τελευταίο τεκτονισμό, αυτής και επί των οποίων επέδρασαν κατακόρυφες μόνο κινήσεις μικρής εντάσεως. Πρόκειται συνήθως περί αποθέσεων χερσαίας και ποτάμιας φάσεως, που περιλαμβάνουν κυρίως άμμο-ιλύ, χαλίκια και κροκάλες.

Το πάχος των χαλαρών αυτών σχηματισμών δεν κατέστη δυνατό να εκτιμηθεί από τα συγκεντρωθέντα στοιχεία, αναμένεται πάντως να είναι της τάξεως των ολίγων μέτρων, έως 3 – 4 δεκάδων μέτρων. (πηγή: Αττικό Μέτρο)



Σχήμα 3-3, Σχηματική τομή (Η.ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΪΔΗ, Π.ΧΩΡΙΑΝΟΠΟΥΛΟΣ 1979)  
 Πηγή: Ν. Σαμπατακάκης, Τεχνικογεωλογική έρευνα λεκανοπεδίου Αθηνών.

### 3.5 Γεωτεχνική Έρευνα

Μία γεωτεχνική έρευνα περιλαμβάνει την αναγνώριση της περιοχής, ένα πρόγραμμα γεωτρήσεων, ειδικές έρευνες και συγκεκριμένες εργαστηριακές δοκιμές. Η γεωτεχνική έρευνα αποτελεί τον κορμό για μία σωστή σχεδίαση και μία άρτια κατασκευή της σήραγγας.

#### 3.5.1 Φυσικο-Μηχανικά χαρακτηριστικά

##### 3.5.1.1 Φυσικά χαρακτηριστικά

Ο προσδιορισμός των φυσικών χαρακτηριστικών των εδαφικών σχηματισμών είναι απαραίτητος τόσο στην επίλυση συγκεκριμένων γεωτεχνικών προβλημάτων όσο και στην κατανόηση της ιδιάζουσας συμπεριφοράς ορισμένων από αυτούς. Τα φυσικά χαρακτηριστικά επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τη μηχανική συμπεριφορά των σχηματισμών. Τα φυσικά χαρακτηριστικά που αναφέρονται είναι:

Για εδάφη:

- Όρια ATTERBERG και συγκεκριμένα το όριο υδαρότητας (WL) και ο δείκτης πλαστικότητας (IP) που εξαρτώνται άμεσα από το έδαφος και το ποσοστό των αργιλικών ορυκτών του εδαφικού σχηματισμού. Με βάση τα όρια ATTERBERG και την κοκκομετρική διαβάθμιση των διάφορων εδαφικών σχηματισμών γίνεται ταξινόμηση κάθε εδαφικής γεωτεχνικής τομής μίας γεώτρησης σύμφωνα με το Ενοποιημένο Σύστημα Ταξινόμησης Εδαφών (U.S.C.S).
- Φυσική υγρασία (W) που ορίζεται ως ο λόγος του βάρους του περιεχόμενου νερού στο εδαφικό δείγμα προς το ξηρό βάρος του και εκφράζεται επί τοις εκατό.
- Λόγος κενών (e) που ορίζεται ως ο λόγος του όγκου των πόρων του εδαφικού δείγματος προς τον όγκο της συμπαγούς μάζας του.

Για βράχους:

- Ξηρή πυκνότητα ( $\rho_d$ ). Η πυκνότητα (ή το φαινόμενο βάρος) ενός πετρώματος ορίζεται ως η μάζα που περιέχεται στη μονάδα όγκου του πετρώματος. Εξαρτάται από την ορυκτολογική σύσταση (σκελετό του πετρώματος), τους πόρους και το νερό που περιέχουν.

### 3.5.1.2 Μηχανικά χαρακτηριστικά

Για τον προσδιορισμό της μηχανικής συμπεριφοράς των εδαφικών σχηματισμών πραγματοποιούνται εργαστηριακές δοκιμές, που καλύπτουν σχεδόν το σύνολο των κλασικών δοκιμών εδαφομηχανικής και βραχομηχανικής.

Στις επί τόπου δοκιμές αναφέρεται η δοκιμή πρότυπης διείσδυσης (SPT-TERZAGHI), τα αποτελέσματα της οποίας λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της διάτρησης με τη χρήση του γεωτρήπανου. Αυτή γίνεται με ειδικό διαιρετό δειγματολήπτη που εισχωρεί στο έδαφος μετά από πρόσκρουση τυποποιημένου βάρους (140 LB) που πέφτει ελεύθερα από σταθερό ύψος (30 ιντσών). Η αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση, εκφράζεται με τον αριθμό κρούσεων NSPT, που απαιτείται για να διεισδύσει ο δειγματολήπτης 30 cm στο έδαφος.

Στις εργαστηριακές δοκιμές αναφέρονται:

#### Για εδάφη:

- Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη ( $q_u$ ).
- Δοκιμή σε τριαξονική θλίψη για τον προσδιορισμό των παραμέτρων διατμητικής αντοχής (συνοχή και γωνία τριβής).
- Δοκιμή συμπίεστικότητας (στερεοποίηση).

#### Για πετρώματα:

- Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη ( $\sigma_c$ ) που αποτελεί άμεσο τρόπο προσδιορισμού της αντοχής του ακέραιου πετρώματος. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής αυτής είναι δυνατό να προσδιοριστούν οι ελαστικές σταθερές του πετρώματος, δηλαδή το μέτρο ελαστικότητας ( $E_L$ ) και ο λόγος του Poisson ( $\nu$ ).
- Δοκιμή κατά γενέτειρα (Brazilian test) ( $\sigma_t$ ). Με τη δοκιμή αυτή γίνεται ένας έμμεσος προσδιορισμός της αντοχής των πετρωμάτων σε εφελκυσμό.
- Αντοχή σε σημειακή φόρτιση (point loading test) που μετρά την αντοχή ενός πετρώματος στην εφαρμογή μιας αντιδιαμετρικά ασκούμενης δύναμης από δύο κωνικά άκρα απλής συσκευής. Κατά την εκτέλεση της δοκιμής προσδιορίζεται ο δείκτης σημειακής φόρτισης,  $I_s$ , και στη συνέχεια ο δείκτης αυτός που αντιστοιχεί σε ισοδύναμη διάμετρο δοκιμίου 50 χιλ.,  $I_{s(50)}$ , με τη χρήση εμπειρικών νομογραφημάτων. Η δοκιμή αυτή αποτελεί ένα γρήγορο και έμμεσο τρόπο προσδιορισμού της αντοχής του ακέραιου πετρώματος.

- Τέλος, η δοκιμή σκληρότητας, με τη χρήση του σφυριού αναπήδησης (Schmidt) τύπου L, (SHV). Οι μετρήσεις γίνονται άμεσα κατά την εκτέλεση της δοκιμής, στην ειδικά βαθμολογημένη κλίμακα του σφυριού. Η τιμή της σκληρότητας που υπολογίζεται για κάθε πέτρωμα σε συνδυασμό με την ξηρή πυκνότητα του πετρώματος δίνει κατ'έκτιμηση την αντοχή του σε ανεμπόδιστη θλίψη, με τη χρήση ειδικού διαγράμματος.

### **3.6 Γεωλογικοί σχηματισμοί - Φυσικο-μηχανικά χαρακτηριστικά**

Σε αυτήν την παράγραφο παρατίθενται γεωλογικοί χάρτες του λεκανοπεδίου των Αθηνών, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που πρόκειται να συναντηθούν κατά την κατασκευή, καθώς και το εύρος τιμών των φυσικο-μηχανικών χαρακτηριστικών τους.

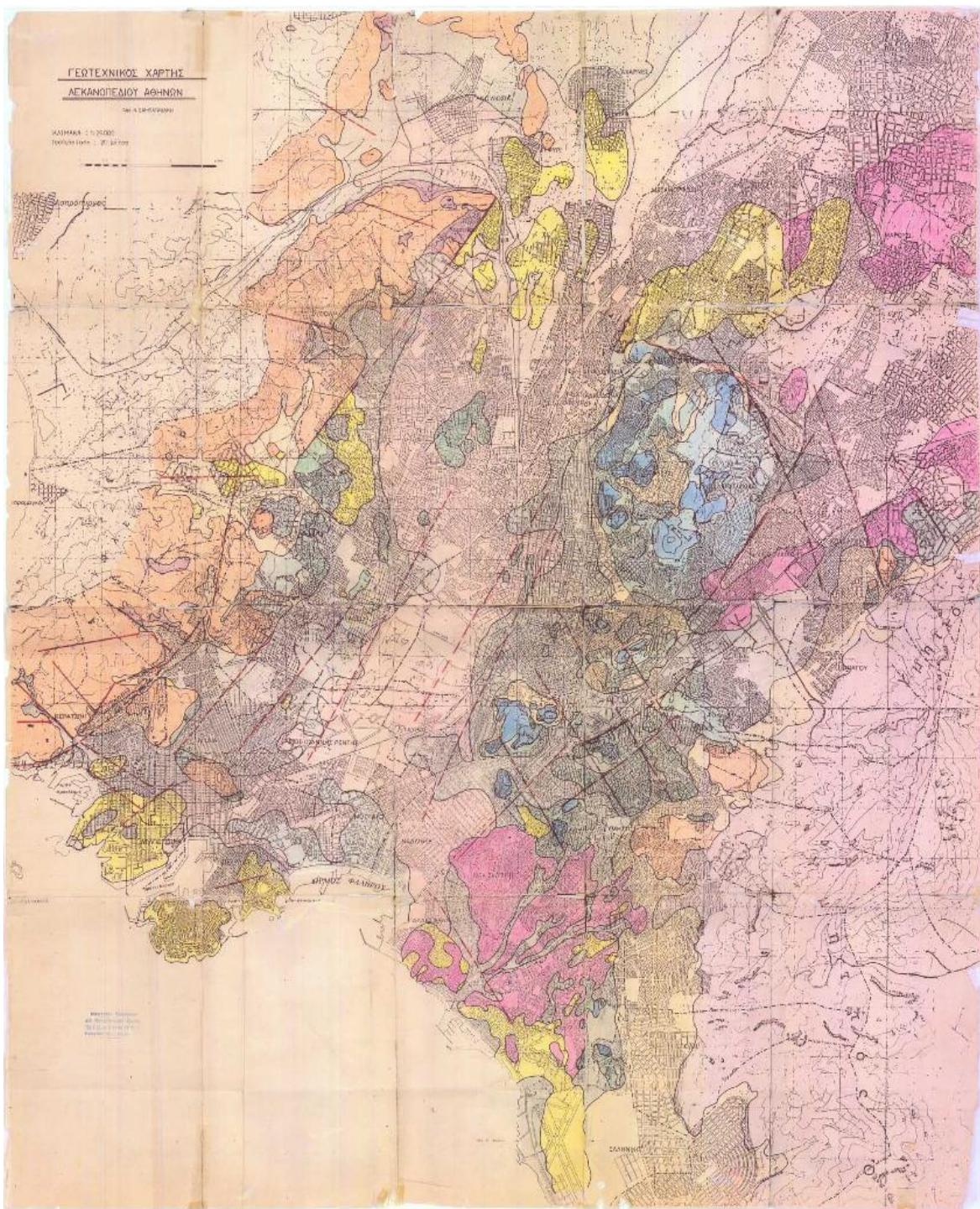
#### **3.6.1 Γεωλογικοί χάρτες**

Στη συνέχεια παρατίθενται τρεις γεωλογικοί χάρτες του λεκανοπεδίου με βάση τους οποίους μπορούν να γίνουν εκτιμήσεις των γεωλογικών σχηματισμών που πρόκειται να συναντηθούν κατά μήκος της χάραξης της νέας γραμμής:

- Γεωτεχνικός χάρτης λεκανοπεδίου Αθηνών από Ν. Σαμπατακάκη (Εικόνα 3-1)
- Γεωλογικός χάρτης της πόλεως των Αθηνών από Τ.Ε.Ε. (Εικόνα 3-2)
- Γεωλογικός χάρτης Αττικής από Γ. Παπαδέα (Εικόνα 3-3)

Δεδομένου του μικρού βάθους της σήραγγας (υπερκείμενο 12 μ.) οι γεωλογικοί σχηματισμοί που θα συναντηθούν δεν αναμένεται να διαφέρουν σημαντικά από αυτούς που παρατηρούνται στην επιφάνεια με βάση τα στοιχεία του χάρτη.

Η επαλήθευση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τα παραπάνω, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων που ακολουθούν παρακάτω μπορούν να δώσουν χρήσιμα συμπεράσματα για τη γεωλογία κατά μήκος της χάραξης.



Εικόνα 3-1, Γεωλογικός χάρτης λεκανοπεδίου Αθηνών Ν.ΣΑΜΠΙΑΤΑΚΑΚΗΣ

### 3.6.2 Βόρεια Χάραξη - Γεωλογικοί Σχηματισμοί

Σύμφωνα με τον χάρτη του Ν.Σαμπατακάκη οι σχηματισμοί που πρόκειται να συναντηθούν είναι οι εξής:

#### 3.6.2.1 Μαργαϊκοί σχηματισμοί

Ιζηματογενείς Νεογενείς σχηματισμοί θαλάσσιας ή παράκτιας φάσης, μέγιστου πάχους που υπερβαίνει τα 150m. Περιλαμβάνονται αργιλικές μάργες με ενστρώσεις κροκαλοπαγών, ψαμμιτικών και μαργαϊκών ασβεστολίθων στα κατώτερα μέλη και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι στα ανώτερα τοπικά κοιτάσματα λιγνιτών (Καλογρέζα, Μεταμόρφωση). Είναι δυνατή η ανάπτυξη υδροφόρων οριζόντων υπό πίεση κυρίως στα κροκαλοπαγή και τους ψαμμίτες.

α) Μάργες: καστανοκίτρινες, λευκοκίτρινες, καστανότεφρες, τεφρές, καστανέρυθρες, πολύ στιφρές-σκληρές, κυρίως αργιλικές που ταξινομούνται σαν άργιλοι μέσης και υψηλής πλαστικότητας ( CL και CH ). Η υποτιθέμενη τάση θεμελίωσης υπερβαίνει τα 300kPa. Προβλήματα διόγκωσης, χαλάρωσης και απώλεια αντοχής με την επίδραση του περιβάλλοντος.

Πίνακας 3-1, Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά μαργών  
CL: Ανόργανη ιλύς, ιλυώδης ή αργιλώδης άργιλος χαμηλής πλαστικότητας

Αστράγγιστη διατμητική αντοχή (kPa)	<b>C<sub>u</sub></b>	35 – 170 kPa
Γωνία τριβής (μοίρες)	<b>φ</b>	6 – 20°
Δοκιμή πρότυπης διείσδυσης (αριθμός κρούσεων για διείσδυση 30 cm)	<b>N<sub>SPT</sub></b>	>50
Όριο υδαρότητας (%)	<b>W<sub>L</sub></b>	28.5 – 49%
Δείκτης πλαστικότητας (%)	<b>I<sub>p</sub></b>	12 – 31%
Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (kPa)	<b>q<sub>u</sub></b>	115 – 770kPa
Δείκτης συμπίεστότητας	<b>C<sub>c</sub></b>	0.05 – 0.25
Φυσική υγρασία (%)	<b>W</b>	12 – 30%
Λόγος κενών	<b>e</b>	0.30 – 0.80

Πίνακας 3-2, Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά μαργών  
CH: Ανόργανη ιλύς υψηλής πλαστικότητας

Δοκιμή πρότυπης διείδυσης (αριθμός κρούσεων για διείδυση 30 cm)	<b>N<sub>SPT</sub></b>	>50
Όριο υδαρότητας (%)	<b>W<sub>L</sub></b>	51 – 78%
Δείκτης πλαστικότητας (%)	<b>I<sub>p</sub></b>	25 – 56%
Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη (kPa)	<b>q<sub>u</sub></b>	135 – 1080 kPa
Δείκτης συμπίεστότητας	<b>C<sub>c</sub></b>	0.06 – 0.39
Φυσική υγρασία (%)	<b>W</b>	14 – 35%
Λόγος κενών	<b>e</b>	0.45 – 1.90

β) Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι: Λευκοκίτρινοι, καστανοκίτρινοι, μαλακοί- μέτρια σκληροί, πολύ χαμηλής-μέσης αντοχής, μέτριας ανθεκτικότητας, υψηλού πορώδους.

Πίνακας 3-3, Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά μαργαϊκών ασβεστολίθων

Σκληρότητα (ένδειξη σφυριού Schmidt – L)	<b>SHV</b>	2 – 31
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (kPa)	<b>σ<sub>c</sub></b>	2.5 – 48.5 MPa
Δείκτης σημειακής φόρτισης (MPa)	<b>I<sub>s(50)</sub></b>	0.8 – 6.5 Mpa
Ξηρή πυκνότητα (KN/m <sup>3</sup> )	<b>ρ<sub>d</sub></b>	16.5 – 23.5 KN/m <sup>3</sup>
Δείκτης αποσάθρωσης (HAMROL) (%)	<b>i<sub>1</sub></b>	2.1 – 23.3%
Δείκτης χαλάρωσης (%)	<b>I<sub>d2</sub></b>	33.3 – 98.6%
Ταχύτητα διαμήκων κυμάτων (m/sec)	<b>V<sub>p</sub></b>	1710 – 2850 m/sec
Συνολικό πορώδες (%)	<b>n</b>	6.0 – 40.0%

γ) Δολομιτικοί ασβεστόλιθοι: καστανόλευκοι, καστανότεφροι, μαλακοί- μέτριας σκληρότητας, χαμηλής- υψηλής αντοχής, μέτριας- πολύ υψηλής ανθεκτικότητας, υψηλής- μέσης παραμορφωσιμότητας και υψηλού πορώδους, με χαρακτηριστική κυψελώδη υφή.

Πίνακας 3-4, Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά δολομιτικών ασβεστολίθων

Σκληρότητα (ένδειξη σφυριού Schmidt – L)	<b>SHV</b>	16 – 44
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (kPa)	<b>σ<sub>c</sub></b>	8.5 – 87.0 MPa
Εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας που αντιστοιχεί στα 50% της αντοχής (GPa)	<b>E<sub>L</sub></b>	11 – 18 GPa
Αντοχή σε εφελκυσμό (MPa)	<b>σ<sub>t</sub></b>	1.6 – 10.6 MPa
Δείκτης σημειακής φόρτισης (MPa)	<b>I<sub>s(50)</sub></b>	0.5 – 9.5 Mpa
Ξηρή πυκνότητα (KN/m <sup>3</sup> )	<b>ρ<sub>d</sub></b>	15.0 – 27.5 KN/m <sup>3</sup>
Δείκτης αποσάθρωσης (HAMROL) (%)	<b>i<sub>1</sub></b>	5.0 – 16.5%



Δείκτης χαλάρωσης (%)	<b>I<sub>d2</sub></b>	74.5 – 99.5%
Συνολικό πορώδες (%)	<b>n</b>	2.0 – 37.5%

**Κροκαλοπαγή:** σύμμικτα, καλά συγκολλημένα με ψαμμιτομαργαϊκή συνδετική ύλη καστανού-καστανοκίτρινου χρώματος, χαμηλής μέχρι μέσης αντοχής.

Πίνακας 3-5, Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά κροκαλοπαγών

Σκληρότητα (ένδειξη σφυριού Schmidt – L)	<b>SHV</b>	24 – 30
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (kPa)	<b>σ<sub>c</sub></b>	5.0 – 41.5 MPa
Αντοχή σε εφελκυσμό (MPa)	<b>σ<sub>t</sub></b>	0.4 – 3.0 MPa
Δείκτης σημειακής φόρτισης (MPa)	<b>I<sub>s(50)</sub></b>	0.5 – 2.5 MPa
Ξηρή πυκνότητα (KN/m <sup>3</sup> )	<b>ρ<sub>d</sub></b>	22.5 – 25.5 KN/m <sup>3</sup>

### 3.6.2.2 Σχιστομαργαϊκή σειρά πετρωμάτων

Ιζηματογενείς Ανωκρητιδικοί σχηματισμοί φλυσχοειδούς τύπου μέγιστου πάχους που υπερβαίνει τα 100m. Περιλαμβάνονται εναλλαγές μαργαϊκών ασβεστολίθων, ψαμμιτών, κροκαλολατυποπαγών και σκληρών μαργών. Αποτελούν τον ανώτερο ορίζοντα του συστήματος των Αθηναϊκών σχιστολίθων, όπου επικρατεί η ασβεστομαργαϊκή φάση. Το σύνολο εμφανίζεται ημιδιαπερατό μέχρι διαπερατό με την παρουσία συχνών στεγανών διαφραγμάτων (ενστρώσεις μαργών). Παρουσιάζουν υψηλές υποτιθέμενες τάσεις θεμελίωσης.

α) **Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι:** ερυθροκίτρινοι- κιτρινότεφροι, χαμηλής μέχρι υψηλής αντοχής που παρουσιάζουν ανακρυστάλλωση και μερική σχιστότητα.

Πίνακας 3-6, Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά μαργαϊκών ασβεστολίθων

Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (kPa)	<b>σ<sub>c</sub></b>	4.0 – 66.5 MPa
Εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας που αντιστοιχεί στα 50% της αντοχής (GPa)	<b>E<sub>L</sub></b>	3.5 – 16.0 GPa
Ξηρή πυκνότητα (KN/m <sup>3</sup> )	<b>ρ<sub>d</sub></b>	23.5 – 25.5 KN/m <sup>3</sup>

β) **Κροκαλολατυποπαγή:** ασβεστολιθικά, χαμηλής μέχρι υψηλής αντοχής, με ασβεστόμαργαϊκή συνδετική ύλη, κατά θέσεις σχιστοποιημένα.

Πίνακας 3-7, Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά κροκαλολατυποπαγών

Σκληρότητα (ένδειξη σφυριού Schmidt – L)	<b>SHV</b>	20 – 39
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (kPa)	<b><math>\sigma_c</math></b>	3.0 – 50.5 MPa
Ξηρή πυκνότητα (KN/m <sup>3</sup> )	<b><math>\rho_d</math></b>	22.5 KN/m <sup>3</sup>

γ) Μάργες: καστανοκίτρινες-τεφροκίτρινες, σκληρές ( $N_{SPT} > 50$ ) ψαμμιτικές.

δ) Ψαμμίτες: καστανότεφροι, τεφροπράσινοι, μεσο-λεπτόκοκκοι.

### 3.6.2.3 Αποθέσεις μικτών φάσεων με επικράτηση των αδρομερών

Καστανές-καστανότεφρες, αργιλώδεις άμμοι-αμμάργιοι (SC), αργιλο-ιλυώδη χαλίκια (GC, GM, GC-GM), καθώς και στιφρές, μέσης πλαστικότητας, αμμώδεις άργιοι (CL) και αμμοϊλίες (SM-SC). Είναι παλαιότερες ποταμοχερσαίες Τεταρτογενείς αποθέσεις (Διλουβιακές) μέγιστου πάχους 15m περίπου, που παρουσιάζουν αυξημένη υδροπερατότητα και αναπτύσσουν πτωχούς γενικά υδροφόρους ορίζοντες κυρίως στην επαφή τους με το υπόβαθρο. Είναι γενικά αποθέσεις χαλαρές μέχρι μέτρια συνεκτικές που οι μηχανικοί χαρακτήρες μεταβάλλονται τοπικά και παρουσιάζουν καλή σχετικά συμπεριφορά σαν εδάφη θεμελίωσης που υπερβαίνει τα 150 kPa.

Πίνακας 3-8, Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά μικτών φάσεων με επικράτηση αδρομερών CL: Ανόργανη ιλύς, ιλυώδης ή αργιλώδης άργιλος χαμηλής πλαστικότητας

Αστράγγιστη διατμητική αντοχή (kPa)	<b>Cu</b>	30 – 40 kPa
Γωνία τριβής (μοίρες)	<b><math>\varphi</math></b>	7 – 30°
Δοκιμή πρότυπης διείδυσης (αριθμός κρούσεων για διείδυση 30 cm)	<b><math>N_{SPT}</math></b>	15 - >50
Όριο υδαρότητας (%)	<b>W<sub>L</sub></b>	20 – 34%
Δείκτης πλαστικότητας (%)	<b>I<sub>p</sub></b>	7 – 20%
Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη (kPa)	<b>q<sub>u</sub></b>	85 – 195kPa
Δείκτης συμπίεστότητας	<b>Cc</b>	0.100 – 0.140
Φυσική υγρασία (%)	<b>W</b>	10 – 21%
Λόγος κενών	<b>e</b>	0.30 – 0.45

Πίνακας 3-9, Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά μικτών φάσεων με επικράτηση αδρομερών CH: Ανόργανη ιλύς υψηλής πλαστικότητας

Δοκιμή πρότυπης διείδυσης (αριθμός κρούσεων για διείδυση 30 cm)	<b><math>N_{SPT}</math></b>	25 - >50
Όριο υδαρότητας (%)	<b>W<sub>L</sub></b>	23 – 43%

Δείκτης πλαστικότητας (%)	<b>I<sub>p</sub></b>	7 – 27%
Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (KPa)	<b>q<sub>u</sub></b>	110 – 395kPa
Φυσική υγρασία (%)	<b>W</b>	13 – 24%
Λόγος κενών	<b>e</b>	0.40 – 0.70

### 3.6.2.4 Αποθέσεις μικτών φάσεων με επικράτηση των λεπτομερών

Καστανές-καστανότεφρες, σιφρές, μέσης πλαστικότητας, αμμώδεις άργιλοι (CL και σπάνια CH) με χαλίκια και κροκάλες, καθώς και αργιλώδεις άμμοι – αμμάργιοι (SC), αμμοίλυες (SM και ML) και αργιλώδη ή ιλυώδη χαλίκια (GC, GM). Είναι ποταμοχερσαίες Τεταρτογενείς αποθέσεις μέγιστου πάχους 20m περίπου, που παρουσιάζουν μέτρια υδροπερατότητα και δημιουργούν τοπικά αβαθείς φρεάτιους ορίζοντες κυρίως τα χαλικοαμμώδη στρώματα. Επειδή είναι χαλαρές αποθέσεις και οι μηχανικοί χαρακτήρες μεταβάλλονται τόσο οριζόντια όσο και κατακόρυφα, είναι πιθανή η εμφάνιση προβλημάτων διαφορικών καθιζήσεων κατά την θεμελίωση κτιρίων. Παρουσιάζουν υποτιθέμενη επιτρεπόμενη τάση θεμελίωσης που υπερβαίνει τα 150 kPa.

Πίνακας 3-10, Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά μικτών φάσεων με επικράτηση λεπτομερών CL: Ανόργανη ιλύς, ιλυώδης ή αργιλώδης άργιλος χαμηλής πλαστικότητας

Αστράγγιστη διατμητική αντοχή (kPa)	<b>C<sub>u</sub></b>	10 – 90 kPa
Γωνία τριβής (μοίρες)	<b>φ</b>	2 – 35°
Δοκιμή πρότυπης διείσδυσης (αριθμός κρούσεων για διείσδυση 30 cm)	<b>N<sub>SPT</sub></b>	01/03/49
Όριο υδαρότητας (%)	<b>W<sub>L</sub></b>	21 – 46%
Δείκτης πλαστικότητας (%)	<b>I<sub>p</sub></b>	7 – 27%
Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (kPa)	<b>q<sub>u</sub></b>	25 – 495kPa
Δείκτης συμπίεστότητας	<b>C<sub>c</sub></b>	0.08 – 0.20
Φυσική υγρασία (%)	<b>W</b>	8 – 26%
Λόγος κενών	<b>e</b>	0.30 – 0.80

Πίνακας 3-11, Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά μικτών φάσεων με επικράτηση λεπτομερών CH: Ανόργανη ιλύς υψηλής πλαστικότητας

Δοκιμή πρότυπης διείσδυσης (αριθμός κρούσεων για διείσδυση 30 cm)	<b>N<sub>SPT</sub></b>	11 - >50
Όριο υδαρότητας (%)	<b>W<sub>L</sub></b>	18 – 40%
Δείκτης πλαστικότητας (%)	<b>I<sub>p</sub></b>	7 – 23%
Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (KPa)	<b>q<sub>u</sub></b>	35 – 200kPa
Φυσική υγρασία (%)	<b>W</b>	8 – 21%

### 3.6.3 Νότια χάραξη - Γεωλογικοί Σχηματισμοί

Σύμφωνα με το χάρτη του Ν.Σαμπατακάκη οι σχηματισμοί που πρόκειται να συναντηθούν είναι οι εξής:

#### 3.6.3.1 Αποθέσεις μικτών φάσεων με επικράτηση των αδρομερών

Καστανές-καστανότεφρες, αργιλώδεις άμμοι-αμμάργιοι (SC), αργιλο-ιλυώδη χαλίκια (GC, GM, GC-GM), καθώς και στιφρές, μέσης πλαστικότητας, αμμώδεις άργιοι (CL) και αμμοϊλύες (SM-SC). Είναι παλαιότερες ποταμοχερσαίες Τεταρτογενείς αποθέσεις (Διλουβιακές) μέγιστου πάχους 15m περίπου, που παρουσιάζουν αυξημένη υδροπερατότητα και αναπτύσσουν πτωχούς γενικά υδροφόρους ορίζοντες κυρίως στην επαφή τους με το υπόβαθρο. Είναι γενικά αποθέσεις χαλαρές μέχρι μέτρια συνεκτικές που οι μηχανικοί χαρακτήρες μεταβάλλονται τοπικά και παρουσιάζουν καλή σχετικά συμπεριφορά σαν εδάφη θεμελίωσης που υπερβαίνει τα 150 kPa.

Πίνακας 3-12, Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά μικτών φάσεων με επικράτηση αδρομερών  
CL: Ανόργανη ιλύς, ιλυώδης ή αργιλώδης άργιλος χαμηλής πλαστικότητας

Αστράγγιστη διατμητική αντοχή (kPa)	<b>C<sub>u</sub></b>	30 – 40 kPa
Γωνία τριβής (μοίρες)	<b>φ</b>	7 – 30°
Δοκιμή πρότυπης διείσδυσης (αριθμός κρούσεων για διείσδυση 30 cm)	<b>N<sub>SPT</sub></b>	15 - >50
Όριο υδαρότητας (%)	<b>W<sub>L</sub></b>	20 – 34%
Δείκτης πλαστικότητας (%)	<b>I<sub>p</sub></b>	7 – 20%
Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (kPa)	<b>q<sub>u</sub></b>	85 – 195kPa
Δείκτης συμπίεστότητας	<b>C<sub>c</sub></b>	0.100 – 0.140
Φυσική υγρασία (%)	<b>W</b>	10 – 21%
Λόγος κενών	<b>e</b>	0.30 – 0.45

Πίνακας 3-13, Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά μικτών φάσεων με επικράτηση αδρομερών  
CH: Ανόργανη ιλύς υψηλής πλαστικότητας

Δοκιμή πρότυπης διείσδυσης (αριθμός κρούσεων για διείσδυση 30 cm)	<b>N<sub>SPT</sub></b>	25 - >50
Όριο υδαρότητας (%)	<b>W<sub>L</sub></b>	23 – 43%
Δείκτης πλαστικότητας (%)	<b>I<sub>p</sub></b>	7 – 27%
Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (kPa)	<b>q<sub>u</sub></b>	110 – 395kPa
Φυσική υγρασία (%)	<b>W</b>	13 – 24%

Λόγος κενών	<b>e</b>	0.40 – 0.70
-------------	----------	-------------

### 3.6.3.2 Ερυθροί πηλοί και κροκαλοπαγή

α) Ερυθροί πηλοί: Καστανέρυθρες, πολύ στιφρές- σκληρές, μέσης- υψηλής πλαστικότητας, αμμώδεις άργιλοι (CL και CH), με χαλίκια και πισσόλιθους και ενστρώσεις κροκαλοπαγών πάχους μέχρι 7m. Κατά θέσεις σύμμικτα χαλαρά κροκαλολατυποπαγή με σχιστολιθική υφή πάχους μέχρι 15m. Τοπικά, των ερυθρών πηλών υπέρκεινται αργλικές μάργες πάχους μέχρι 7m. Είναι Πλειο-Πλειστοκαινικές ηπειρωτικές αποθέσεις, συνολικού πάχους που υπερβαίνει τα 70m. Πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί εκτός των θέσεων με τις διαστρώσεις κροκαλοπαγών όπου αναπτύσσονται μέσης δυναμικότητας υπό πίεση φρεάτιοι υδροφόροι ορίζοντες. Η υποτιθέμενη τάση υπερβαίνει τα 200 kPa.

Πίνακας 3-14, Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά ερυθρών πηλών  
CL: Ανόργανη ιλύς, ιλυώδης ή αργιλώδης άργιλος χαμηλής πλαστικότητας

Αστράγγιστη διατμητική αντοχή (kPa)	<b>C<sub>u</sub></b>	60 – 150 kPa
Γωνία τριβής (μοίρες)	<b>φ</b>	0 – 25°
Δοκιμή πρότυπης διείδυσης (αριθμός κρούσεων για διείδυση 30 cm)	<b>N<sub>SPT</sub></b>	19 - 90
Όριο υδαρότητας (%)	<b>W<sub>L</sub></b>	19 – 49%
Δείκτης πλαστικότητας (%)	<b>I<sub>p</sub></b>	7.5 – 32%
Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη (kPa)	<b>q<sub>u</sub></b>	105 – 1080kPa
Δείκτης συμπίεστότητας	<b>C<sub>c</sub></b>	0.05 – 0.15
Φυσική υγρασία (%)	<b>W</b>	8.5 – 21.5%
Λόγος κενών	<b>e</b>	0.25 – 1.75

Πίνακας 3-15, Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά ερυθρών πηλών  
CH: Ανόργανη ιλύς υψηλής πλαστικότητας

Δοκιμή πρότυπης διείδυσης (αριθμός κρούσεων για διείδυση 30 cm)	<b>N<sub>SPT</sub></b>	32 - 65
Όριο υδαρότητας (%)	<b>W<sub>L</sub></b>	52 – 63%
Δείκτης πλαστικότητας (%)	<b>I<sub>p</sub></b>	25 – 40%
Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη (kPa)	<b>q<sub>u</sub></b>	170 – 1550 kPa
Δείκτης συμπίεστότητας	<b>C<sub>c</sub></b>	0.10 – 0.15
Φυσική υγρασία (%)	<b>W</b>	14 – 29%
Λόγος κενών	<b>e</b>	0.40 – 0.85

β) Κροκαλοπαγή: Σύμμικτα, μέσης αντοχής, μέτρια συγκολλημένα σε εναλλαγές με καστανοκίτρινους- καστανούς εύθρυπτους ψαμμίτες και ψαμμιτικές μάργες. Είναι ποτάμιες Πλειστοκαινικές αποθέσεις, μέγιστου πάχους μέχρι 25m. Είναι υδροπερατοί σχηματισμοί που σχηματίζουν τοπικής σημασίας φρεάτιους ορίζοντες.

### 3.6.3.3 Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι

Συστήματα ποικίλων γεωλογικών σχηματισμών, φλυσχοειδούς τύπου Άνω Κρητιδικής ηλικίας, που αποτελούνται από αργιλικούς-ψαμμιτικούς- σερικιτικούς- μοσχοβιτικούς σχιστόλιθους, με διαστρώσεις και φακούς μικροκρυσταλλικών ασβεστόλιθων πάχους μέχρι και 20m και διεισδύσεις και σώματα εκρηξιγενών πετρωμάτων υπερβασικού τύπου μέγιστου πάχους που υπερβαίνει τα 15m. Το όλο σύστημα χαρακτηρίζεται από έντονη ανομοιομορφία και ανισοτροπία της μηχανικής του συμπεριφοράς σαν αποτέλεσμα της λιθολογικής ανομοιογένειας, της έντονης τεκτονικής καταπόνησης και των διεργασιών της αποσάρθρωσης και της εξαλλοίωσης. Σαν έδαφος θεμελίωσης παρουσιάζει αρκετά καλή συμπεριφορά με υποτιθέμενη επιτρεπόμενη τάση που υπερβαίνει τα 300KPa ( στην ζώνη αποσάρθρωσης). Στο σύνολο τους θεωρούνται σαν στεγανός σχηματισμός με ισχυρά κυμαινόμενη διαπερατότητα. Ο υδροφόρος ορίζοντας είναι άλλοτε ενιαίος (κυρίως στην επιφανειακή ζώνη αποσάρθρωσης) και άλλοτε διασπάται σε επικρεμάμενους. Το συνολικό πάχος σχηματισμού υπερβαίνει τα 200m.

α) Σχιστόλιθοι: τεφροί- καστανότεφροι- τεφροπράσινοι, συνήθως καστανοκίτρινοι λόγω αποσάρθρωσης, που η συμπεριφορά τους κυμαίνεται από σκληρούς βράχους μέχρι εδάφη χωρίς να είναι διακεκριμένα μεταξύ τους. Σαν εδαφικοί σχηματισμοί (εντελώς αποσαθρωμένοι) ταξινομούνται σαν αργιλώδεις άμμοι- αμμάργιλοι (SC), αργιλώδη και ιλύδη χαλίκια (GC, GM, GP- GM) καθώς και άργιλοι (CL). Σαν βραχώδεις παρουσιάζουν έντονη διασπορά των φυσικών και μηχανικών παραμέτρων λόγω διαφορετικής ορυκτολογικής σύστασης και αποσάρθρωσης.

Πίνακας 3-16, Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά σχιστολίθων

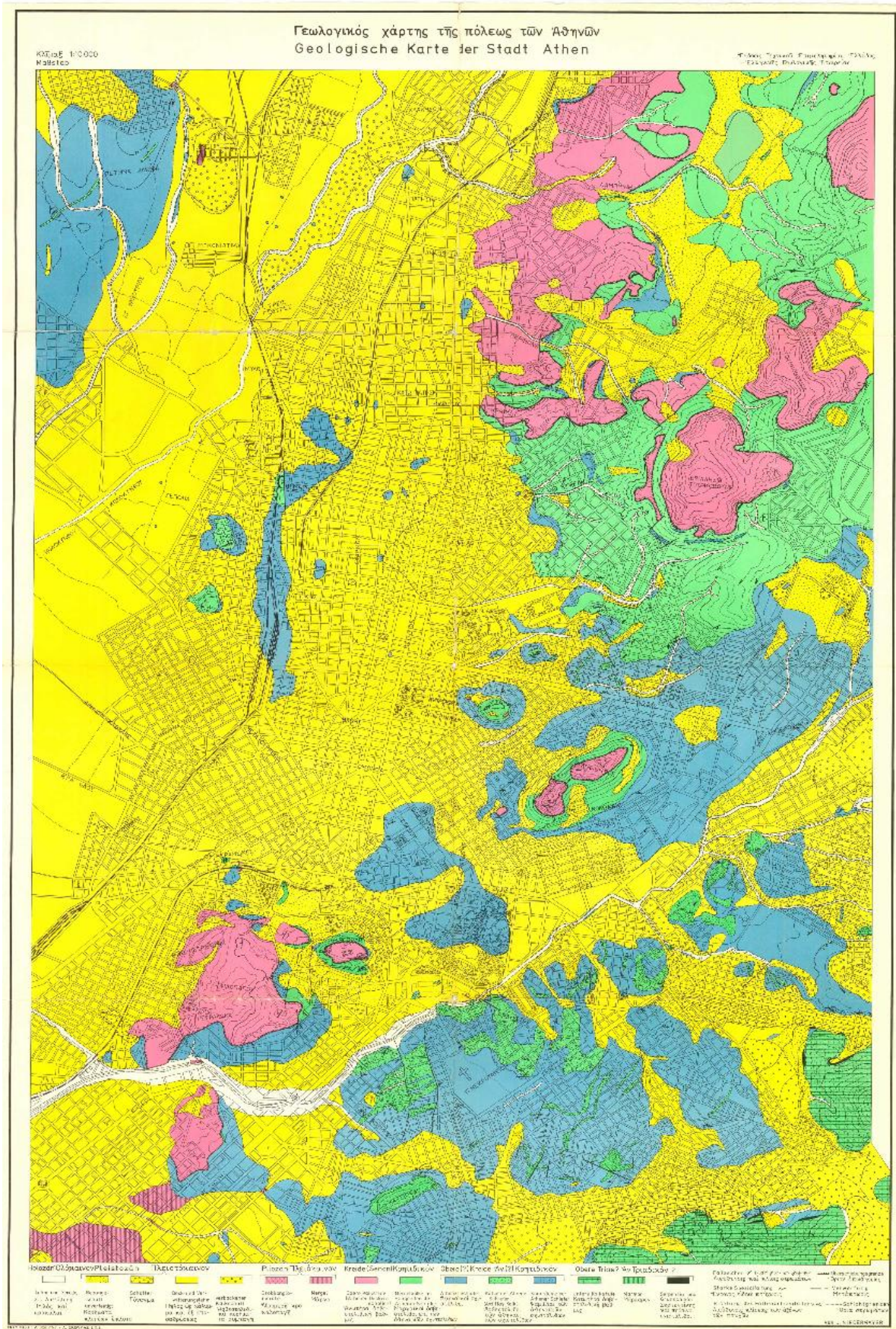
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (kPa)	$\sigma_c$	1.5 – 89.5 MPa
Εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας που αντιστοιχεί στο 50% της αντοχής (GPa)	$E_L$	0.3 – 30 GPa
Αντοχή σε εφελκυσμό (MPa)	$\sigma_t$	0.5 – 6.5 MPa
Δείκτης σημειακής φόρτισης (MPa)	$I_{s(50)}$	1 – 10.5 Mpa
Ξηρή πυκνότητα (KN/m <sup>3</sup> )	$\rho_d$	21.5 – 27.5 KN/m <sup>3</sup>

β) Εκρηξιγενή: τεφροπράσινοι- υποπράσινοι- βυσινόχρωμοι- σερπεντινωμένοι περιδοτήτες και διαβάσεις- σπλίτες. Παρατηρείται έντονη διασπορά τιμών μηχανικής αντοχής τους λόγω διαφορετικής λιθολογικής σύστασης και εξαλλοίωσης.

Πίνακας 3-17, Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά περιδοτήτη

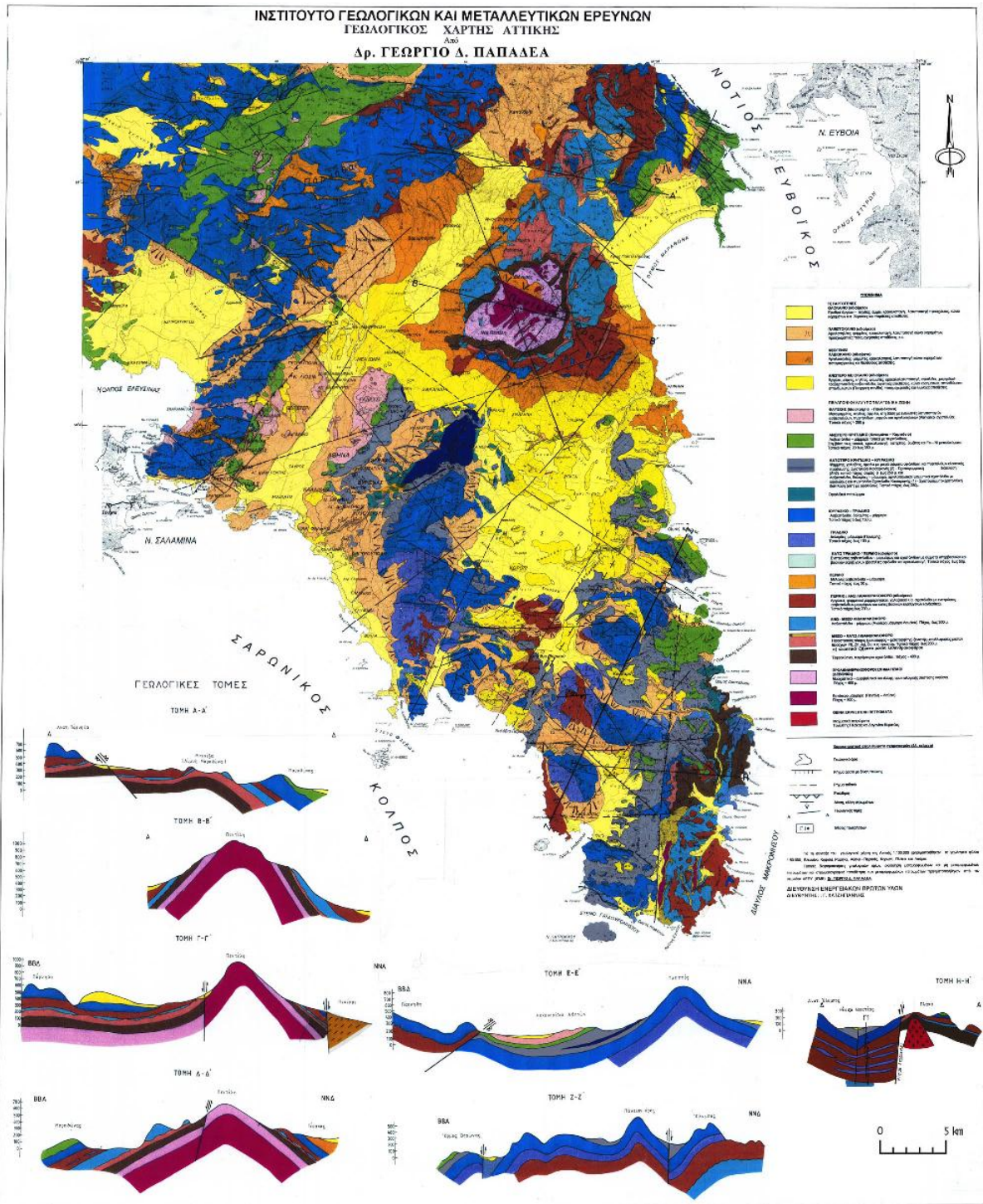
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (KPa)	$\sigma_c$	9.5 – 67.5 MPa
Εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας που αντιστοιχεί στα 50% της αντοχής (GPa)	$E_L$	12 – 50 GPa
Δείκτης σημειακής φόρτισης (MPa)	$I_{s(50)}$	0.2 – 9.0 Mpa
Ξηρή πυκνότητα (KN/m <sup>3</sup> )	$\rho_d$	26 – 28.8 KN/m <sup>3</sup>
Λόγος Poisson	$\nu$	0.2 – 0.3

γ) Ασβεστόλιθοι: τεφροί, τεφρόλευκοι, μικροκρυσταλλικοί, κατά θέσεις κλαστικοί ή λατυποπαγείς, μέτριας σκληρότητας, πολύ χαμηλής-υψηλής αντοχής, χαμηλής παραμορφωσιμότητας. Είναι Ανώτερης Κρητιδικής ηλικίας και το μέγιστο πάχος τους υπερβαίνει τα 100m. Εμφανίζονται άστρωτοι ή παχυστρωματώδεις και διελώνονται από διαρρήξεις και τοπικά πυκνά δίκτυα διακλάσεων. Παρουσιάζουν αυξημένη δευτερογενή διαπερατότητα και στην περίπτωση που συναντώνται σαν φακοί στους Αθηναϊκούς σχιστόλιθους αποτελούν «δεξαμενές» εγκλωβισμένων νερών.



Εικόνα 3-2, Γεωλογικός χάρτης της πόλεως των Αθηνών από Τ.Ε.Ε.





Εικόνα 3-3, Γεωλογικός χάρτης Αττικής από Γ.ΠΑΠΑΔΕΑ

### 3.7 Υδρογεωλογία

Η έντονη λιθολογική και τεκτονική ανισοτροπία του συστήματος των Αθηναϊκών σχιστολίθων συνδέεται με την ιδιαίτερη ανομοιογενή υδρογεωλογική συμπεριφορά του. Αν και ο εν λόγω σχηματισμός από την πετρογραφική του σύσταση είναι κατά βάση υδατοστεγανός, τα διάφορα μέλη του συστήματος παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά ως προς την υδροπερατότητα, υδαταγωγιμότητα και αποθηκευτική ικανότητα τους.

Οι ψαμμίτες, οι ασβεστόλιθοι και οι διάβασες έχουν σχετικά αυξημένη υδροπερατότητα, ενώ οι μάργες, οι σχιστόλιθοι και οι φυλλίτες παρουσιάζουν μικρή έως μέτρια υδροπερατότητα. Έτσι, στις περιοχές που επικρατούν τα σχιστο - ψαμμιτικά μέλη του συστήματος αναπτύσσεται περιορισμένη σχετικά υδροφορία, κυρίως στο πλησιέστερο προς την επιφάνεια τμήμα όπου τα στρώματα είναι εντονότερα αποσαθρωμένα. Στο τμήμα αυτό διαμορφώνεται εκτεταμένος και ενιαίος υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας μικρής δυναμικότητας, ο οποίος ενισχύεται στις περιοχές όπου αναπτύσσονται εκτεταμένες ασβεστολιθικές ή ψαμμιτικές εμφανίσεις.

Η πρακτικά ελεύθερη υδροφορία, υπάρχει σε όλη την έκταση της περιοχής ενδιαφέροντος, με πιεζομετρική επιφάνεια σε πολύ μικρό βάθος και ανάπτυξη τόσο στο τεταρτογενές και νεογενές κάλυμμα όσο και στο σχιστολιθικό υπόβαθρο, με συνθήκες υδραυλικής συνέχειας. Η στάθμη του ορίζοντα από τις έρευνες του ΙΓΜΕ και από τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις του Μετρό φαίνεται ότι εντοπίζεται πολύ κοντά στην επιφάνεια, σε βάθη που κυμαίνονται συνήθως στα 4 – 6m, ενίοτε 1,5 – 2m, ενώ η διακίνηση των υδάτων ελέγχεται από το κατώτερο υγιές πέτρωμα που πρακτικά δρα ως υδατοστεγανός σχηματισμός. Από τη αποτύπωση στους χάρτες φαίνεται επίσης, ότι υπάρχουν δύο κύριοι άξονες αποστράγγισης, κατά μήκος του Κηφισού με ΝΝΔ φορά και κατά μήκος του άξονα Μεσογείων - Μιχαλακοπούλου με ΝΔ φορά.

Όσον αφορά στην *in situ* διαπερατότητα των σχηματισμών, οι τιμές του συντελεστή έχουν σχετικά χαμηλές τιμές, με τη μέση τιμή του να κινείται περί των  $10^{-6} - 10^{-7}$  m / sec. Η συνολική περατότητα της βραχώμαζας μπορεί να θεωρηθεί ότι κινείται σε χαμηλότερες τιμές λόγω της επικράτησης αργιλικών και αργιλομιγών σχηματισμών καθώς και της ύπαρξης μυλονιτικού υλικού πλήρωσης στις ασυνέχειες και στις ζώνες διάτμησης. Χρειάζεται πάντως προσοχή στην εξαγωγή συμπερασμάτων εξ' αιτίας της έντονης

ανισοτροπίας, η οποία μπορεί να διαφοροποιήσει την υδροπερατότητα τόσο κατά την οριζόντια όσο και κατά την κατακόρυφο.

Η πιεζομετρική επιφάνεια παρακολουθεί τις κυμάνσεις της μορφολογίας του εδάφους. Σε ορισμένες όμως περιοχές, όπου επικρατούν υδροπερατά ή έντονα διερρηγμένα πετρώματα, είναι δυνατόν να συνεχίζεται η υδροφορία σε σημαντικό βάθος από την επιφάνεια.

Στον ανώτερο ορίζοντα των Αθηναϊκών Σχιστολίθων, όπου είναι συχνότερες οι εμφανίσεις υδροπερατών σχηματισμών, η υδατοαγωγιμότητα είναι αυξημένη, ενώ η αποθηκευτική ικανότητα παραμένει μικρή. Και στο τμήμα αυτό παρατηρείται ισχυρή ανισοτροπία και ανομοιογένεια, από πλευράς υδραυλικής αγωγιμότητας, τόσο κατά την οριζόντια όσο και κατά την κατακόρυφο.

Στο σύνολο τους συνεπώς, οι Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι μπορούν να θεωρηθούν ως στεγανός σχηματισμός, με ισχυρά κυμαινόμενη υδραυλική αγωγιμότητα, ανάλογα με το δευτερογενές πορώδες, και οπωσδήποτε με περιορισμένη αποθηκευτική ικανότητα. Ο υδροφόρος ορίζοντας αλλού είναι εκτεταμένος και ενιαίος, και αλλού διασπάται σε επάλληλους και επικρεμάμενους ορίζοντες με ατελή επικοινωνία μεταξύ τους.

(πηγή: Κουμαντάκης, 1997)

### 3.8 Γεωτρήσεις

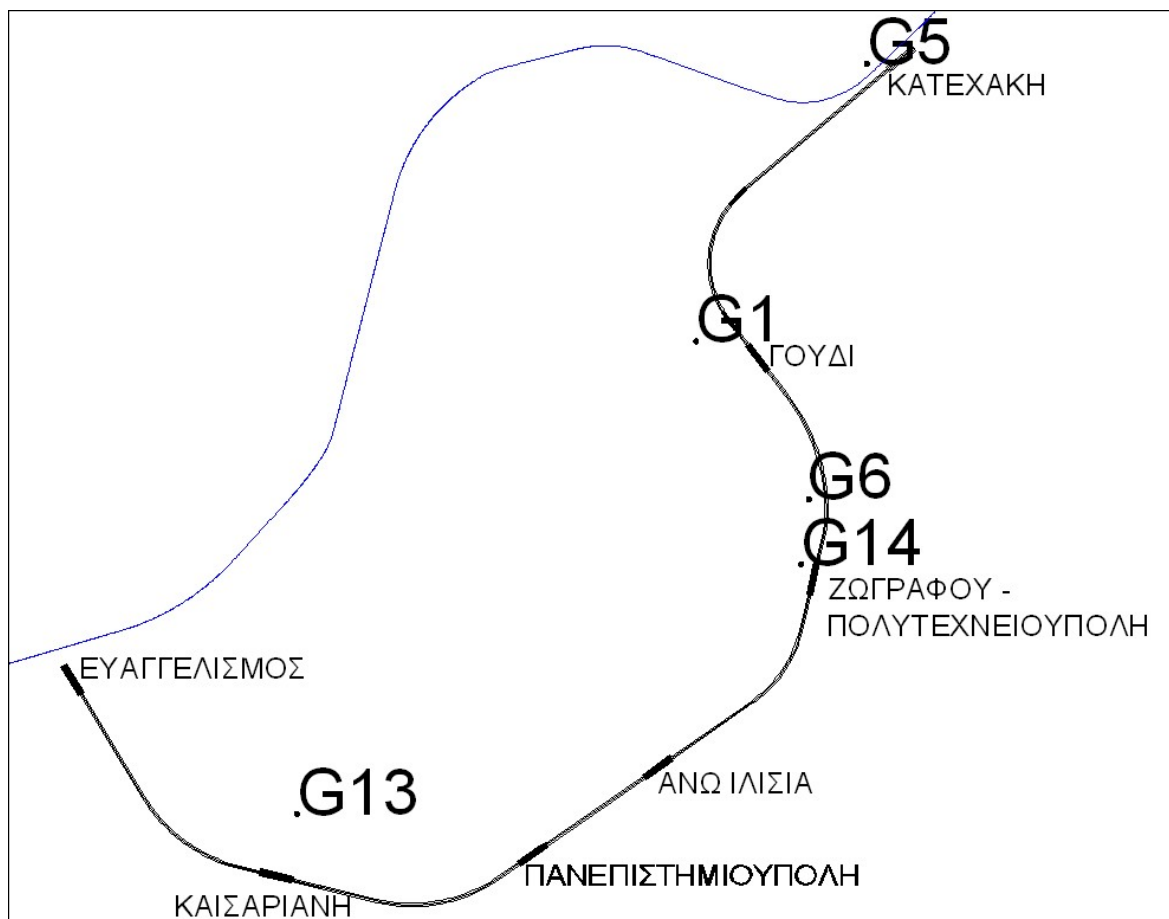
Για τη διεξοδικότερη και πιο εμπειριστατωμένη μελέτη των σχηματισμών που πρόκειται να συναντηθούν κρίθηκε σκόπιμη η συλλογή μιας σειράς γεωτρητικών δεδομένων της περιοχής χάραξης. Τα δεδομένα αυτά σε συνδυασμό με τους γεωλογικούς χάρτες δίνουν μια τεκμηριωμένη εικόνα και παράλληλα μειώνουν το βαθμό αβεβαιότητας της γεωλογικής μελέτης.

Από τις γεωτρήσεις που βρέθηκαν στην περιοχή ενδιαφέροντος, μελετήθηκαν εκείνες που η κάθετη απόσταση τους από τη γραμμή χάραξης είναι μικρότερη των 150 μ. Οι γεωτρήσεις αυτές θεωρήθηκε προσεγγιστικά ότι βρίσκονται κατά μήκος της γραμμής χάραξης του νότιου και του βόρειου κλάδου.

Στο νότιο κλάδο με κατεύθυνση από το “σταθμό Κατεχάκη” προς το “σταθμό Ευαγγελισμός” οι γεωτρήσεις (Σχήμα 3-4) είναι οι εξής:

- Γεωτρήσεις στην ανισόπεδη διάβαση Μεσογείων – Κατεχάκη, G5

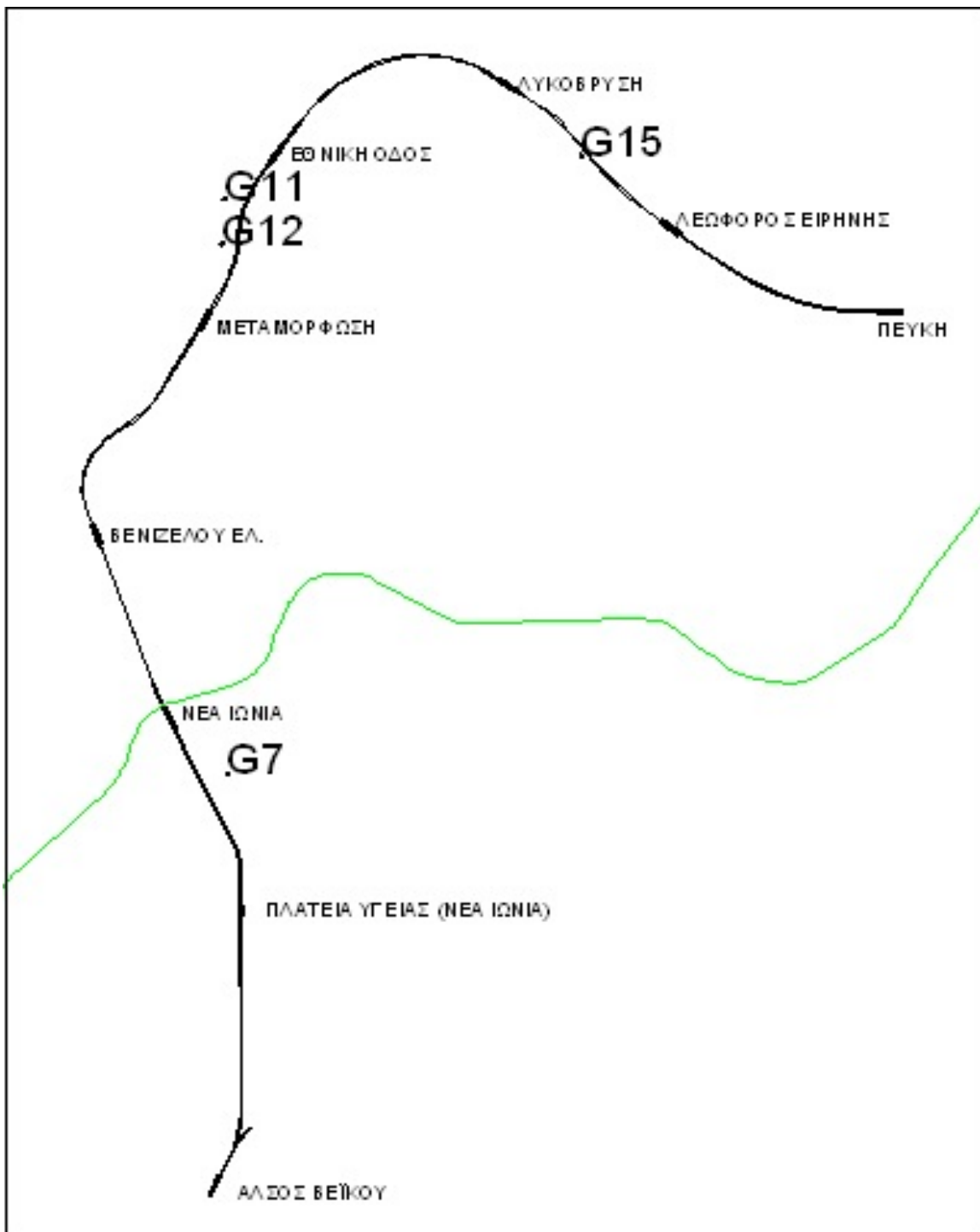
- Γεωτρήσεις στο Νοσοκομείο Παιδων "ΑΓΙΑ ΣΟΦΙΑ", G1
- Γεωτρήσεις στην πεζογέφυρα στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, G6
- Γεωτρήσεις στο Αστυνομικό τμήμα Ζωγράφου, G14
- Γεωτρήσεις στο Αστυνομικό μέγαρο της Καισαριανής, G13



Σχήμα 3-4, Θέσεις γεωτρήσεων κατά μήκος της χάραξης (Νότιος Κλάδος)

Στο βόρειο κλάδο με κατεύθυνση από το “σταθμό Άλσος Βεΐκου” προς το “σταθμό Πεύκη” οι γεωτρήσεις (Σχήμα 3-5) είναι οι εξής:

- Γεωτρήσεις στο Νοσοκομείο "ΑΓΙΑ ΟΛΓΑ", G7
- Γεωτρήσεις σε οικία στην Οδό Τατοΐου στη Μεταμόρφωση, G12
- Γεωτρήσεις σε πολυκατοικία στη διασταύρωση των Οδών Χρυσολωρά & Ψυχάρη στη Μεταμόρφωση, G11
- Γεωτρήσεις στο Νηπιαγωγείο Λυκόβρυσης, G15



Σχήμα 3-5, Θέσεις γεωτρήσεων κατά μήκος της χάραξης (Βόρειος κλάδος)

### 3.8.1 Γεωτρήσεις Νοτίου κλάδου

Πίνακες 3-18, Γεωτρήσεων Νοτίου κλάδου, Πηγή: Κ.Ε.Δ.Ε.

Τοποθεσία	Ανισόπεδη διάβαση Μεσογείων – Κατεχάκη (G5)	
Πλήθος γεωτρήσεων	Όνομασία	Βάθος
1	ΓΣ1	21m.
2	ΓΣ3	20m.
Περιγραφή εδαφών	Επιφανειακά υπάρχουν πρόσφατες αποθέσεις (φερτά υλικά και μπάζα) πάχους 4.00m περίπου που κυρίως αποτελούνται από άμμο, άργιλο, χαλίκια και κροκάλες, που έχουν υποστεί συμπίκνωση. Στη συνέχεια συναντάται ενιαίος γεωλογικός σχηματισμός καστανέρυθρης αμμώδους έως πολύ αμμώδους αργίλου που εναλλάσσεται με αργιλομαργαϊκό κροκαλολατυποπαγές κυρίως χαλαρό. Η διάκριση των δύο παραπάνω στρωμάτων παρουσιάζει δυσκολίες λόγω της χαμηλής συνεκτικότητας του κροκαλολατυποπαγούς και της κατά θέσεις αυξήσεως της περιεκτικότητας της αργίλου σε χαλίκια και κροκάλες. Μέτρια συνεκτικό κροκαλολατυποπαγές εμφανίζεται σε ελάχιστες θέσεις και σε πολύ περιορισμένη έκταση.	
Δοκιμές που εκτελέστηκαν	Επί τόπου δοκιμές πρότυπης διεισδύσεως (S.P.T.) με τον πρότυπο δειγματολήπτη TERZAGHI Κοκκομετρικές αναλύσεις και προσδιορισμοί ορίων Atterberg Δοκιμή σημειακής φόρτισης	
Υπόγεια νερά εντοπίστηκαν στη ΓΣ1 σε βάθος 6.40m. και στη ΓΣ3 σε βάθος 2.20m.		

Τοποθεσία	Νοσοκομείο Παιδών "ΑΓΙΑ ΣΟΦΙΑ" (G1)	
Πλήθος γεωτρήσεων	Όνομασία	Βάθος
1	Γ1	10.65m.
2	Γ2	10.25m.
3	Γ3	10.65m.
Περιγραφή εδαφών	Η πρώτη στρώση, η οποία είναι επιφανειακή, αποτελείται από φερτά υλικά. Η δεύτερη, η οποία είναι η κύρια στρώση, αποτελείται από αμμοχάλικα με συνδετική καστανέρυθρη άργιλο σε πυκνή απόθεση. Τέλος, η τρίτη στρώση εμφανίζεται σε βάθος μεγαλύτερο των 8m. και αποτελείται από αμμώδη καστανέρυθρη άργιλο με χάλικες.	
Δοκιμές που εκτελέστηκαν	Επί τόπου δοκιμές πρότυπης διεισδύσεως (S.P.T.) με τον πρότυπο δειγματολήπτη TERZAGHI	
Υπόγεια νερά δεν εντοπίστηκαν		

Τοποθεσία	Πεζογέφυρα στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου (G6)	
Πλήθος γεωτρήσεων	Ονομασία	Βάθος
1	Γ1	17.10m.
2	Γ2	18.40m.
3	Γ3	19.10m.
4	Γ4	18.90m.
Περιγραφή εδαφών	Κάτω από ένα στρώμα πρόσφατων υλικών πάχους 1,00 με 2,00m. συναντάται ο σχηματισμός των ερυθρών – καστανέρυθρων αργίλων με ενστρώσεις κροκαλοπαγών μέχρι βάθους 14,00 – 17,00m. Στη συνέχεια συναντώνται οι σχιστόλιθοι που εμφανίζονται τελείως έως πολύ αποσαθρωμένοι.	
Δοκιμές που εκτελέστηκαν	Επί τόπου δοκιμές πρότυπης διεισδύσεως (S.P.T.) με τον πρότυπο δειγματολήπτη TERZAGHI Κοκκομετρικές αναλύσεις και προσδιορισμοί ορίων Atterberg Δοκιμές σε ανεμπόδιστη θλίψη	
Υπόγεια νερά δεν εντοπίστηκαν.		

Τοποθεσία	Αστυνομικό τμήμα Ζωγράφου (G14)	
Πλήθος γεωτρήσεων	Ονομασία	Βάθος
1	Γ1	18.15m.
2	Γ2	20.15m.
3	Γ3	18.55m.
4	Γ4	15.20m.
Περιγραφή εδαφών	Τα εδάφη διακρίθηκαν σε δύο στρώσεις. Η πρώτη στρώση αποτελείται από άργιλο με ή χωρίς παρουσία κοκκώδους υλικού. Η δεύτερη στρώση αποτελείται από εναλλασσόμενες στρώσεις κροκαλοπαγούς και αργίλου με κοκκώδες υλικό.	
Δοκιμές που εκτελέστηκαν	Επί τόπου δοκιμές πρότυπης διεισδύσεως (S.P.T.) με τον πρότυπο δειγματολήπτη TERZAGHI	
Υπόγεια νερά δεν εντοπίστηκαν.		

Τοποθεσία	Αστυνομικό Μέγαρο Καισαριανής (G13)	
Πλήθος γεωτρήσεων	Ονομασία	Βάθος
1	Γ1	14.72m.

2	Γ2	15.30m.
3	Γ6	8.10m.
4	Γ7	15.15m.
5	Γ8	15.25m.
6	Γ10	15.20m.
Περιγραφή εδαφών	Τα εδάφη κατηγοριοποιούνται σε δύο στρώσεις. Η πρώτη στρώση αποτελείται από κοκκώδες υλικό με ή χωρίς παρουσία κροκάλων. Η δεύτερη στρώση είναι αργιλικός σχιστόλιθος.	
Δοκιμές που εκτελέστηκαν	Επί τόπου δοκιμές πρότυπης διεισδύσεως (S.P.T.) με τον πρότυπο δειγματολήπτη TERZAGHI	
Υπόγεια νερά δεν εντοπίστηκαν.		

### 3.8.2 Γεωτρήσεις Βορείου κλάδου

Πίνακες 3-19, Γεωτρήσεων Βορείου κλάδου, Πηγή: Κ.Ε.Δ.Ε.

Τοποθεσία	Νοσοκομείο "ΑΓΙΑ ΟΛΓΑ" (G7)	
Πλήθος γεωτρήσεων	Ονομασία	Βάθος
1	Γ1	18,50m.
Περιγραφή εδαφών	Το έδαφος από την επιφάνεια και μέχρι το βάθος των 5,20m. αποτελείται από στρώσεις κιτρινοκάστανης αμμώδους έως και πολύ αμμώδους αργίλου. Κατά θέσεις παρατηρούνται χαλίκια και μικρές κροκάλες. Στο βάθος μεταξύ 5,20m. - 5.90m. εμφανίζεται τεκτονικό λατυποπαγές (τα αδρομερή είναι θραύσματα αθηναϊκού σχιστόλιθου και η συνδετική ύλη αργιλοασβεστιτική). Από το βάθος των 5,90m. έως το τέλος της γεώτρησης εμφανίζονται πετρώματα της ενότητας του αθηναϊκού σχιστόλιθου.	
Δοκιμές που εκτελέστηκαν	Επί τόπου δοκιμές πρότυπης διεισδύσεως (S.P.T.) με τον πρότυπο δειγματολήπτη TERZAGHI Κοκκομετρικές αναλύσεις και προσδιορισμοί ορίων Atterberg	
Υπόγεια νερά εντοπίστηκαν στη Γ1 σε βάθος 4.80m.		

Τοποθεσία	Οικία στην Οδό Τατοίου στη Μεταμόρφωση (G12)	
Πλήθος γεωτρήσεων	Ονομασία	Βάθος
1	Γ1	33.60m.
Περιγραφή εδαφών	Επιφανειακά και μέχρι το βάθος των 1,50m. διατρήθηκαν τεχνητές αποθέσεις. Μετά το βάθος αυτό	



	και μέχρι τα 12,50m. επικρατούν καστανότεφρες ιλυοαμμώδεις άργιλοι σε εναλλαγές με αργιλώδεις άμμους- αμμοϊλίες με πολλά κατά θέσεις χαλίκια και ασβεστιτικά συγκρίματα. Υπόλευκες έως τοπικά κιτρινόλευκες αργλικές και ψαμμιτικές μάργες με ενστρώσεις μαργόλιθων επικρατούν από τα 12,50m βάθους έως το τέλος της γεώτρησης.
Δοκιμές που εκτελέστηκαν	Κοκκομετρικές αναλύσεις και προσδιορισμοί ορίων Atterberg Δοκιμές προσδιορισμού υγρού φαινόμενου βάρους Δοκιμές προσδιορισμού φυσικής υγρασίας Δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης
Υπόγεια νερά εντοπίστηκαν στη Γ1 σε βάθος 8.90m.	

Τοποθεσία	Πολυκατοικία Χρυσολωρά & Ψυχάρη στη Μεταμόρφωση (G11)	
Πλήθος γεωτρήσεων	Ονομασία	Βάθος
1	Γ1	34.80m.
2	Γ2	35m.
Περιγραφή εδαφών	<p>Επιφανειακά και μέχρι βάθους 0,30m. - 1,00m. το έδαφος αποτελείται από αποθέσεις φερτών υλικών και υλικών επιχωμάτωσης.</p> <p>Ακολουθεί μέχρι βάθους 4,00m. περίπου στιφρή, καστανοκίτρινη μάργα με χαλίκια.</p> <p>Από 4,00m. - 8,00m. στη μεν γεώτρηση Γ1 συνεχίζεται η υπερκείμενη στρώση ενώ στη γεώτρηση Γ2 συναντήθηκε καστανέρυθρη αργιλοϊλός με στρώσεις άμμου.</p> <p>Σε βάθος 8,00 – 9,00m. περίπου συναντήθηκε και στις δύο γεωτρήσεις χαλαρό ψηφιδοπαγές- αργιλώδες αμμοχάλικο.</p> <p>Από 9,00m. έως 10,60m. (Γ2) και 11.35m. (Γ1) συναντήθηκε πολύ στιφρή καστανέρυθρη άργιλος – αργλική μάργα.</p> <p>Από τα βάθη αυτά και μέχρι το τέλος και των δύο γεωτρήσεων συναντήθηκε σχηματισμός σκληρών καστανών κροκαλολατυποπαγων και σπανιότερα ψαμμίτης.</p>	
Δοκιμές που εκτελέστηκαν	Κοκκομετρικές αναλύσεις και προσδιορισμοί ορίων Atterberg Δοκιμές προσδιορισμού υγρού φαινόμενου βάρους Δοκιμές προσδιορισμού φυσικής υγρασίας Δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης σε 9 δείγματα εδάφους Δοκιμές μονοδιάστατης στερεοποίησης σε 3 δείγματα εδάφους	

Υπόγεια νερά εντοπίστηκαν στη Γ1 σε βάθος 6.10m. και στη Γ2 σε βάθος 5.50m.

Τοποθεσία	Νηπιαγωγείο Λυκόβρυσης (G15)	
Πλήθος γεωτρήσεων	Ονομασία	Βάθος
1	Γ1	18.7m.
2	Γ2	18.1m.
Περιγραφή εδαφών	<p>Η πρώτη στρώση αποτελείται από καστανή – καστανοκίτρινη πολύ αμμώδη άργιλο (CL). Συναντήθηκε από την επιφάνεια μέχρι βάθους 4,15m. περίπου. Η δεύτερη στρώση αποτελείται από καστανοκίτρινη πολύ αμμώδη μάργα ( CL) σε εναλλαγή με αμμοχάλικα(GC, GC-GM) και μικρολατυποπαγή. Συναντήθηκε από τα 4,15m. μέχρι το τέλος της διάτρησης, τα 18m.. Τα αμμοχάλικα εμφανίζονται με μορφή ενστρώσεων ή φακών μέσα στις μάργες κυρίως στα βάθη 11,50-16,50m. Κατά θέσεις είναι λίγο συγκολλημένα και μεταπίπτουν σε χαλαρό μικρολατυποπαγές.</p>	
Δοκιμές που εκτελέστηκαν	<p>Κοκκομετρικές αναλύσεις και προσδιορισμοί ορίων Atterberg                      Δοκιμές προσδιορισμού υγρού φαινομένου βάρους                      Δοκιμές προσδιορισμού φυσικής υγρασίας                      Δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης                      Δοκιμή τριαξονικής θλίψης                      Δοκιμές μονοδιάστατης στερεοποίησης σε 3 δείγματα εδάφους</p>	
Υπόγεια νερά εντοπίστηκαν στη Γ1 σε βάθος 3m. και στη Γ2 σε βάθος 4.50m.		

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ**



## 4.1 Κριτήρια για την επιλογή τρόπου διάνοιξης σταθμών

Η επιλογή του τρόπου διάνοιξης των σταθμών πραγματοποιείται ύστερα από εκτενή εξέταση και αξιολόγηση των παρακάτω παραμέτρων:

- Διαθέσιμοι χώροι για το εργοτάξιο
- Βάθος σταθμού
- Προσπελασιμότητα
- Περιβαλλοντική επιβάρυνση
- Αρχαιολογικοί χώροι
- Παρακάμψεις δικτύων

Ανάμεσα στους παραπάνω παράγοντες μεγαλύτερη βαρύτητα έχουν οι διαθέσιμοι χώροι για την κατασκευή εργοταξίου. Αυτό ισχύει διότι εάν η διαθέσιμη έκταση αρκεί για την κατασκευή σταθμού με τη μέθοδο Ανοικτής εκσκαφής τότε επιλέγεται συνήθως η μέθοδος αυτή, καθώς θεωρείται σε γενικές γραμμές και για βάθη της τάξεως των 20 μ., ως η πιο οικονομική. Αντίθετα, η έλλειψη χώρου στην επιφάνεια οδηγεί στη διάνοιξη του σταθμού με τη μέθοδο υπόγεια διάνοιξη, καθώς οι χώροι που απαιτεί στην επιφάνεια η συγκεκριμένη μέθοδος είναι αρκετά μικρότεροι. Στις παραπάνω εκτάσεις συνυπολογίζεται και ο χώρος που πιθανόν να προκύψει από ενδεχόμενες απαλλοτριώσεις.

Επίσης, ένα πολύ σημαντικό κριτήριο είναι το βάθος κάθε σταθμού. Η μέθοδος ανοικτής εκσκαφής γίνεται αντιοικονομική όταν ο σταθμός βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο των 20 μ., ενώ, σε περιπτώσεις όπου τα βάθη αυξάνονται πολύ, προκύπτει πρόβλημα με την ευστάθεια των πρανών του ορύγματος. Αύξηση του βάθους σημαίνει μικρότερη γωνία πρανών και κατά συνέπεια μεγαλύτερες απαιτήσεις σε εργοταξιακούς χώρους. Συνεπώς, με βάση τα παραπάνω κριτήρια η κατασκευή σταθμού με τη μέθοδο Ανοικτής εκσκαφής γίνεται πολύ δύσκολη έως αδύνατη.

Η προσπελασιμότητα αφορά στο κατά πόσον είναι εύκολη, μέτρια ή δύσκολη η προσέγγιση των μηχανημάτων και των φορτηγών κατά τη φάση της κατασκευής.

Ακόμα, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αφορούν στην πρόκληση ηχορύπανσης, ατμοσφαιρικής ρύπανσης και γενικότερα στην όχληση των κατοίκων της περιοχής. Αυτή η παράμετρος κατατάσσεται με επίπεδο σοβαρότητας, από Α έως Γ, όπου με Α βαθμολογούνται οι πιο σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και με Γ οι λιγότερο σοβαρές.

Αντίστοιχα, η ίδια βαθμονόμηση χρησιμοποιείται και για τις επιπτώσεις στις αρχαιότητες, δηλαδή στην πιθανότητα να συναντηθούν αρχαία κατά την εκσκαφή, δεδομένου ότι σε ενδεχόμενη εμφάνισή τους, η κατασκευή του Μετρό επηρεάζεται σημαντικά.

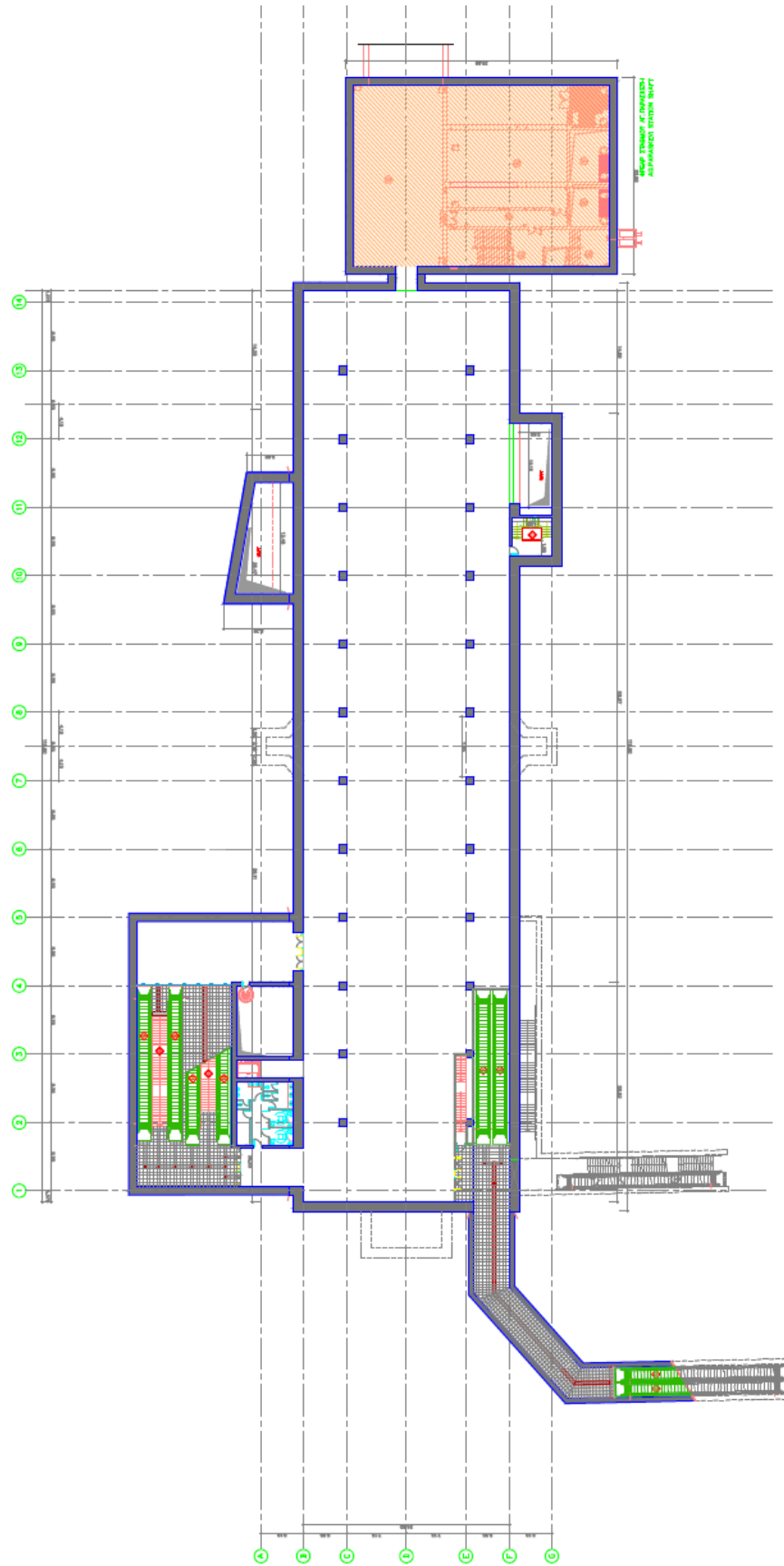
Ανάλογη βαθμονόμηση χρησιμοποιείται και για τα υπόγεια δίκτυα, δηλαδή κατά πόσον η κατασκευή του σταθμού συναντά και σε ποια έκταση επηρεάζει τα δίκτυα κοινής ωφελείας (Ο.Κ.Ω.).

## **4.2 Κατασκευή σταθμού με ανοικτή εκσκαφή**

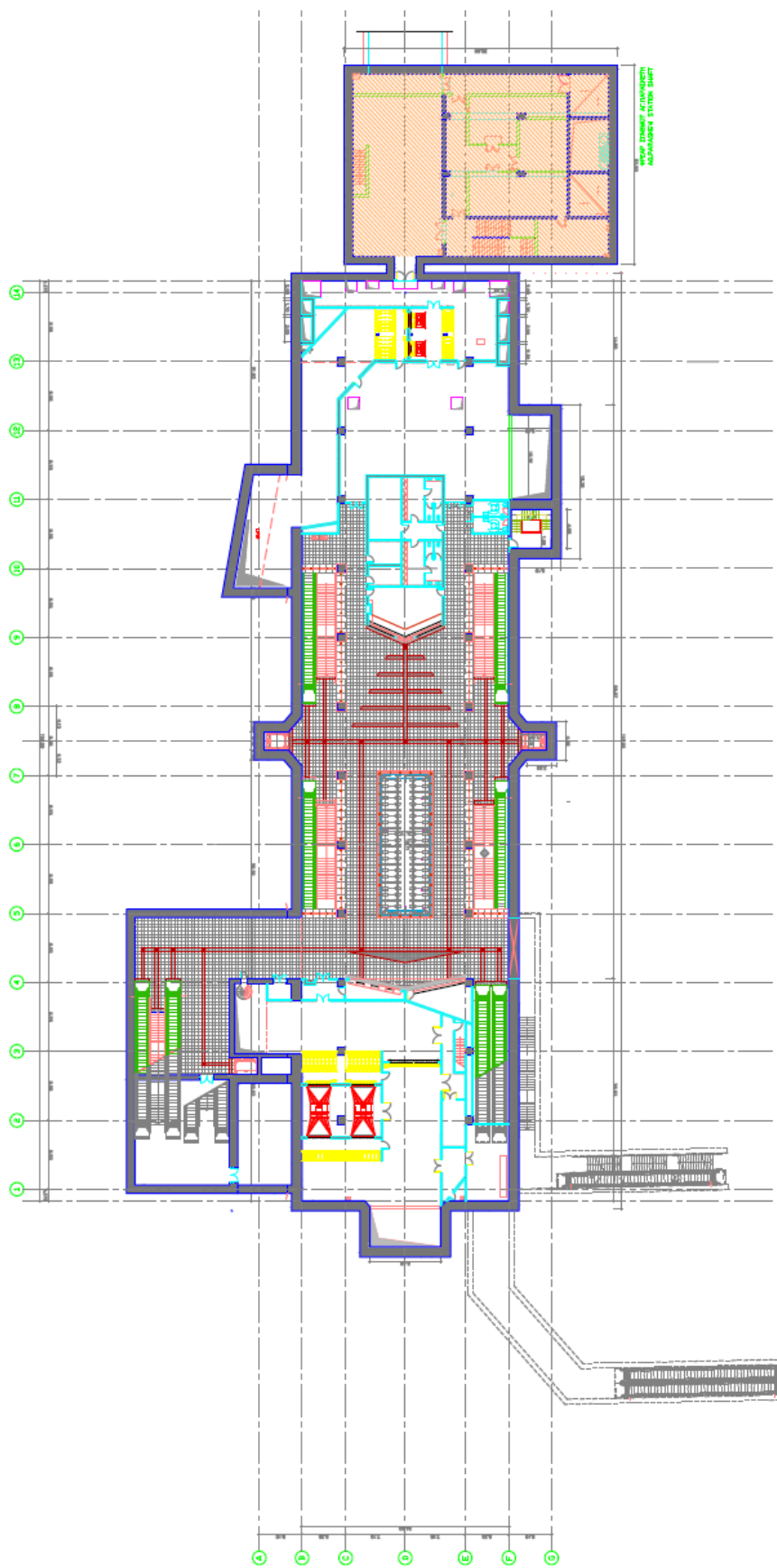
Η μέθοδος ανοικτού ορύγματος (Cut & Cover), χρησιμοποιήθηκε στο Μετρό της Αθήνας κατεξοχήν για την κατασκευή των σταθμών. Βέβαια κρίθηκε απαραίτητη η χρήση του και για κάποια τμήματα σηράγγων, όπου παρουσιάστηκαν κατασκευαστικά προβλήματα και καταπτώσεις του εδάφους. Η εφαρμογή της μεθόδου τόσο για τους σταθμούς όσο και για τα τμήματα των σηράγγων όπου χρησιμοποιήθηκε, παρέμεινε η ίδια, με διαφορές όπως είναι αυτονόητο στις διαστάσεις των κατασκευών.

Η διάνοιξη της σήραγγας με ανοικτή εκσκαφή (Εικόνα 4-1) εφαρμόζεται όταν το έργο κατασκευάζεται σε μικρό βάθος. Η μέθοδος ανοικτού ορύγματος εφαρμόζεται διαφορετικά σε ακατοίκητες και κατοικημένες περιοχές. Σε ακατοίκητες περιοχές δεν αντιμετωπίζουμε προβλήματα. Η εκσκαφή γίνεται σε όλο της το εύρος από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι το βάθος στο οποίο θα εδρασθεί το έργο, ενώ δε γίνεται αντιστήριξη των παρειών της εκσκαφής, οι οποίες διαμορφώνονται με την κλίση που επιτρέπουν τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Όταν υπάρχουν υπόγεια νερά η στάθμη υποβιβάζεται με διάφορες τεχνικές μέχρι να κατασκευαστεί το έργο.

Οι σταθμοί που επιλέγονται να κατασκευαστούν με τη μέθοδο της ανοικτής εκσκαφής θα ακολουθούν την παρακάτω τυπική διατομή, σχήμα 4-1 έως σχήμα 4-6.

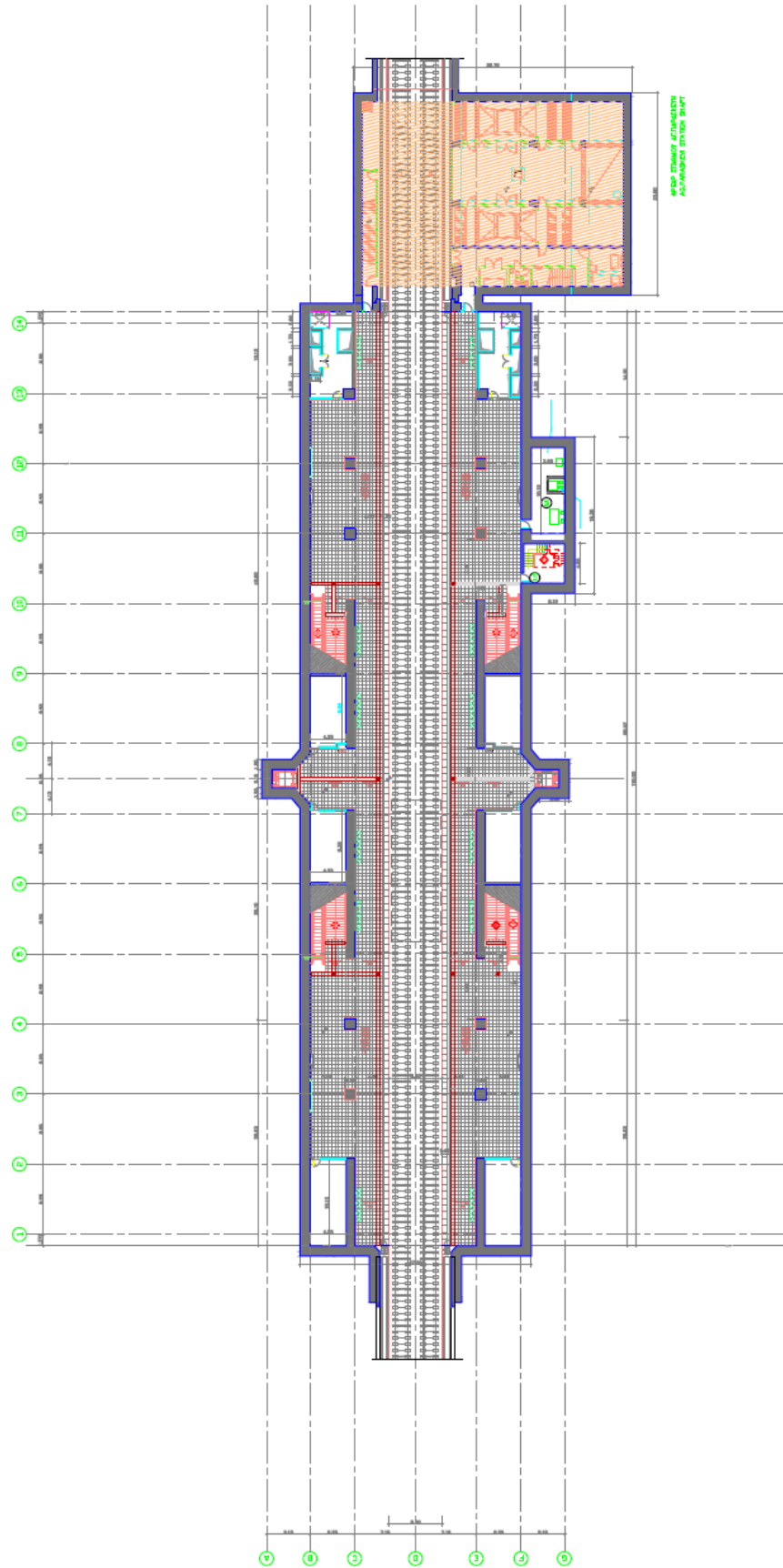


Σχήμα 4-1, Κάτοψη του σταθμού «Αγία Παρασκευή», Στο επίπεδο -1. Ανεκμετάλλετος χώρος.  
Πηγή: Μπαϊρακτάρης Δ. και Συνεργάτες.

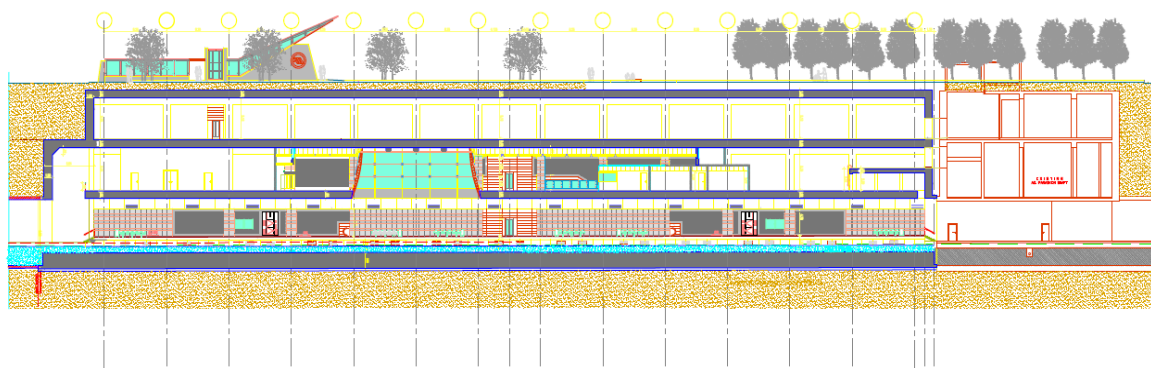


Σχήμα 4-2, Κάτοψη του σταθμού «Αγία Παρασκευή», Στο επίπεδο -2. Χώρος κίνησης επιβατών.  
Πηγή: Μπαϊρακτάρης Δ. και Συνεργάτες.

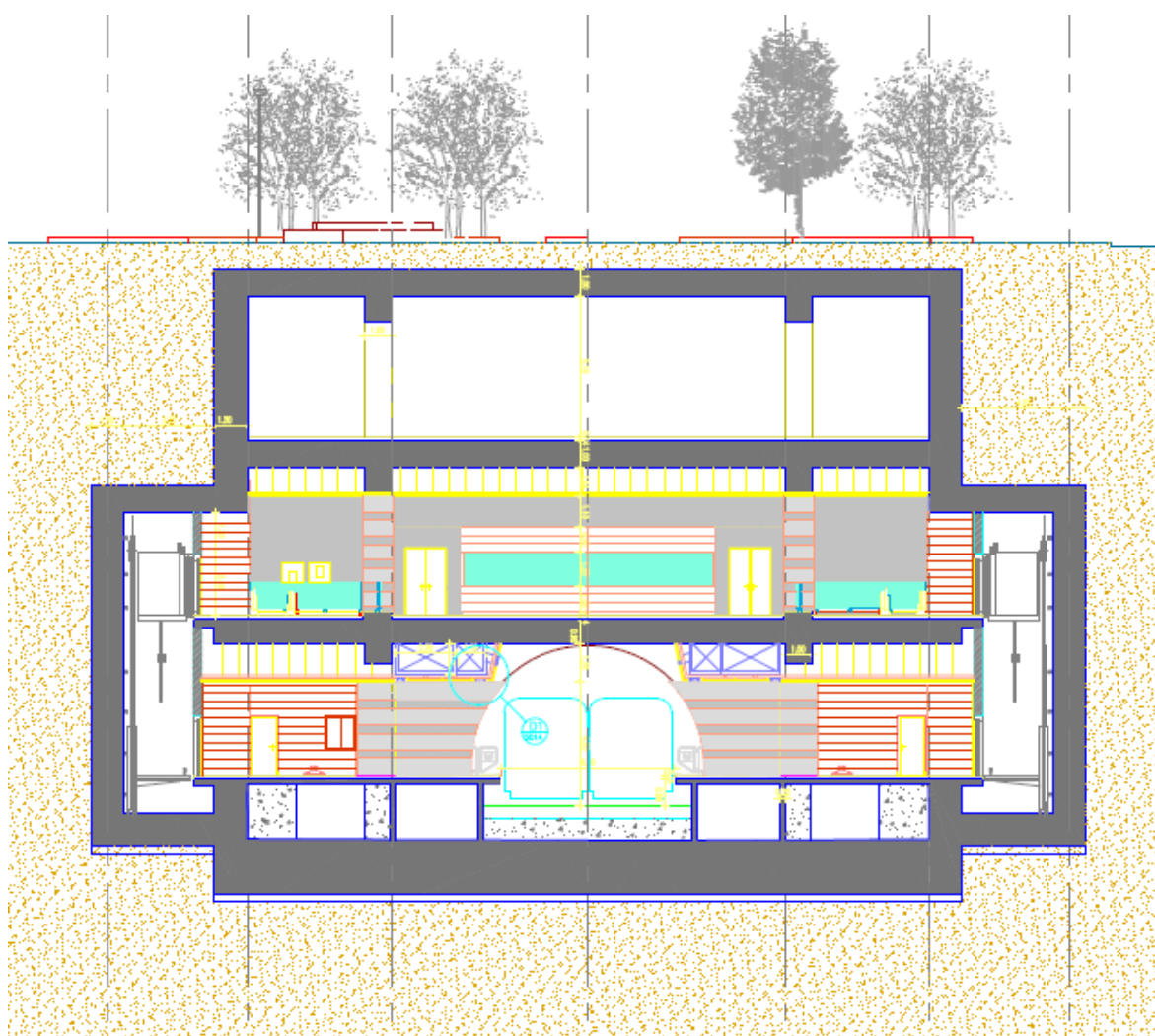




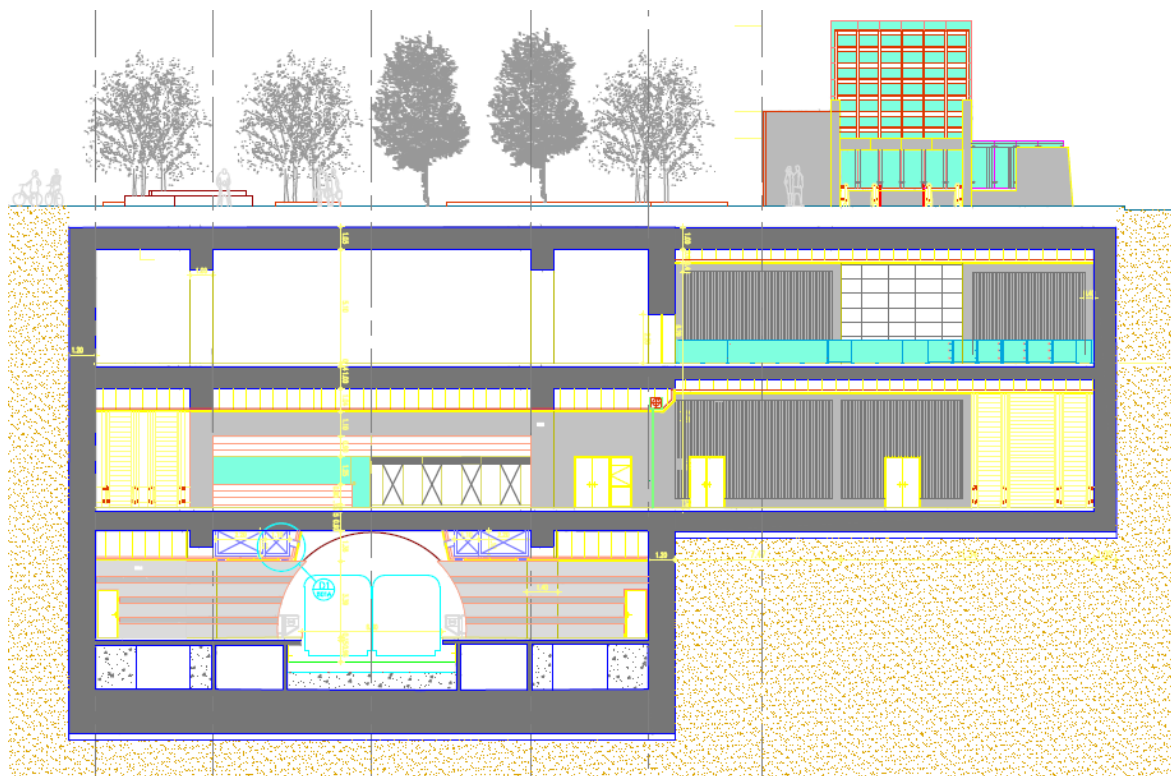
Σχήμα 4-3, Κάτοψη του σταθμού «Αγία Παρασκευή», Στο επίπεδο -3. Αποβάθρες.  
Πηγή: Μπαϊρακτάρης Δ. και Συνεργάτες.



Σχήμα 4-4, Μηκοτομή του σταθμού «Αγία Παρασκευή».  
Πηγή:Μπαϊρακτάρης Δ. και Συνεργάτες.



Σχήμα 4-5, Τομή του σταθμού «Αγία Παρασκευή».  
Πηγή:Μπαϊρακτάρης Δ. και Συνεργάτες.



Σχήμα 4-6, Τομή του σταθμού «Αγία Παρασκευή».  
Πηγή:Μπαϊρακτάρης Δ. και Συνεργάτες.

#### 4.2.1 Διαμόρφωση μικρού χώρου στάθμευσης στο κενό επίπεδο -1

Στους σταθμούς οι οποίοι κατασκευάζονται με τη μέθοδο ανοικτής εκσκαφής προκύπτει ένα επίπεδο (επίπεδο -1) κενού χώρου, όπως υποδεικνύεται στα παρακάτω σχέδια. Ο κενός αυτός χώρος, ο οποίος μέχρι και σήμερα δεν χρησιμοποιείται λειτουργικά από την Αττικό Μετρό, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως υπόγειος χώρος στάθμευσης. Ο υπόγειος αυτός χώρος στάθμευσης έχει χωρητικότητα 70 περίπου αυτοκινήτων και μπορεί να διαμορφωθεί σε όλους τους σταθμούς που κατασκευάζονται με αυτήν την μέθοδο, σχήμα 4-7. Καταλήγωντας, είναι σημαντικό να επισημανθεί η αναγκαιότητα υπόγειων χώρων στάθμευσης, έστω και μικρής χωρητικότητας, πλησίον των σταθμών του Μετρό.



Σχήματα 4-7 , Κάτοψη του επιπέδου -1 του σταθμού «Αγία Παρασκευή»,  
Πηγή:Μπαϊρακτάρης Δ. και Συνεργάτες.  
Πιθανός τρόπος χωροθέτησης των θέσεων στάθμευσης,



Εικόνα 4-1, Διάνοιξη σταθμου με τη μέθοδο ανοικτής εκσκαφής, Πηγή: Αττικό Μετρό

#### 4.2.2 Ανοικτή εκσκαφή και επίχωση

Οι αβαθείς σήραγγες, όπως οι σήραγγες αγωγών κοινής ωφέλειας, οι υπόνομοι, σήραγγες και σταθμοί Μετρό, και τα αρχικά μήκη των συγκοινωνιακών σηράγγων κατασκευάζονται συχνά με τη μέθοδο της ανοικτής εκσκαφής και επίχωσης. Η διάνοιξη αυτή είναι η οικονομικότερη και πρακτικότερη μέθοδος για βάθη μικρότερα από 10m. Ειδικά στις σήραγγες Μετρό είναι συχνά τα βάθη ανοικτής εκσκαφής των 20m. Η σήραγγα κατασκευάζεται ως μία δύσκαμπτη κυβωτιοειδής ή πεταλοειδής κατασκευή μέσα σε

όρυγμα. Η μέθοδος χρησιμοποιείται και στις εισόδους των σηράγγων όπου το ύψος των υπερκείμενων είναι μικρό και τα πετρώματα αποσαθρωμένα.

#### Το όρυγμα της σήραγγας

Προκειμένου να κατασκευασθεί όρυγμα της σήραγγας απαιτείται η διαμόρφωση ασφαλών πρανών. Αυτά είναι δυνατόν να είναι είτε κεκλιμένα είτε κατακόρυφα.



Εικόνα 4-2, Τοίχοι αντιστήριξης πρανών, Πηγή: Αττικό Μετρό

#### Κεκλιμένα πρανή

Όπου ο χώρος κατασκευής το επιτρέπει, όπως σε περιοχές έξω από την πόλη, η εκσκαφή συμφέρει οικονομικά να γίνει με τη διαμόρφωση ευσταθών κεκλιμένων πρανών. Γενικά η κλίση των πρανών καθορίζεται από τη συνοχή και τη γωνία εσωτερικής τριβής του εδάφους.

### Αντιστηριζόμενα κατακόρυφα πρανή

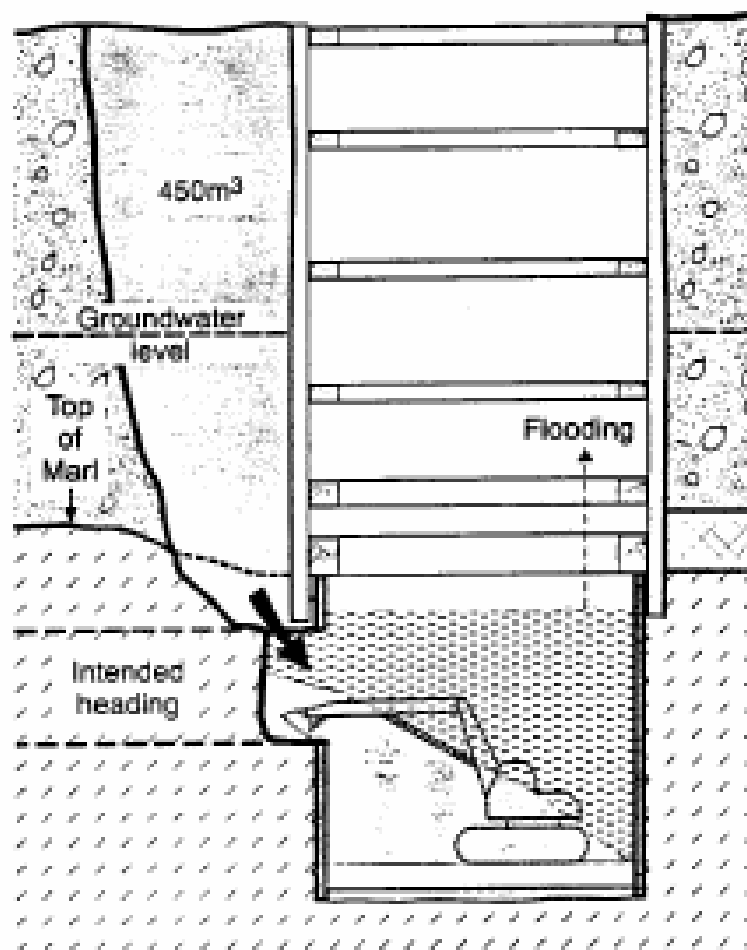
Η ανεπάρκεια ελεύθερου χώρου μέσα στις πόλεις επιβάλλει τις περισσότερες φορές την κατασκευή κατακόρυφων πρανών(Εικόνα 4-2). Η απαίτηση για ευστάθεια των πρανών απαιτεί την αντιστήριξη τους με πασσάλους ή τοιχία από σκυρόδεμα. Οι εδαφικές πιέσεις που ασκούνται στην αντιστήριξη εξαρτώνται από τον τύπο της αντιστήριξης και από την ποιότητα του εδάφους. Οι συνήθεις τύποι αντιστήριξης είναι οι εμπηγνυόμενοι πάσσαλοι με ενδιάμεσο σανίδωμα, οι πασσαλοσανίδες και τα συνεχή τοιχία από σκυρόδεμα κατασκευασμένα με τη μέθοδο της τάφρου μπεντονίτη.

### Γρήγορες οροφές

Όταν η εκσκαφή πρέπει να γίνει κάτω από αστικούς δρόμους η ανοικτή εκσκαφή προκαλεί δυσκολίες στη διέλευση οχημάτων και γενικά στις επιφανειακές δραστηριότητες. Αυτή η ενόχληση μειώνεται με την εκσκαφή της σήραγγας σε δύο φάσεις, μία ανοικτή μέχρι του βάθους της οροφής της σήραγγας και μία υπόγεια κάτω από αυτήν. Υπάρχει ποικιλία τέτοιων μεθόδων. Η μέθοδος doorframe ακολουθεί κάποια συγκεκριμένα στάδια. Στην πρώτη φάση της μεθόδου αυτής γίνονται επιφανειακά κατά σειρά η εκσκαφή του εδάφους μέχρι του επιπέδου της οροφής της σήραγγας, η τοποθέτηση λοξών πασσάλων πλευρικά της σήραγγας, η κατασκευή της πλάκας οροφής της σήραγγας από οπλισμένο σκυρόδεμα και η επανεπίκωση της οροφής και αποκατάσταση του δρόμου. Στην επόμενη φάση γίνεται υπόγεια η διάνοιξη και κατασκευή της σήραγγας.

### Εκσκαφή και έλεγχος του νερού

Η εκσκαφή αβαθών, μέχρι 6m, ορυγμάτων γίνεται συνήθως με τσάπα η οποία και φορτώνει απευθείας τα μπάζα στα φορτηγά. Για βαθύτερα ορύγματα η εκσκαφή γίνεται είτε με κάδους τύπου αρπαγής είτε με αυτοκινούμενους εκσκαφείς. Θα πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή στον έλεγχο της στάθμης του νερού πίσω από το όρυγμα (Σχήμα 4-8). Τα νερά μέσα στο όρυγμα αντλούνται από τάφρους συγκέντρωσης τους.



Σχήμα 4-8, Ατύχημα λόγω εισροής υδάτων σε εκσκαφή στο Βερολίνο,  
 Πηγή: Σχεδιασμός υπογείων έργων, Μ. Καββαδας

### Στεγανοποίηση

Στις περισσότερες σήραγγες και ιδιαίτερα στις σήραγγες διέλευσης πεζών, οχημάτων ή μετρό, είναι αναγκαία η υδατοστεγάνωση. Όταν η σήραγγα βρίσκεται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα οι εισροές και η διήθηση νερού είναι αναπόφευκτες και απαιτούν διορθωτικά μέτρα μετά την κατασκευή, όπως ενέσεις, προκειμένου να σφραγισθούν οι διαρροές. Εν τούτοις οι διαρροές μπορούν να είναι ελάχιστες χάρη στον καλό σχεδιασμό και την καλή ποιότητα της κατασκευής. Πολλές προδιαγραφές απαιτούν πλήρη υδατοστεγανότητα της σήραγγας αμέσως μετά την κατασκευή του σκυροδέματος. Στις σήραγγες που βρίσκονται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα τοποθετείται περιμετρικά έξω από αυτές στεγανοποιητική μεμβράνη και υδρομαστευτικό γεώφασμα.



### Κριτήρια κατασκευής της μεθόδου ανοικτής εκσκαφής

Τα βασικά κριτήρια για την πορεία κατασκευής με τη μέθοδο του ανοικτού ορύγματος είναι :

- οι γεωτεχνικές συνθήκες του εδάφους
- το βάθος της κατασκευής
- το περιβάλλον
- η ύπαρξη αρκετού ελεύθερου χώρου στην επιφάνεια.

Γεωτεχνικές συνθήκες όπου εμφανίζονται χαλαρά εδάφη και έλλειψη συνοχής, οδηγούν υποχρεωτικά στην εφαρμογή της μεθόδου ανοικτού ορύγματος.

### **4.2.3 Πορεία εργασιών**

#### Προκαταρκτικές εργασίες

Οι προκαταρκτικές εργασίες αφορούν θέματα, που πρέπει να μελετηθούν και να αντιμετωπιστούν για να μπορέσει η μέθοδος να εφαρμοσθεί με επιτυχία χωρίς να προκύψουν προβλήματα κατά τη διάρκεια εκσκαφής.

#### Παράκαμψη δικτύων κοινής ωφέλειας

Κατά την εκσκαφή υπάρχει περίπτωση να βρεθούμε αντιμέτωποι με διάφορους υπόγειους αγωγούς λυμάτων, ύδρευσης, καλωδίων κλπ. Για την αποφυγή καταστροφής τους και προξένησης βλάβης από αυτούς (π.χ. εισροή νερού στο όρυγμα), ζητείται η συνδρομή των αρμόδιων υπηρεσιών κοινής ωφελείας για τον εντοπισμό τους, ενώ καταρτίζεται μελέτη για την παράκαμψη τους.

- Ερευνητικές τάφροι
- Πρόταση / αποδοχή παρακάμψεων
- Μελέτες (σχέδια εκτέλεσης)
- Εργασίες από υπεργολάβους έργων Πολιτικού Μηχανικού και σχετικών υπηρεσιών

### Οργάνωση χώρου εργασίας

Πριν από την έναρξη των εργασιών της μεθόδου ανοικτού ορύγματος πρέπει να γίνει ο ορισμός των επιβλεπόντων του έργου, η εγκατάσταση εργοταξιακών γραφείων, συνεργείων, μηχανημάτων κλπ.

- Σχέδια εγκατάστασης στα διάφορα εργοτάξια
- Πρόταση εργασιών προπαρασκευής για την πρώτη φάση των εργασιών

### Παρακάμψεις οδικού δικτύου

Σε μια πόλη πυκνοκατοικημένη και με κυκλοφοριακά προβλήματα όπως είναι η Αθήνα, ήταν επόμενο η όρυξη των τάφρων της ανοικτής εκσκαφής να γίνεται σε χώρους, που κινούνται αυτοκίνητα. Για αυτό κρίθηκε απαραίτητη η παρέμβαση στο κυκλοφοριακό δίκτυο και στη σήμανση με διάφορες παρακάμψεις.

- Για εργασίες προπαρασκευής ή εγκαταστάσεις εργοταξίων
- Για μόνιμες εργασίες

### Σχεδιασμός

Στη μέθοδο του ανοικτού ορύγματος, επειδή υπάρχει μεγάλο αντίκτυπο στη μορφολογία της επιφάνειας, αλλά και για την ελαχιστοποίηση του υλικού που θα απομακρυνθεί, ο σχεδιασμός και η κατασκευή του έργου είναι απόλυτα συνδεδεμένα μεταξύ τους. Σε αυτά συμπεριλαμβάνεται τόσο ο γενικός σχεδιασμός της μορφής του έργου, καθώς και ο σχεδιασμός μεμονωμένα του ορύγματος του φορέα, αλλά και της υποστήριξης και των βελτιώσεων του εδάφους.

- Λεπτομερής τελικός σχεδιασμός τοιχίων αντιστήριξης / εκσκαφής
- Λεπτομερής τελικός σχεδιασμός του δομικού κελύφους

### Κύριες εργασίες

Στις κύριες εργασίες συμπεριλαμβάνονται όλες οι εργασίες που έχουν άμεση σχέση με την ίδια την κατασκευή, αλλά και της σύνδεσης αυτής με το υπόλοιπο δίκτυο (σταθμοί με σήραγγα, τμήματα σήραγγας με ανοικτή εκσκαφή).

- Προ εργασιών με TBM, για σταθμούς στην πορεία των TBM
- Τοιχία\_αντιστήριξης / εκσκαφή / αποστράγγιση / υδατοστεγανότητα / δομικό κέλυφος
- «Τελειώματα»
- Αποκατάσταση χώρων

#### **4.2.4 Γενική μέθοδος κατασκευής**

Η έλλειψη χώρου στην επιφάνεια του ορύγματος που πρόκειται να εκσκαφθεί, για την όσο το δυνατόν μικρότερη όχληση του περιβάλλοντος χώρου, αναγκάζει στην επιλογή υψηλής γωνίας πρανών, τα οποία είναι σχεδόν κατακόρυφα. Η κλίση αυτή σε συνδυασμό με τον κατακερματισμό του εδάφους οδηγεί στη λήψη μέτρων υποστήριξης, ακόμη και πριν την όρυξη (τοιχία Βερολίνου).

### Τοιχία Βερολίνου

Τα τοιχία αυτά δημιουργούνται στην περίμετρο του ορύγματος πριν από την εκσκαφή αυτού. Με τη βοήθεια ειδικού φορείου γίνεται διάνοιξη οπών διαμέτρου 600 μέχρι 1.200 χιλ., τοποθέτηση σιδηρού οπλισμού και σκυροδέτηση ή τοποθέτηση δοκού σχήματος 'H', σε όλο το βάθος ή μέρος της εκσκαφής, σύμφωνα με τις συνθήκες του εδάφους. Στις επιφάνειες μεταξύ των πασσάλων γίνεται τοποθέτηση δομικών πλεγμάτων και εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Έτσι δημιουργείται ένα τοίχος προστασίας που συγκρατεί τα τοιχώματα του εδάφους.

### Εκσκαφή

Μετά την παραπάνω προϋποστήριξη του εδάφους, ακολουθεί η εκσκαφή του ορύγματος με χρήση εκσκαπτικών μηχανημάτων. Η εκσκαφή εκτελείται σε στρώσεις, με χρήση

εκτοξευόμενου σκυροδέματος, αγκύρια και «νύχια» για τσιμεντοπασσάλους ή αντιστηρίγματα για δοκούς σχήματος 'H'. Το πάχος του σκυροδέματος προσαρμόζεται ανάλογα με τις συνθήκες του εδάφους. Συχνή είναι και η χρήση αντηρίδων που τοποθετούνται εγκάρσια στη διεύθυνση του ορύγματος.

Για την προστασία της ανοικτής εκσκαφής από την εισροή νερού, ακολουθούνται τα παρακάτω:

- Σύστημα αποστράγγισης με γεώφασμα
- Αγωγός αποστράγγισης
- Χαλίκι και λεπτή στρώση τσιμέντου

Μετά από την εξασφάλιση στεγανότητας της εκσκαφής ξεκινάει η διαδικασία κατασκευής του φορέα της σήραγγας, που κατασκευάζεται με συνήθεις δομικές εργασίες, αποκλειστικά από οπλισμένο σκυρόδεμα *in situ*, φροντίζοντας να αντιμετωπισθούν αποτελεσματικά τα φορτία του ίδιου φορέα του υλικού επανεπίχωσης, αλλά και κινητών και μελλοντικών φορτίων (βαριά οχήματα, μελλοντική κατασκευή ψηλών κτιρίων πάνω από τον φορέα κλπ.).

Η σειρά κατασκευής του φορέα της σήραγγας έχει ως εξής:

1. Πλάκα δαπέδου
2. Τοιχία και ενδιάμεση πλάκα
3. Τοιχία κάτω της πλάκας κάλυψης
4. Πλάκα κάλυψης
5. Στεγανοποίηση της πλάκας πριν την επανεπίχωση
6. Κατασκευή προσβάσεων

#### Επανεπίχωση

Ακολουθεί η επανεπίχωση του ορύγματος και του κατασκευασμένου φορέα καθώς και η αποκατάσταση της ανώτερης επιφάνειας.

Μετά τη αποκατάσταση ακολουθούν:

- Επανακατασκευή του οδικού δικτύου στην επιφάνεια ταυτόχρονα με την πορεία εργασιών των φάσεων κατασκευής.
- Τελική αποκατάσταση της επιφάνειας, των οδών και των πεζοδρομίων. Η αποκατάσταση της επιφάνειας μπορεί να γίνει προοδευτικά κατά μήκος της κατασκευής, συμβαδίζοντας με την πρόοδο των εργασιών.

#### Εξοπλισμός κυρίων δραστηριοτήτων

Για την κατασκευή όλων των παραπάνω, είναι απαραίτητος ο παρακάτω εξοπλισμός.

A. Για την υποστήριξη και κάθε αποστραγγιστική εργασία που απαιτεί διάνοιξη οπών:

- Εξοπλισμός με διατρητικά φορεία και τρυπάνια
- Διατρητικό συγκρότημα για στερέωση

B. Για την εκσκαφή και τις μετακινήσεις του υλικού που εξορύσσεται:

- Υδραυλικός εκσκαφέας – αερόσφουρα
- Προωθητής / ελαστικοφόρος φορτωτής
- Φορτηγά (εξαρτάται από την τοποθεσία)

C. Για την προσωρινή και τη μόνιμη υποστήριξη, καθώς και για τη μεταφορά στοιχείων υποστήριξης:

- Εξοπλισμός εκτοξευόμενου σκυροδέματος
- Στατικός / κινητός γερανός
- Κινητές αντλίες σκυροδέματος
- Φορτηγά μίξης σκυροδέματος

D. Για την παροχή ενέργειας και την ανάγκη χώρου απόθεσης υλικού:

- Μετασχηματιστής (πηγή: Αττικό Μετρό)

### 4.3 Κατασκευή σταθμού με υπόγεια διάνοιξη

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

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

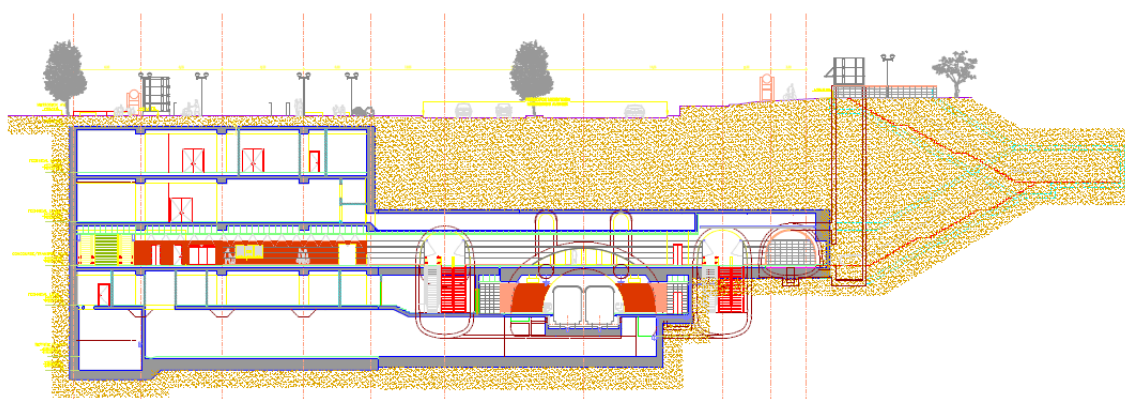
Η συνήθης εφαρμογή της μεθόδου NATM είναι η διάνοιξη της διατομής της σήραγγας σε μια ή περισσότερες φάσεις και η άμεση υποστήριξη του τοιχώματος με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (απλό, ινοπλισμένο, οπλισμένο με χαλύβδινο πλέγμα ή ενισχυμένο με χαλύβδινες νευρώσεις από ράβδους ή διατομές I) και αγκύρια (παθητικά ή προεντεταμένα). Σημειώνεται ότι η υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας μόνον με αγκύρια χωρίς εκτοξευόμενο σκυρόδεμα υπάγεται επίσης στην κατηγορία της μεθόδου NATM. Τέλος, κατά τη μέθοδο NATM η ως άνω άμεση υποστήριξη συνήθως ακολουθείται σε μεταγενέστερο χρόνο από την κατασκευή της "τελικής επένδυσης" της σήραγγας η οποία θεωρείται ως φέρον στοιχείο. (πηγή: Μ. Καββαδας, 2005)

Η βασική αρχή της μεθόδου NATM είναι ότι η διάνοιξη της σήραγγας και η κατασκευή της άμεσης υποστήριξης γίνονται κατά τρόπο ώστε να ενεργοποιηθεί η αντοχή της περιβάλλουσας βραχώμαζας (μέσω της ελεγχόμενης σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας) σε ικανό βαθμό ώστε να μειωθούν αρκετά οι πιέσεις επί της άμεσης υποστήριξης αλλά όχι τόσο ώστε να προκληθεί αποδιοργάνωση της βραχώμαζας με

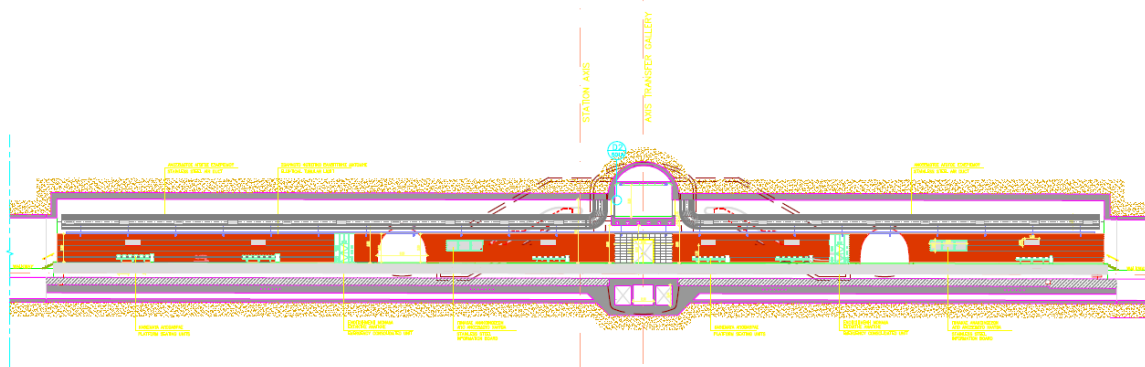
συνέπεια την αύξηση των πιέσεων στην άμεση υποστήριξη και τελικώς την κατάρρευση της διατομής της σήραγγας. (πηγή: Μ. Καββαδας, 2005)

Στην περίπτωση της εκσκαφής αστικών σηράγγων η βασική αρχή της Νέας Αυστριακής Μεθόδου δεν είναι δυνατό να εφαρμοσθεί. Η εφαρμογή ελεγχόμενης σύγκλισης της βραχομάζας είναι απαγορευτική στην περίπτωση των αστικών σηράγγων καθώς αυτό είναι πιθανό να προκαλέσει ζημιές στην παρακείμενες κατασκευές. Για το λόγο αυτό η κατασκευή των σταθμών δεν είναι δυνατό να αναφέρεται ως NATM αλλά ως μέθοδος υπόγειας διάνοιξης

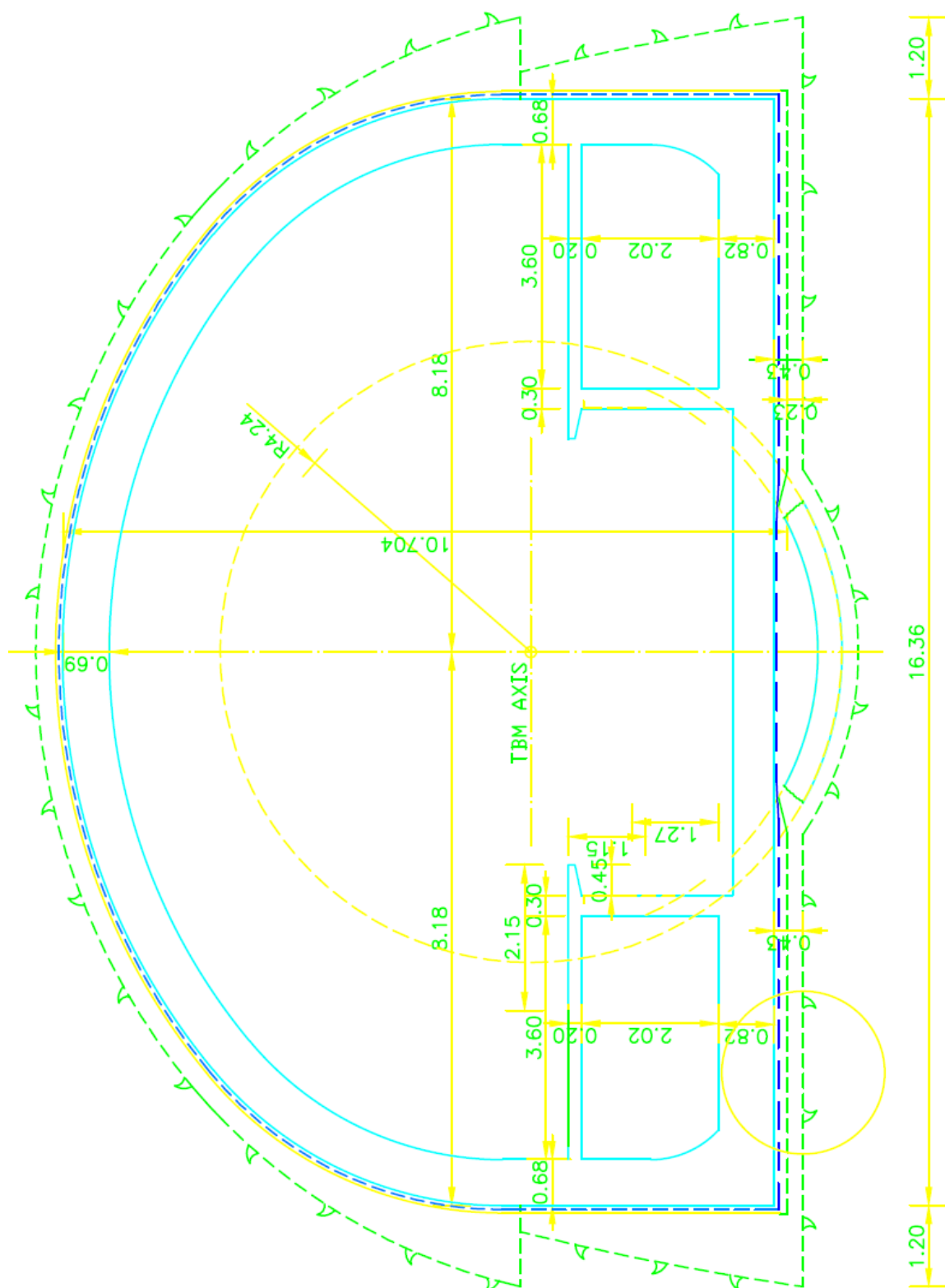
Οι σταθμοί που επιλέγονται να κατασκευαστούν με τη μέθοδο της υπόγειας διάνοιξης θα ακολουθούν την παρακάτω τυπική διατομή, σχήμα 4-9 έως σχήμα 4-13.



Σχήμα 4-9, Τομή του σταθμού «Χολαργός», που έχει κατασκευαστεί με υπόγεια διάνοιξη  
 Πηγή:Μπαϊρακτάρης Δ. και Συνεργάτες.

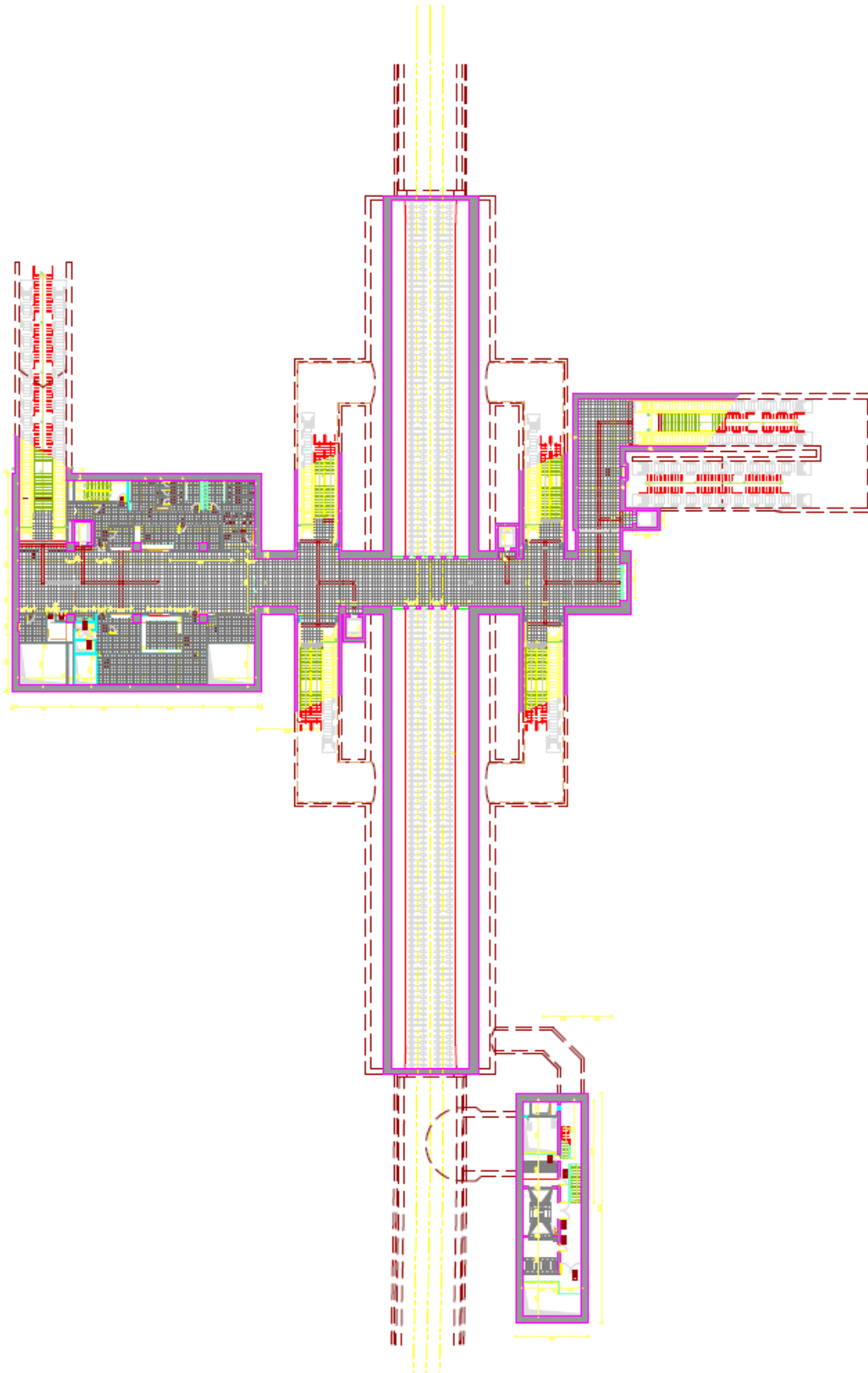


Σχήμα 4-10, Μηκτομή του σταθμού «Χολαργός», που έχει κατασκευαστεί με υπόγεια διάνοιξη.  
 Πηγή:Μπαϊρακτάρης Δ. και Συνεργάτες.

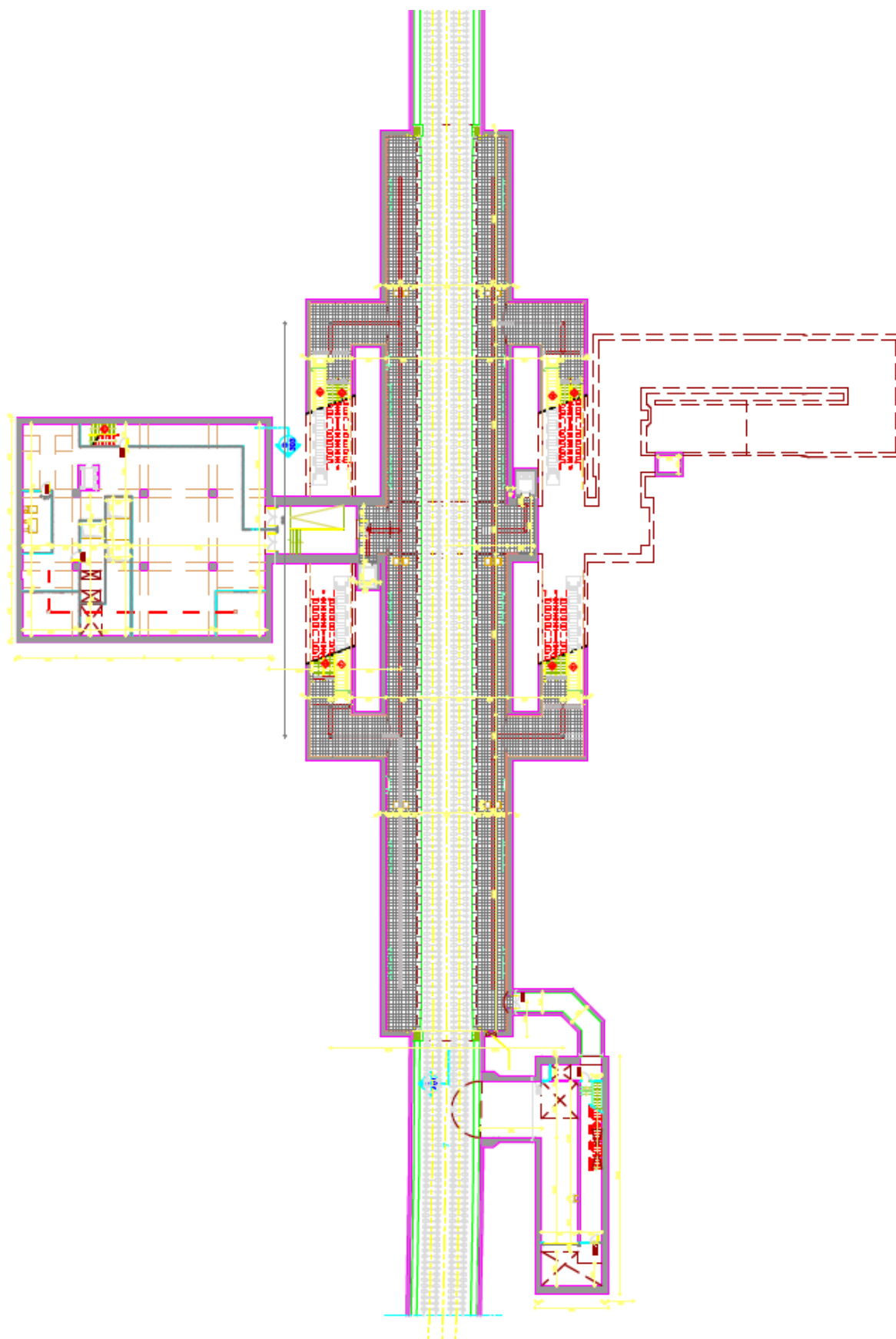


Σχήμα 4-11, Διατομή του σταθμού «Χολαργός», που έχει κατασκευαστεί με υπόγεια διάνοιση.  
 Πηγή:Μπαϊρακτάρης Δ. και Συνεργάτες.





Σχήμα 4-12, Κάτοψη του σταθμού «Χολαργός», Χώρος κίνησης επιβατών.  
Πηγή:Μπαϊρακτάρης Δ. και Συνεργάτες.



Σχήμα 4-13, Κάτοψη του σταθμού «Χολαργός», Επίπεδο αποβάθρας.  
Πηγή:Μπαϊρακτάρης Δ. και Συνεργάτες.

### 4.3.1 Χαρακτηριστικά της μεθόδου υπόγειας διάνοιξης



Εικόνα 4-3, Κατασκευή σταθμού με τη υπόγεια διάνοιξη, Πηγή:Αττικό Μετρό

Δεδομένου ότι ένα σημαντικό ποσοστό της σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας συμβαίνει εμπρός από το μέτωπο εκσκαφής (δηλαδή πριν η εκσκαφή φθάσει στη συγκεκριμένη θέση) και επιπλέον ότι η σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας αυξάνει με ταχείς ρυθμούς στην περιοχή του μετώπου εκσκαφής, προκύπτει ότι στις περισσότερες περιπτώσεις η αντοχή της βραχώμαζας έχει ενεργοποιηθεί επαρκώς πολύ κοντά στο μέτωπο της εκσκαφής και συνεπώς η άμεση υποστήριξη θα πρέπει να κατασκευασθεί κατά το δυνατόν πλησιέστερα στο μέτωπο εκσκαφής.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της υπόγειας διάνοιξης είναι:

- A. Η σήραγγα εκσκάπτεται και υποστηρίζεται. Η εκσκαπτική ακολουθία και οι περιοχές του μετώπου μπορούν να ποικίλουν (π.χ. άνω στοά προπορείας, βαθμίδα και ανάστροφο).
- B. Η αρχική υποστήριξη παρέχεται από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε συνδυασμό με κάποια από τα παρακάτω:

- Χαλύβδινο δομικό πλέγμα
- Χαλύβδινα τόξα (συνήθως δικτυωτούς φορείς – lattice girders)
- Ενίσχυση του εδάφους (π.χ. αγκύρια, έμπηξη πασσάλων)

C. Η μόνιμη υποστήριξη συνήθως (αλλά όχι πάντα) παρέχεται από μια επένδυση σκυροδέματος που παράγεται επί τόπου, το οποίο συνήθως επεξεργάζεται μόνο του για σχεδιαστικούς σκοπούς (Εικόνα 4-3). Έτσι, η NATM καθορίζεται ως μια μέθοδος ‘παραγωγής’ υπόγειων χώρων με τη χρήση όλων των διατιθέμενων μέσων.

(πηγή: Σοφιανός,2010)

#### 4.3.2 Αρχές της μεθόδου υπόγειας διάνοιξης

Η παραπάνω αρχή της μεθόδου υπόγειας διάνοιξης εξειδικεύεται ως εξής:

1. Η εκσκαφή της διατομής της σήραγγας συνήθως γίνεται σε περισσότερες της μιας φάσεις. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η επιφάνεια του μετώπου της εκσκαφής κάθε φάσης και συνεπώς μειώνεται η συνολική σύγκλιση του τοιχώματος (σε σχέση με την εκσκαφή της διατομής σε μια φάση) και βελτιώνεται η ευστάθεια της διατομής αποφεύγοντας την αποδιοργάνωση της περιβάλλουσας βραχώμαζας.
2. Κατασκευή της άμεσης υποστήριξης της διατομής σε μικρή απόσταση από το μέτωπο της εκσκαφής ώστε να περιορισθεί η περαιτέρω σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας και να αποφευχθεί η αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας. Αυτό επιτυγχάνεται με την προώθηση της κάθε φάσης εκσκαφής σε μικρά βήματα της τάξεως των 1-2 μέτρων αναλόγως της ποιότητας της βραχώμαζας. Το μήκος του βήματος εκσκαφής μειώνεται όσο πτωχότερη είναι η ποιότητα της βραχώμαζας (επειδή στις περιπτώσεις αυτές η αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας είναι ταχύτερη).
3. Η άμεση υποστήριξη της διατομής θα πρέπει να αναλάβει φορτία κατά το δυνατόν ταχύτερα ώστε να περιορισθεί η περαιτέρω σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας και συνεπώς η αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πλεονεκτεί ως προς την άποψη αυτή επειδή βρίσκεται σε απόλυτη επαφή με την περιβάλλουσα βραχώμαζα (και συνεπώς η παραμικρή

σύγκλιση του τοιχώματος προκαλεί τη φόρτισή του) και επιπλέον έχει μικρό χρόνο πήξεως (μερικές ώρες). Η χρήση αγκυρίων βράχου σε κανονικό κানাβο οπλίζει την περιβάλλουσα βραχώμαζα και συντελεί στην καλύτερη ανάπτυξη της λειτουργίας τόξου στη βραχώμαζα. Πράγματι, η τάση της βραχώμαζας αν παραμορφωθεί διατμητικά προκαλεί (μέσω της διασταλτικότητας) την ανάπτυξη εφελκυσμού στα αγκύρια και συνεπώς θλίψης στη βραχώμαζα. Η θλίψη της βραχώμαζας αυξάνει την αντοχή της και μειώνει την παραμορφωσιμότητα της λόγω εγκιβωτισμού (λειτουργία ανάλογη με αυτή του σπειροειδούς οπλισμού στα υποστηλώματα).

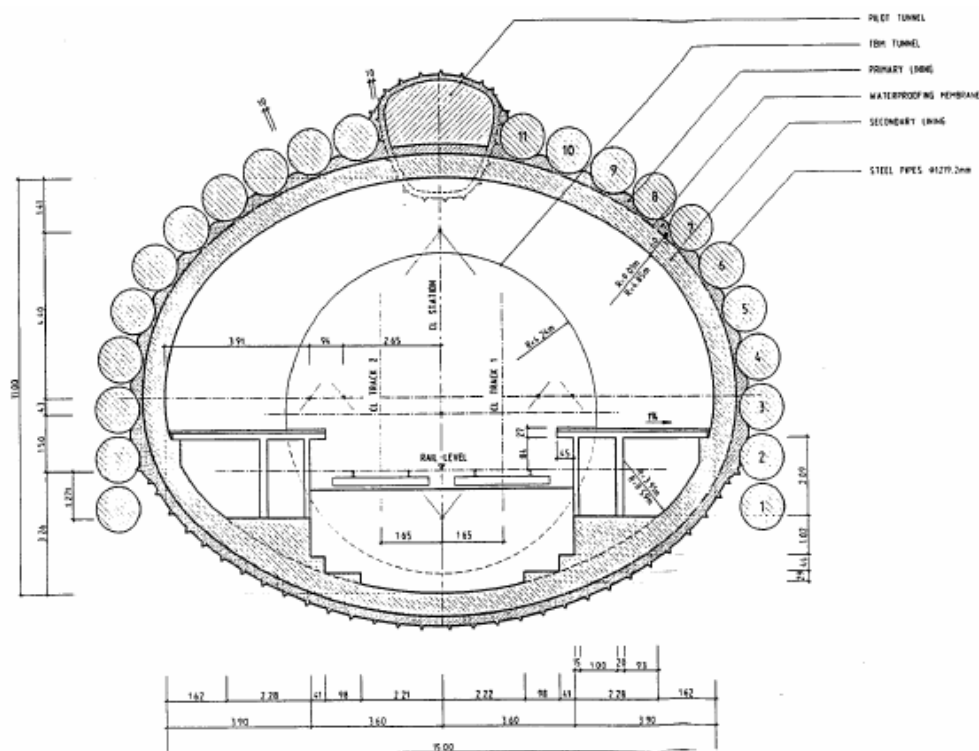
4. Ολοκλήρωση του δακτυλίου του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο σύνολο της διατομής (δηλαδή και στο δάπεδο). Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένας κλειστός δακτύλιος με πολύ μικρή παραμορφωσιμότητα ώστε να περιορίζονται οι περαιτέρω συγκλίσεις του τοιχώματος. Η δημιουργία κλειστού δακτυλίου με την ταχεία σκυροδέτηση του δαπέδου (early invert closure) συντελεί τα μέγιστα στη μείωση της σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας και στην ευστάθεια της διατομής. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση βραχώμαζας με καλά μηχανικά χαρακτηριστικά συχνά δεν είναι απαραίτητο να ολοκληρώνεται ο δακτύλιος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, δηλαδή δεν επενδύεται με σκυρόδεμα το δάπεδο της σήραγγας.
5. Στην περίπτωση διάνοιξης σηράγγων σε βραχώμαζα με πολύ πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά ή σε εδαφικούς σχηματισμούς, είναι συνήθης η εμφάνιση φαινομένων αστάθειας του μετώπου της εκσκαφής (face instability). Τα φαινόμενα αυτά προκαλούν αύξηση της σύγκλισης και αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας με πιθανή κατάληξη την κατάρρευση της σήραγγας. Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορούν να ληφθούν μέτρα βελτίωσης της ευστάθειας του μετώπου, όπως αύξηση του αριθμού των φάσεων εκσκαφής (ώστε να μειωθούν οι διαστάσεις του μετώπου), διαμόρφωση του μετώπου με κλίση ως προς την κατακόρυφο (δηλαδή αφήνοντας έναν εδαφικό τάκο στον πόδα του μετώπου), ενίσχυση του μετώπου με αγκύρια, ενίσχυση της οροφής με ράβδους (spiles) ή δοκούς προπορείας (forepoling), κατασκευή τσιμεντενέσεων, επένδυση του μετώπου με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κλπ.
6. Η πυκνότητα των μέτρων άμεσης υποστήριξης προσαρμόζεται στις επιτόπου συνθήκες (Σχήμα 4-14). Ειδικότερα, η μέθοδος υπόγειας διάνοιξης βασίζεται σε

μετρήσεις της συμπεριφοράς του τμήματος της σήραγγας που έχει ήδη διανοιχθεί (όπως μετρήσεις της σύγκλισης του τοιχώματος, της πίεσης της βραχόμαζας στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, της θλιπτικής τάσης στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κλπ). Με τον τρόπο αυτό, οποιαδήποτε απόκλιση από την προηγούμενη συμπεριφορά θα πρέπει να αξιολογείται και να ερμηνεύεται, στη συνέχεια δε να αντιμετωπίζεται με κατάλληλη προσαρμογή των μέτρων άμεσης υποστήριξης. (πηγή: Μ. Καββαδας, 2005)

### 4.3.3 Σχεδιασμός

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

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



Σχήμα 4-14, Τυπική διατομή εκσκαφής σταθμού στο Μοναστηράκι με προστασία διαμήκων σωλήνων πληρωμένων με σκυρόδεμα, Πηγή: Σχεδιασμός υπογείων έργων, Μ. Καββαδάς

#### 4.3.4 Φάσεις εκσκαφής

Η εκσκαφή σήραγγων με τη μέθοδο υπόγειας διάνοιξης συνήθως γίνεται σε περισσότερες της μιας φάσεις.

Τα κυριότερα συστήματα εκσκαφής είναι:

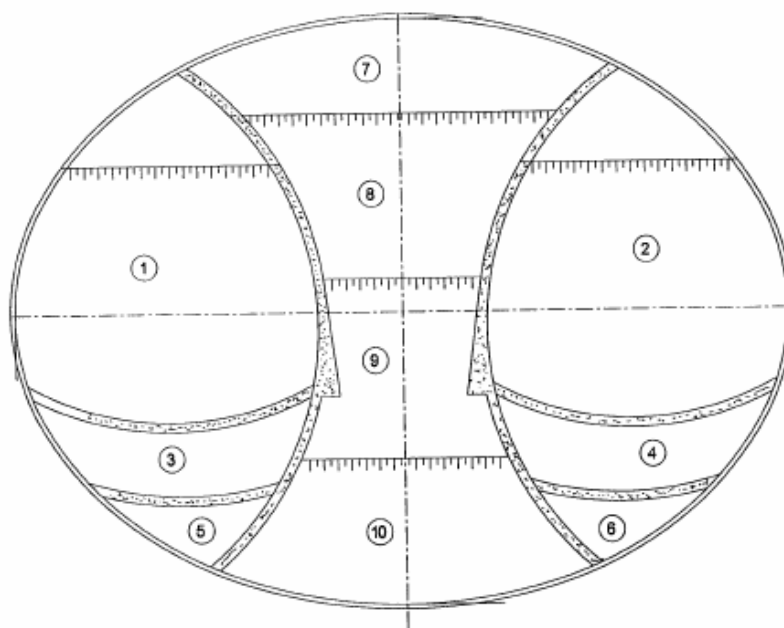
- 1) Εκσκαφή μετώπου-βαθμίδας (top heading and bench).

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

- 2) Εκσκαφή με πλευρικές στοές (side-wall drifts), (Σχήμα 4-15).

Η μέθοδος εφαρμόζεται σε σήραγγες μεγάλου εύρους σε βραχώμαζες με σχετικώς πτωχά χαρακτηριστικά ή στις περιπτώσεις όπου είναι κρίσιμος ο περιορισμός της σύγκλισης του

τοιχώματος (π.χ. σε αστικές περιοχές). Περιλαμβάνει την υποδιαίρεση της διατομής κατά το πλάτος και διάνοιξη πρώτα της μιας πλευράς και στη συνέχεια της άλλης πλευράς. Σε ιδιαιτέρως δύσκολες συνθήκες η μέθοδος μπορεί να περιλάβει δυο πλευρικές στοές και ενδιάμεσο πυλώνα (twin side-wall drifts with central pillar). Στην περίπτωση αυτή πρώτα διανοίγονται οι πλευρικές στοές και στο τέλος διανοίγεται ο κεντρικός πυλώνας.



Σχήμα 4-15, Διάνοιξη σήραγγας με δυο πλευρικές στοές και κεντρικό πυλώνα,  
Πηγή: Σχεδιασμός υπογείων έργων, Μ. Καβαδάς

#### 4.3.5 Μέθοδοι προσωρινής και μόνιμης υποστήριξης

##### Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

Η επένδυση με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πραγματοποιείται μετά το πέρας της εκσκαφής για την υποστήριξη των τοιχωμάτων, αρχίζοντας με πορεία από κάτω προς τα πάνω. Πριν την εφαρμογή σκυροδέματος, η επιφάνεια πρέπει να καθαριστεί και να απομακρυνθούν χαλαρά τεμάχια. Η κατεύθυνση εκτόξευσης είναι κάθετη προς την επιφάνεια που εφαρμόζεται με κατάλληλη απόσταση μεταξύ του στομίου και της επιφάνειας. Το ζητούμενο πάχος της τελικής επένδυσης από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, πραγματοποιείται με διαδοχικές στρώσεις εκτοξευόμενου σκυροδέματος, ενώ το υλικό του εκτοξευόμενου



σκυροδέματος που αναπηδάει από την επιφάνεια εφαρμογής (rebound), πρέπει να απομακρύνεται από την περιοχή εργασίας.

Η τελική διαμόρφωση της διατομής της σήραγγας, με τη χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος, σε κυκλική ή ημικυκλική, μειώνει τον κίνδυνο ανάπτυξης τάσεων. Το πάχος της επένδυσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι σημαντικό για τη μέγιστη απόδοσή του.

### Δικτυωτά πλαίσια (Lattice Girder)

Τα δικτυωτά μεταλλικά πλαίσια σχηματίζονται με μπάρες και τεμάχια από ανοξείδωτο ατσάλι σε δικτυωτή διάταξη και κατασκευάζονται ακολουθώντας κάποια στάνταρ όπου οι διαστάσεις και τα μεγέθη αποφασίζονται ανάλογα με το δομικό μοντέλο ή τις κατασκευαστικές απαιτήσεις.

Η συνολική ανοχή του τόξου είναι 8 εκ. (ανοχή τοποθέτησης 5 εκ., ανοχή κατά την εργασία 3 εκ.). Για την καλύτερη σταθερότητα των πλαισίων και τη διατήρηση σωστής μεταξύ τους απόστασης, τοποθετούνται ράβδοι μεταξύ των πλαισίων.

Λειτουργούν ως δομικά στοιχεία στύλωσης του μετώπου με τη μορφή τόξου με μεταβλητό προφίλ και κλίση. Αμέσως μετά την εγκατάσταση των μεταλλικών πλαισίων γίνεται χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος, που λειτουργεί αποτελεσματικά ως ένα συνεχές στρώμα μεταξύ των πλαισίων και των τοιχωμάτων.

Τα μεταλλικά πλαίσια υποβοηθούν στο σχηματισμό της επιφάνειας της σήραγγας και στην επίτευξη σωστού πάχους εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Οι κατασκευαστικές συνδέσεις της αρχικής υποστήριξης καθαρίζονται καλά για την αποφυγή υπολειμμάτων και υλικού αναπήδησης στις συνδέσεις. Με τον τρόπο αυτό γίνεται αποτελεσματικότερα η μεταφορά των φορτίων.

### Κοχλίες

Οι κοχλίες χρησιμοποιούνται στην κατασκευή σηράγγων είτε για τοπική σταθεροποίηση όγκου πετρώματος στα τοιχώματα της σήραγγας με μεμονωμένη κοχλίωση, είτε για την επίτευξη, σε συνδυασμό με το κέλυφος από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, μιας

αποτελεσματικής αντίστασης υποστήριξης για τον γύρω βραχώδη θάλαμο με χρήση συστηματικής κοχλίωσης.

Ο κοχλίας αποτελείται από απλή ατσάλινη ράβδο που έχει μια μηχανική αγκύρωση στη μια της άκρη και μια μεταλλική πλάκα στην άλλη με σπείρωμα και παξιμάδι. Μετά την εγκατάστασή τους ασκείται τάση, για καλύτερα αποτελέσματα. Το κενό ανάμεσα στον κοχλία και το πέτρωμα τσιμεντώνεται.

Οι τύποι κοχλίων της αρχικής επένδυσης είναι:

- Κοχλίες εισπιεζόμενου σκυροδέματος, όπου η διάτρηση οπών δεν είναι εφικτή σε ασταθές έδαφος και απαιτείται σταθεροποίηση με χρήση σκυροδέματος. Αφού τοποθετηθούν οι κοχλίες εισπιάζεται το κονίαμα μέσα στο σωλήνα από όπου, μέσω των διαστημάτων του εδάφους, διαχέεται σε αυτό.
- Κοχλίες διευρυνόμενου σωλήνα, όπου απαιτείται ικανότητα πλήρους φορτίου μετά την εγκατάσταση. Ο κοχλίας εγκαθίσταται σε μια οπή που έχει ήδη διανοιχθεί. Μετά την εισαγωγή του κοχλίου, ο σωλήνας διευρύνεται στο περιβάλλον πέτρωμα με την εισπίεση νερού για την επίτευξη τέλει εφαρμογής.
- Κοχλίες SN. Οι οπές γεμίζονται με σκυρόδεμα από τον πυθμένα τους προς το στόμιο. Μετά το γέμισμα, εισέρχεται ο κοχλίας και αφήνεται για 24 ώρες. Μετά την πάροδο 24 ωρών, τοποθετούνται οι μεταλλικές πλάκες και τα παξιμάδια και ασφαλίζονται.
- Διογκούμενοι κοχλίες.

### Αγκύρια

Τα αγκύρια είναι σχεδιασμένα να ανθίστανται σε φορτία με φορά προς τα έξω στο πέτρωμα, παραλαμβάνοντας αυτά τα φορτία και μεταδίδοντάς τα στο ίδιο το πέτρωμα σε βαθύτερο σημείο, όπου το πέτρωμα είναι υγιές.

Οι τύποι των αγκυρίων είναι οι εξής:

- Αγκύρια με έλασμα

Τα αγκύρια αυτά κατασκευάζονται από ατσάλινα ελάσματα, προκατασκευασμένες τσιμεντένιες πλάκες, πλάκες από χυτό σκυρόδεμα ή ξύλινα φύλλα. Εγκαθίστανται αφού το έδαφος εκσκαφθεί μέχρι ένα συγκεκριμένο βάθος. Έπειτα, τοποθετείται η πλάκα του

αγκυρίου και λιθογομώνεται με υλικό καλής ποιότητας. Η εγκατάσταση των πλακών οριζόντια, ανθίσταται στην κατακόρυφη και ανοδική κατεύθυνση των φορτίων, τοποθετούμενη κατακόρυφα ανθίσταται στην οριζόντια κατεύθυνση των φορτίων, ενώ σε κεκλιμένη θέση ανθίσταται στο αξονικό φορτίο.

- Προωθούμενα αγκύρια

Τα αγκύρια αυτά έχουν τριγωνικό ή άλλο διαπεραστικό σχήμα και εγκαθίστανται κάθετα με τη βοήθεια ράβδου στο επιθυμητό βάθος. Η ράβδος αποσύρεται και το καλώδιο τίθεται σε τάση για την περιστροφή του αγκυρίου κατά 90° στην τελική του θέση.

- Ελικοειδή αγκύρια

Τα αγκύρια αυτά κατασκευάζονται από μεταλλικό άξονα με μια ή περισσότερες έλικες. Οδηγούνται στο έδαφος με περιστροφική κίνηση με τη βοήθεια περιστροφικής διάταξης σε διατηρητικό μηχάνημα. Τα ελικοειδή αγκύρια μπορούν να εγκατασταθούν σε κάθετη ή κεκλιμένη θέση.

- Αγκύρια εκχυνόμενου σκυροδέματος

Τα αγκύρια αυτά αποτελούνται από μεταλλική ράβδο ή μεταλλικό καλώδιο που τοποθετούνται σε οπή και στη συνέχεια σκυροδετούνται. Χωρίζονται στα εξής:

1. Βαρύτητας: Το υλικό σκυροδέτησης εκχύνεται στην οπή από την επιφάνεια του εδάφους, χωρίς πίεση.
2. Χαμηλής πίεσης: Το υλικό σκυροδέτησης εισπιέζεται στην οπή με πίεση όση και η πίεση του υπερκειμένου.
3. Υψηλής πίεσης: Εδώ το υλικό σκυροδέτησης εισπιέζεται με υψηλή πίεση. Η πίεση αυτή βελτιώνει τη δρώσα διάμετρο του αγκυρίου και πιέζει το χαλαρό έδαφος γύρω από το αγκύριο.

Τα αγκύρια που τοποθετούνται σε ήδη ανοιχθήσα οπή είναι:

- Αγκύρια προσωρινής υποστήριξης που έχουν περιορισμένο χρόνο ζωής και συνήθως σχεδιάζονται για την υποστήριξη της εκσκαφής έως την κατασκευή του έργου. Η διάρκεια ζωής τους είναι 1,5 ως 2 χρόνια.
- Αγκύρια μόνιμης προστασίας που έχουν αντισκωριακή προστασία.

- Προεντεταμένα αγκύρια ή δραστικά.
- Συγκολλημένα αγκύρια.

Τα αγκύρια μεταφέρουν τις δυνάμεις στο έδαφος με τρεις τρόπους :

- Με προσκόλληση. Μέρος του τένοντα μπλοκάρεται στο έδαφος με πηλό ή ρητίνη και μεταφέρει τη δύναμη μέσω της γόμωσης στο έδαφος.
- Με τη χρήση απλού μηχανισμού με τον οποίο το αγκύριο σφίγγεται και δένει πάνω στο βράχο.
- Με αγκύρωση με πλάκες.

Τα αγκύρια αποτελούνται από συρματόσχοινο ονομαστικής διαμέτρου 15-24 mm (τένοντες με πολλά συρματόσχοινα αποτελούνται από 3, 4 ή 5 συρματόσχοινα) από υψηλής αντοχής ατσάλι, τύπου S1700/1900 και δρώσα επιφάνεια 140 mm<sup>2</sup>. (πηγή: Σοφιανός,2010)

#### 4.3.6 Τελική επένδυση

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

1. Το φορτίο που αναλαμβάνεται από τα αγκύρια στην περίπτωση προσωρινών αγκυρίων ή στην περίπτωση βραζόμαζας με έντονα ερπυστική συμπεριφορά.
2. Μέρος του φορτίου που αναλαμβάνεται από το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ώστε το απομένον φορτίο του εκτοξευόμενου σκυροδέματος να ικανοποιεί τις απαιτήσεις ασφαλείας μονίμου έργου (δεδομένου ότι κατά την άμεση υποστήριξη της σήραγγας το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μπορεί να λειτουργεί με μειωμένο συντελεστή ασφαλείας προσωρινού έργου).

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

#### **4.3.7 Παρακολούθηση της συμπεριφοράς σηράγγων**

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

Κατά τη διάνοιξη και υποστήριξη σηράγγων συνήθως μετρούνται τα εξής:

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

Σημειώνεται ότι το είδος των μετρήσεων, οι θέσεις τοποθέτησης των οργάνων μέτρησης, η συχνότητα των μετρήσεων, οι τρόπος της αξιολόγησής τους, τα αποδεκτά όρια των μετρήσεων και, τέλος, οι ενέργειες που θα πρέπει να αναλαμβάνονται σε περίπτωση που οι μετρήσεις υπερβούν τα αποδεκτά όρια θα πρέπει να αποτελούν αντικείμενο ειδικής μελέτης. Δεν είναι σπάνια η περίπτωση που οι μετρήσεις γίνονται μεν αλλά δεν αξιολογούνται ή δεν είναι γνωστά τα μέγιστα αποδεκτά όρια ή, τέλος, δεν έχουν αποφασισθεί οι ενέργειες σε περίπτωση υπέρβασης των αποδεκτών ορίων.

#### 4.3.8 Πλεονεκτήματα της μεθόδου

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

1. Προσαρμόζεται εύκολα σε μεταβαλλόμενες γεωτεχνικές συνθήκες.
2. Προσαρμόζεται εύκολα σε μεταβολές της γεωμετρίας της διατομής και στη διάνοιξη μη-κυκλικών διατομών, όπως στην εικόνα 4-4.
3. Περιλαμβάνει μηχανικό εξοπλισμό σχετικά μικρού κόστους και συνεπώς πλεονεκτεί οικονομικά σε σήραγγες μικρού μήκους.
4. Επιτρέπει την ευκολότερη στεγάνωση της σήραγγας με συνθετική μεμβράνη (η οποία συνήθως τοποθετείται μεταξύ της άμεσης και της τελικής επένδυσης).

(πηγή: Μ. Καββαδας, 2005)



Εικόνα 4-4, Είσοδος του TBM σε σταθμό κατασκευασμένο με υπόγεια διάνοιξη,  
Πηγή: Αττικό Μετρο

#### 4.4 Επιλογή μεθόδου διάνοιξης για κάθε σταθμό

Πίνακας 4-1, Χαρακτηριστικά σταθμών ως προς τη διάνοιξη, Νότιος κλάδος

<b>ΝΟΤΙΟΣ ΚΛΑΔΟΣ</b>			
<b>Σταθμός</b>	<b>Βάθος (m)</b>	<b>Μέθοδος</b>	<b>Διαθέσιμη επιφάνεια</b>
<b>Κατεχάκη</b>	22	Ανοικτή Εκσκαφή	Μεγάλη
<b>Γουδή</b>	12.7	Ανοικτή Εκσκαφή	Μεγάλη
<b>Ζωγράφου - Πολυτεχνειούπολη</b>	17.9	Υπόγεια Διάνοιξη	Μικρή
<b>Άνω Ιλίσια</b>	21.1	Υπόγεια Διάνοιξη	Μικρή
<b>Πανεπιστημιούπολη</b>	15.5	Ανοικτή Εκσκαφή	Μεγάλη
<b>Καισαριανή</b>	16	Υπόγεια Διάνοιξη	Μικρή
<b>Ευαγγελισμός</b>	15.3	Ανοικτή Εκσκαφή	Μεγάλη

Πίνακας 4-2, Χαρακτηριστικά σταθμών ως προς τη διάνοιξη, Βόρειος κλάδος

<b>ΒΟΡΕΙΟΣ ΚΛΑΔΟΣ</b>			
<b>Σταθμός</b>	<b>Βάθος (m)</b>	<b>Μέθοδος</b>	<b>Διαθέσιμη επιφάνεια</b>
<b>Άλσος Βεϊκού</b>	10.5	Υπόγεια Διάνοιξη	Μικρή
<b>Πλατεία Υγείας</b>	10.5	Ανοικτή Εκσκαφή	Μεγάλη
<b>Νέα Ιωνία</b>	9.1	Ανοικτή Εκσκαφή	Μεγάλη
<b>Ελευθερίου Βενιζέλου</b>	11	Ανοικτή Εκσκαφή	Μεγάλη
<b>Μεταμόρφωση</b>	15.5	Υπόγεια Διάνοιξη	Μικρή
<b>Εθνική Οδός Αθηνών - Λαμίας</b>	10.5	Ανοικτή Εκσκαφή	Μεγάλη
<b>Λυκόβρυση</b>	9.6	Ανοικτή Εκσκαφή	Μεγάλη
<b>Λεωφόρος Ειρήνης</b>	14.3	Ανοικτή Εκσκαφή	Μεγάλη
<b>Πεύκη</b>	10.5	Υπόγεια Διάνοιξη	Μικρή

Σχόλια:

Όλα τα βάθη των σταθμών μετρήθηκαν από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι τη στέψη της σήραγγας.

- Σε μεγάλα βάθη και μικρό ελεύθερο επιφανειακό χώρο, επιλέχθηκε η μέθοδος της υπόγειας διάνοιξης.
- Σε μικρά βάθη και μεγάλο ελεύθερο επιφανειακό χώρο, επιλέχθηκε η μέθοδος της ανοικτής εκσκαφής.
- Κυρίως, όπου παρουσιάζεται έλλειψη επιφανειακού χώρου επιλέχθηκε η μέθοδος της υπόγειας διάνοιξης, ανεξάρτητα από το βάθος της σήραγγας.
- Ο σταθμός «Ευαγγελισμός», έχει κατασκευασθεί σε αρκετά μεγάλο βάθος ώστε να περάσει η σήραγγα κάτω από τη Γραμμή 3, με την οποία διασταυρώνεται.
- Ο σταθμός «Μεταμόρφωση», έχει κατασκευασθεί σε μεγάλο βάθος διότι η σήραγγα πρέπει να περάσει κάτω από την Αττική Οδό με την οποία και διασταυρώνεται.
- Στους σταθμούς «Άλσος Βεΐκου», «Μεταμόρφωση», «Πεύκη» και «Καισαριανή» ένας επιπλέον λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε η κατασκευή των σταθμών με τη μέθοδο της υπόγειας διάνοιξης ήταν πως οι σταθμοί περνούσαν κάτω από κεντρικούς δρόμους. Η ενδεχόμενη διακοπή της κυκλοφορίας των οχημάτων σε αυτούς τους δρόμους θα προκαλούσε σοβαρά κυκλοφοριακά προβλήματα.

## 4.5 Τα επιμέρους τμήματα της διάνοιξης

Η παρέμβαση πραγματοποιήθηκε σε δύο κλάδους, στο Νότιο όπου τροποποιήθηκε η υπάρχουσα χάραξη και στο Βόρειο όπου πραγματοποιήθηκε η μελέτη της σύνδεσης των δύο άκρων της Γραμμής. Στην πορεία της χάραξης λήφθηκαν υπόψη παράγοντες όπως είναι τα συγκοινωνιακά κριτήρια, οι επιτρεπόμενες κλίσεις της χάραξης, η τοπογραφία, η γεωλογία, η πυκνότητα δόμησης και οι χρήσεις γης.

### 4.5.1 Νότιος κλάδος

Η νέα χάραξη στο Νότιο κλάδο έχει μήκος 5473μ και περιλαμβάνει 7 σταθμούς. Το ανάγλυφο της υπό μελέτη περιοχής εμφανίζει μεγάλες αυξομειώσεις και η ρυμοτομία της



περιοχής εμφανίζει μεγάλες διαφορές στην πυκνότητα δόμησης και ουσιαστικές διακυμάνσεις στις χρήσεις γης. Το βάθος που πρόκειται να εκσκαφθεί η σήραγγα κυμαίνεται από 20 μέτρα το ελάχιστο έως 36 το μέγιστο. Για τη μελέτη της γεωλογίας της περιοχής εντοπίστηκαν 5 γεωτρήσεις, τα στοιχεία των οποίων παραχωρήθηκαν από την υπηρεσία Κ.Ε.Δ.Ε. και έχουν μέγιστη απόσταση από τη χάραξη 150μ. Η διαδρομή έχει χωριστεί σε τμήματα σχετικά όμοιων τεχνικό γεωλογικών συνθηκών, όπως περιγράφονται παρακάτω.

#### **4.5.1.1 Τμήμα από Σταθμό Κατεχάκη – Σταθμό Γουδή**

Ο Σταθμός Κατεχάκη πρόκειται να κατασκευασθεί με ανοικτή εκσκαφή και έχει χωροθετηθεί κάτω από τον υπάρχοντα χώρο στάθμευσης που εξυπηρετεί τον σταθμό της γραμμής 3. Το τελικό βάθος του σταθμού υπολογίζεται στα 31,4μ. Ο συγκεκριμένος σταθμός δύναται να φιλοξενήσει πολυώροφο υπόγειο χώρο στάθμευσης, με στόχο την εξυπηρέτηση των οχημάτων που εισέρχονται στον αστικό ιστό μέσω της Περιφερειακής Υμηττού και της Λεωφόρου Καρέα.

Ακολουθώντας τη διαδρομή από το Σταθμό Κατεχάκη έως το Σταθμό Γουδή διανύουμε σήραγγα μήκους 1220μ, σε βάθος από 21,9μ έως 10,5μ. Η σήραγγα σε αυτό το τμήμα περνάει από περιοχές με χαμηλή πυκνότητα δόμησης. Επίσης, η απόσταση των 1220μ ξεπερνά το όριο των 1000μ και επιβάλλεται η κατασκευή φρέατος αερισμού στο μέσον της απόστασης. Σε αυτό το κομμάτι της χάραξης αναμένεται να εκσκαφθεί καστανέρυθρη αμμώδης έως πολύ αμμώδης άργιλος που εναλλάσσεται με αργιλομαργαϊκό κροκαλολατυποπαγές κυρίως χαλαρό, με κατάταξη GC,CL κατά AUSCS. Επιπλέον, για το συγκεκριμένο τμήμα βρέθηκαν γεωλογικά στοιχεία από τις γεωτρήσεις G5 και G1. Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα μετρήθηκε στα 6,4μ από την επιφάνεια.

#### **4.5.1.2 Τμήμα από Σταθμό Γουδή – Σταθμό Ζωγράφου-Πολυτεχνειούπολη**

Ο Σταθμός Γουδή πρόκειται να κατασκευασθεί με ανοικτή εκσκαφή και έχει χωροθετηθεί κάτω από τους υπάρχοντες υπαίθριους αθλητικούς χώρους. Το τελικό βάθος του σταθμού υπολογίζεται στα 22,2μ.

Ακολουθώντας τη διαδρομή από το Σταθμό Γουδή έως το Σταθμό Ζωγράφου-Πολυτεχνειούπολη διανύουμε σήραγγα μήκους 663μ, σε βάθος από 17,9μ έως 15,1μ. Η σήραγγα σε αυτό το τμήμα περνάει από αστική ζώνη με μεγάλο υπερκείμενο. Σε αυτό το κομμάτι της χάραξης αναμένεται να εκσκαφθούν σχιστόλιθοι που εμφανίζονται τελείως

έως πολύ αποσαθρωμένοι. Επιπλέον, για το συγκεκριμένο τμήμα βρέθηκαν γεωλογικά στοιχεία από τις γεωτρήσεις G6 και G14.

#### **4.5.1.3 Τμήμα από Σταθμό Ζωγράφου-Πολυτεχνειούπολη – Σταθμό Άνω Ιλίσια**

Ο Σταθμός Ζωγράφου-Πολυτεχνειούπολη πρόκειται να κατασκευασθεί με υπόγεια διάνοιξη και έχει χωροθετηθεί κάτω από το κατάστρωμα της οδού Λοχαγού Σεισμάνη, πλησίον της πύλης της Πολυτεχνειούπολης στο κτήριο Αντοχής. Το τελικό βάθος του σταθμού υπολογίζεται στα 27,4μ.

Ακολουθώντας τη διαδρομή από το Σταθμό Ζωγράφου-Πολυτεχνειούπολη έως το Σταθμό Άνω Ιλίσια διανύουμε σήραγγα μήκους 703μ, σε βάθος από 26,5μ έως 19,7μ. Η σήραγγα σε αυτό το τμήμα περνάει από αστική ζώνη με μεγάλο υπερκείμενο. Σε αυτό το κομμάτι της χάραξης αναμένεται να εκσκαφθούν εναλλασσόμενες στρώσεις κροκαλοπαγούς και αργίλου με κοκκώδες υλικό.

#### **4.5.1.4 Τμήμα από Σταθμό Άνω Ιλίσια – Σταθμό Πανεπιστημιούπολη**

Ο Σταθμός Άνω Ιλίσια πρόκειται να κατασκευασθεί με υπόγεια διάνοιξη και έχει χωροθετηθεί κάτω από υπάρχοντα κτήρια. Το τελικό βάθος του σταθμού υπολογίζεται στα 30,6μ.

Ακολουθώντας τη διαδρομή από το Σταθμό Άνω Ιλίσια έως το Σταθμό Πανεπιστημιούπολη διανύουμε σήραγγα μήκους 385μ, σε βάθος από 21,1μ έως 16,5μ. Η σήραγγα σε αυτό το τμήμα περνάει από την χαμηλής πυκνότητας δόμησης Πανεπιστημιούπολη. Σε αυτό το κομμάτι της χάραξης αναμένεται να εκσκαφθούν εναλλασσόμενες στρώσεις κροκαλοπαγούς και αργίλου με κοκκώδες υλικό.

#### **4.5.1.5 Τμήμα από Σταθμό Πανεπιστημιούπολη – Σταθμό Καισαριανή**

Ο Σταθμός Καισαριανή-Πανεπιστημιούπολη πρόκειται να κατασκευασθεί με ανοικτή εκσκαφή και έχει χωροθετηθεί κάτω από τους υπάρχοντες υπαίθριους αθλητικούς χώρους, στην αρχή της οδού Μιχαήλ Καραολή. Το τελικό βάθος του σταθμού υπολογίζεται στα 25μ.

Ακολουθώντας τη διαδρομή από το Σταθμό Πανεπιστημιούπολη έως το Σταθμό Καισαριανή διανύουμε σήραγγα μήκους 877μ, σε βάθος από 19,5μ έως 15,5μ. Η σήραγγα σε αυτό το τμήμα περνάει από αστική περιοχή και στη συνέχεια διέρχεται κάτω από το κατάστρωμα της λεωφόρου Εθνικής Αντιστάσεως. Σε αυτό το κομμάτι της χάραξης αναμένεται να εκσκαφθεί αργιλικός σχιστόλιθος.

#### 4.5.1.6 Τμήμα από Σταθμό Καισαριανή – Σταθμό Ευαγγελισμός

Ο Σταθμός Καισαριανή πρόκειται να κατασκευασθεί με υπόγεια διάνοιξη και έχει χωροθετηθεί κάτω από το κατάστρωμα της λεωφόρου Εθνικής Αντιστάσεως. Το τελικό βάθος του σταθμού υπολογίζεται στα 25,5μ.

Ακολουθώντας τη διαδρομή από το Σταθμό Καισαριανή έως το Σταθμό Ευαγγελισμός διανύουμε σήραγγα μήκους 853μ, σε βάθος από 17,3μ έως 14,5μ. Η σήραγγα σε αυτό το τμήμα περνάει από αστική περιοχή. Σε αυτό το κομμάτι της χάραξης αναμένεται να εκσκαφθεί αργιλικός σχιστόλιθος. Επιπλέον, για το συγκεκριμένο τμήμα βρέθηκαν γεωλογικά στοιχεία από τη γεώτρηση G13.

Ο Σταθμός Ευαγγελισμός πρόκειται να κατασκευασθεί με ανοικτή εκσκαφή και έχει χωροθετηθεί κάτω από το πάρκο Ριζάρη. Το τελικό βάθος του σταθμού υπολογίζεται στα 24,8μ. Ο σταθμός συνδέεται με το αντίστοιχο σταθμό της γραμμής 3.

#### 4.5.2 Βόρειος κλάδος

Η μελέτη χάραξης του Βορείου κλάδου έχει μήκος 9294μ και περιλαμβάνει 9 σταθμούς. Το ανάγλυφο της υπό μελέτη περιοχής παρουσιάζει αυξομειώσεις στα άκρα του, ενώ το ενδιάμεσο τμήμα εμφανίζει ομαλό ανάγλυφο. Η ρυμοτομία της περιοχής δεν εμφανίζει μεγάλες διαφορές στην πυκνότητα δόμησης. Ακόμα, παρουσιάζεται σε ένα κομμάτι της χάραξης συγκέντρωση χρήσεων γης και κτιρίων με δραστηριότητες υπερτοπικού χαρακτήρα, όμως ως επί το πλείστον επικρατούν οικιστικές περιοχές. Το βάθος που πρόκειται να εκσκαφθεί η σήραγγα κυμαίνεται από 17 μέτρα το ελάχιστο έως 32 το μέγιστο. Για τη μελέτη της γεωλογίας της περιοχής εντοπίστηκαν 4 γεωτρήσεις, σχετικά μεγάλου βάθους, τα στοιχεία των οποίων παραχωρήθηκαν από την υπηρεσία Κ.Ε.Δ.Ε. και έχουν μέγιστη απόσταση από τη χάραξη 150μ. Η διαδρομή έχει χωριστεί σε τμήματα σχετικά όμοιων τεχνικό γεωλογικών συνθηκών, όπως περιγράφονται παρακάτω.

##### 4.5.2.1 Τμήμα από Σταθμό Άλσος Βεΐκου – Σταθμό Πλατεία Υγείας

Ο Σταθμός Άλσος Βεΐκου πρόκειται να κατασκευασθεί με υπόγεια διάνοιξη και έχει χωροθετηθεί κάτω από το κατάστρωμα της λεωφόρου Βεΐκου. Το τελικό βάθος του σταθμού υπολογίζεται στα 20μ.

Ακολουθώντας τη διαδρομή από το Σταθμό Άλσος Βεΐκου έως το Σταθμό Πλατεία Υγείας διανύουμε σήραγγα μήκους 1323μ, σε βάθος από 22,7μ έως 11μ. Η σήραγγα σε αυτό το τμήμα περνάει από περιοχές με χαμηλή πυκνότητα δόμησης και διακλαδώνεται με την

σήραγγα που συνδέει το αμαξοστάσιο με την Γραμμή 4. Επίσης, η απόσταση των 1323μ ξεπερνά το όριο των 1000μ και επιβάλλεται η κατασκευή φρέατος αερισμού στο μέσον της απόστασης. Σε αυτό το κομμάτι της χάραξης αναμένεται να εκσκαφθεί αθηναϊκός σχιστόλιθος, με κατάταξη SC κατά AUSCS.

#### **4.5.2.2 Τμήμα από Σταθμό Πλατεία Υγείας – Σταθμό Νέα Ιωνία**

Ο Σταθμός Πλατεία Υγείας πρόκειται να κατασκευασθεί με ανοικτή εκσκαφή και έχει χωροθετηθεί κάτω από την Πλατεία Υγείας. Το τελικό βάθος του σταθμού υπολογίζεται στα 20μ.

Ακολουθώντας τη διαδρομή από το Σταθμό Πλατεία Υγείας έως το Σταθμό Νέα Ιωνία διανύουμε σήραγγα μήκους 898μ, σε βάθος από 13,1μ έως 9,8μ. Η σήραγγα σε αυτό το τμήμα περνάει από περιοχές με χαμηλά κτήρια. Σε αυτό το κομμάτι της χάραξης αναμένεται να εκσκαφθεί αθηναϊκός σχιστόλιθος, με κατάταξη SC κατά AUSCS. Επιπλέον, για το συγκεκριμένο τμήμα βρέθηκαν γεωλογικά στοιχεία από τη γεώτρηση G7. Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα μετρήθηκε στα 4,8μ από την επιφάνεια.

#### **4.5.2.3 Τμήμα από Σταθμό Νέα Ιωνία – Σταθμό Ελευθερίου Βενιζέλου**

Ο Σταθμός Νέα Ιωνία πρόκειται να κατασκευασθεί με ανοικτή εκσκαφή και έχει χωροθετηθεί κάτω από κενό οικόπεδο πλησίον του σταθμού Νέα Ιωνία της γραμμής 1. Το τελικό βάθος του σταθμού υπολογίζεται στα 18,6μ.

Ακολουθώντας τη διαδρομή από το Σταθμό Νέα Ιωνία έως το Σταθμό Ελευθερίου Βενιζέλου διανύουμε σήραγγα μήκους 876μ, σε βάθος από 11,9μ έως 9μ. Η σήραγγα σε αυτό το τμήμα περνάει κάτω από το κατάστρωμα της οδού Ελευθερίου Βενιζέλου. Σε αυτό το κομμάτι της χάραξης αναμένεται να εκσκαφθεί αθηναϊκός σχιστόλιθος, με κατάταξη SC κατά AUSCS. Επιπλέον, για το συγκεκριμένο τμήμα βρέθηκαν γεωλογικά στοιχεία από τη γεώτρηση G7.

#### **4.5.2.4 Τμήμα από Σταθμό Ελευθερίου Βενιζέλου – Σταθμό Μεταμόρφωση**

Ο Σταθμός Ελευθερίου Βενιζέλου πρόκειται να κατασκευασθεί με ανοικτή εκσκαφή και έχει χωροθετηθεί κάτω από το κατάστρωμα της οδού Ελευθερίου Βενιζέλου. Το τελικό βάθος του σταθμού υπολογίζεται στα 20,5μ.

Ακολουθώντας τη διαδρομή από το Σταθμό Ελευθερίου Βενιζέλου έως το Σταθμό Μεταμόρφωση διανύουμε σήραγγα μήκους 1177μ, σε βάθος από 15,5μ έως 11,9μ. Η σήραγγα σε αυτό το τμήμα περνάει από κτήρια, ώστε να πραγματοποιηθεί η στροφή στην

επιτρεπόμενη ακτίνα, στη συνέχεια διέρχεται κάτω από το κατάστρωμα της οδού Τατοΐου. Επίσης, η απόσταση των 1177μ ξεπερνά το όριο των 1000μ και επιβάλλεται η κατασκευή φρέατος αερισμού στο μέσον της απόστασης. Σε αυτό το κομμάτι της χάραξης αναμένεται να εκσκαφθούν υπόλευκες έως τοπικά κιτρινόλευκες αργλικές και ψαμμιτικές μάργες με ενστρώσεις μαργόλιθων, με κατάταξη CL,CH κατά AUSCS.

#### **4.5.2.5 Τμήμα από Σταθμό Μεταμόρφωση – Σταθμό Εθνική οδός Αθηνών-Λαμίας**

Ο Σταθμός Μεταμόρφωση πρόκειται να κατασκευασθεί με υπόγεια διάνοιξη και έχει χωροθετηθεί κάτω από το κατάστρωμα της λεωφόρου Τατοΐου. Το τελικό βάθος του σταθμού υπολογίζεται στα 25μ. Ο συγκεκριμένος σταθμός βρίσκεται πλησίον του σταθμού Μεταμόρφωση του Προαστιακού Σιδηρόδρομου.

Ακολουθώντας τη διαδρομή από το Σταθμό Μεταμόρφωση έως το Σταθμό Εθνική οδός Αθηνών-Λαμίας διανύουμε σήραγγα μήκους 825μ, σε βάθος από 18,6μ έως 10,4μ. Η σήραγγα σε αυτό το τμήμα διασταυρώνεται και περνάει 5μ κάτω από την χαμηλότερη στάθμη της Αττικής Οδού και στη συνέχεια διέρχεται πλησίον της οδού Τατοΐου και κάτω από κτήρια. Σε αυτό το κομμάτι της χάραξης αναμένεται να εκσκαφθούν υπόλευκες έως τοπικά κιτρινόλευκες αργλικές και ψαμμιτικές μάργες με ενστρώσεις μαργόλιθων, με κατάταξη CL,CH κατά AUSCS. Επιπλέον, για το συγκεκριμένο τμήμα βρέθηκαν γεωλογικά στοιχεία από τις γεωτρήσεις G12 και G11. Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα μετρήθηκε στα 8,9μ και 6μ από την επιφάνεια.

#### **4.5.2.6 Τμήμα από Σταθμό Εθνική οδός Αθηνών Λαμίας – Σταθμό Λυκόβρυση**

Ο Σταθμός Εθνική οδός Αθηνών-Λαμίας πρόκειται να κατασκευασθεί με ανοικτή εκσκαφή και έχει χωροθετηθεί κάτω από το κενό οικόπεδο, πλησίον της εξόδου «Μεταμόρφωση» της Εθνικής οδού Αθηνών-Λαμίας. Το τελικό βάθος του σταθμού υπολογίζεται στα 20μ. Ο συγκεκριμένος σταθμός δύναται να φιλοξενήσει υπόγειο χώρο στάθμευσης, με στόχο την εξυπηρέτηση των οχημάτων που εισέρχονται στον αστικό ιστό μέσω της Εθνικής οδού Αθηνών-Λαμίας.

Ακολουθώντας τη διαδρομή από το Σταθμό Εθνική οδός Αθηνών-Λαμίας έως το Σταθμό Λυκόβρυση διανύουμε σήραγγα μήκους 1221μ, σε βάθος από 11,9μ έως 8,5μ. Η σήραγγα σε αυτό το τμήμα περνάει κάτω από την εμπορική ζώνη. Επίσης, η απόσταση των 1221μ ξεπερνά το όριο των 1000μ και επιβάλλεται η κατασκευή φρέατος αερισμού στο μέσον της

απόστασης. Σε αυτό το κομμάτι της χάραξης αναμένεται η εκσκαφή σκληρών καστανών κροκαλολατυποπαγών και σπανιότερα ψαμμίτη, με κατάταξη CL κατά AUSCS.

#### **4.5.2.7 Τμήμα από Σταθμό Λυκόβρυση – Σταθμό Λεωφόρος Ειρήνης**

Ο Σταθμός Λυκόβρυση πρόκειται να κατασκευασθεί με ανοικτή εκσκαφή και έχει χωροθετηθεί κάτω από κενό οικόπεδο πλησίον της οδού Γεωργίου Παπανδρέου. Το τελικό βάθος του σταθμού υπολογίζεται στα 19,1μ. Ο συγκεκριμένος σταθμός δύναται να φιλοξενήσει υπόγειο χώρο στάθμευσης, με στόχο την εξυπηρέτηση των οχημάτων που εισέρχονται στον αστικό ιστό μέσω της Εθνικής οδού Αθηνών-Λαμίας.

Ακολουθώντας τη διαδρομή από το Σταθμό Λυκόβρυση έως το Σταθμό Λεωφόρος Ειρήνης διανύουμε σήραγγα μήκους 937μ, σε βάθος από 15,1μ έως 8μ. Η σήραγγα σε αυτό το τμήμα περνάει από αστικές περιοχές. Σε αυτό το κομμάτι της χάραξης αναμένεται να εκσκαφθεί καστανοκίτρινη πολύ αμμώδη μάργα με εναλλαγή με αμμοχάλικα και μικρολατυποπαγή, με κατάταξη CL,SC,GC κατά AUSCS. Επιπλέον, για το συγκεκριμένο τμήμα βρέθηκαν γεωλογικά στοιχεία από τη γεώτρηση G15. Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα μετρήθηκε στα 3,8μ από την επιφάνεια.

#### **4.5.2.8 Τμήμα από Σταθμό Λεωφόρος Ειρήνης – Σταθμό Πεύκη**

Ο Σταθμός Λεωφόρος Ειρήνης πρόκειται να κατασκευασθεί με ανοικτή εκσκαφή και έχει χωροθετηθεί κάτω από κενό οικόπεδο. Το τελικό βάθος του σταθμού υπολογίζεται στα 23,8μ.

Ακολουθώντας τη διαδρομή από το Σταθμό Λεωφόρος Ειρήνης έως το Σταθμό Πεύκη διανύουμε σήραγγα μήκους 1044μ, σε βάθος από 16,3μ έως 10,5μ. Η σήραγγα σε αυτό το τμήμα περνάει κάτω από το κατάστρωμα της λεωφόρου Ειρήνης. Επίσης, η απόσταση των 1044μ ξεπερνά το όριο των 1000μ και επιβάλλεται η κατασκευή φρέατος αερισμού στο μέσον της απόστασης. Σε αυτό το κομμάτι της χάραξης αναμένεται να εκσκαφθεί καστανοκίτρινη πολύ αμμώδη μάργα με εναλλαγή με αμμοχάλικα και μικρολατυποπαγή, με κατάταξη CL,SC,GC κατά AUSCS.

Ο Σταθμός Πεύκη πρόκειται να κατασκευασθεί με υπόγεια διάνοιξη και έχει χωροθετηθεί κάτω από το κατάστρωμα της λεωφόρου Ειρήνης, πλησίον της κεντρικής πλατείας της Πεύκης. Το τελικό βάθος του σταθμού υπολογίζεται στα 20μ.

## 4.6 Χαρακτηριστικά σήραγγας Μετρό

Από τη μελέτη όλων των γεωλογικών και τεχνικών χαρακτηριστικών που αναλύθηκαν προτείνεται η κατασκευή μονής σήραγγας διπλής τροχιάς, με βάση τα πρότυπα του Μετρό της Αθήνας. Ο κλάδος της Βόρειας χάραξης θα έχει μήκος 9,3 χιλιόμετρα και θα περιλαμβάνει 9 σταθμούς. Αντίστοιχα, ο Νότιος κλάδος θα έχει μήκος 5,5 χιλιόμετρα και θα περιλαμβάνει 7 σταθμούς. Το βάθος της σήραγγας θα κυμαίνεται από 17 έως 32 μέτρα για τη Βόρεια χάραξη και από 20 έως 36 για τη Νότια. Η διάμετρος της σήραγγας και των δύο κλάδων θα είναι 9,5 μέτρα. Η μεγάλη διαφορά στα βάθη προκύπτει λόγω της μεγάλης διακύμανσης του αναγλύφου (μηκοτομή).

Η επιλογή του τρόπου διάνοιξης αποτελεί τη σημαντικότερη απόφαση για την ομαλή και ασφαλή έναρξη της κατασκευής του έργου. Ενδεχόμενο λάθος στην επιλογή του μηχανήματος και του τρόπου διάνοιξης, δύναται να πολλαπλασιάσει το κόστος του έργου και να προκαλέσει μεγάλες καθυστερήσεις.

Τα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία αποφασίζεται ο τρόπος διάνοιξης είναι:

- η ποιότητα του εδάφους
- το συνολικό μήκος της σήραγγας

Οι εργασίες διάτρησης και ανατίναξης είναι πιθανό να απογορευτούν όταν η διάνοιξη γίνεται σε αστικές περιοχές, για τεχνικούς ή περιβαλλοντικούς λόγους. Σε αυτές τις περιπτώσεις κρίνεται ως πλέον συμφέρουσα ή ακόμα και επιβάλλεται η χρήση μηχανών ολομέτωπης κοπής.

## 4.7 Είσοδος και έξοδος TBM

Η είσοδος του TBM μπορεί να γίνει είτε μέσω ενός φρέατος εισόδου, είτε απευθείας από κάποιο σταθμό κατασκευασμένο με τη μέθοδο ανοικτής εκσκαφής. Προτιμάται η είσοδος του από κάποιο σταθμό, καθώς κάτι τέτοιο είναι πολύ πιο οικονομικό από την κατασκευή ενός επιπλέον φρέατος σε κάποιο σημείο της χάραξης.

Η έξοδος του TBM γίνεται είτε από ένα φρέαρ διαμέτρου  $\Phi$  10 μ. (κατασκευάζεται με τη μέθοδο υπόγειας διάνοιξης), είτε πάλι από ένα σταθμό που έχει διανοιχθεί με τη μέθοδο ανοικτής εκσκαφής.

## 4.8 Γενικά χαρακτηριστικά TBM

Τα Μηχανήματα Ολομέτωπης Διάνοιξης Σήραγγας (Σχήμα 4-9) με ασπίδα ή χωρίς (TBM), απομακρύνουν το σκληρό έδαφος εκσκαφής με τη χρήση των κοπτικών και προωθούν το μηχάνημα πιέζοντας τα προκατασκευασμένα στοιχεία ή υποστηρίζοντας τον ειδικό εξοπλισμό πλευρικών στοιχείων συγκράτησης του μηχανήματος.

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

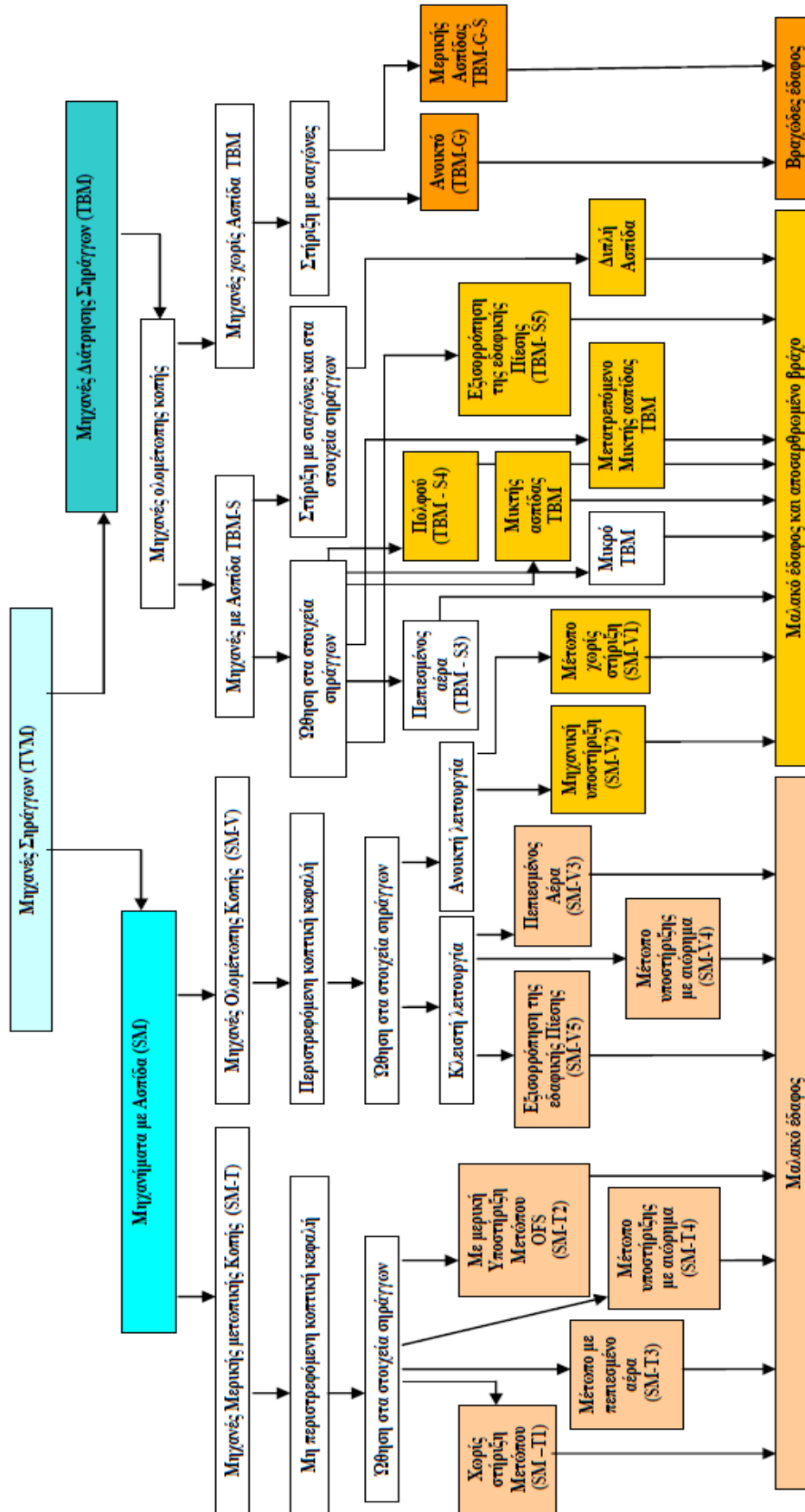
Τα Μηχανήματα Ολομέτωπης κοπής με Ασπίδα “TBM – S”, είναι εξοπλισμένα με σώμα κλειστής ασπίδας και χρησιμοποιούνται σε εδάφη με συμπαγή βράχο καθώς και σε εδάφη με χαμηλή ευστάθεια μετώπου εκσκαφής (εύθραυστος βράχος).

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

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

Στη συνέχεια ακολουθεί η ταξινόμηση των Μηχανών Διάνοιξης Σηράγγων (TBM), (σχήμα 4-16).

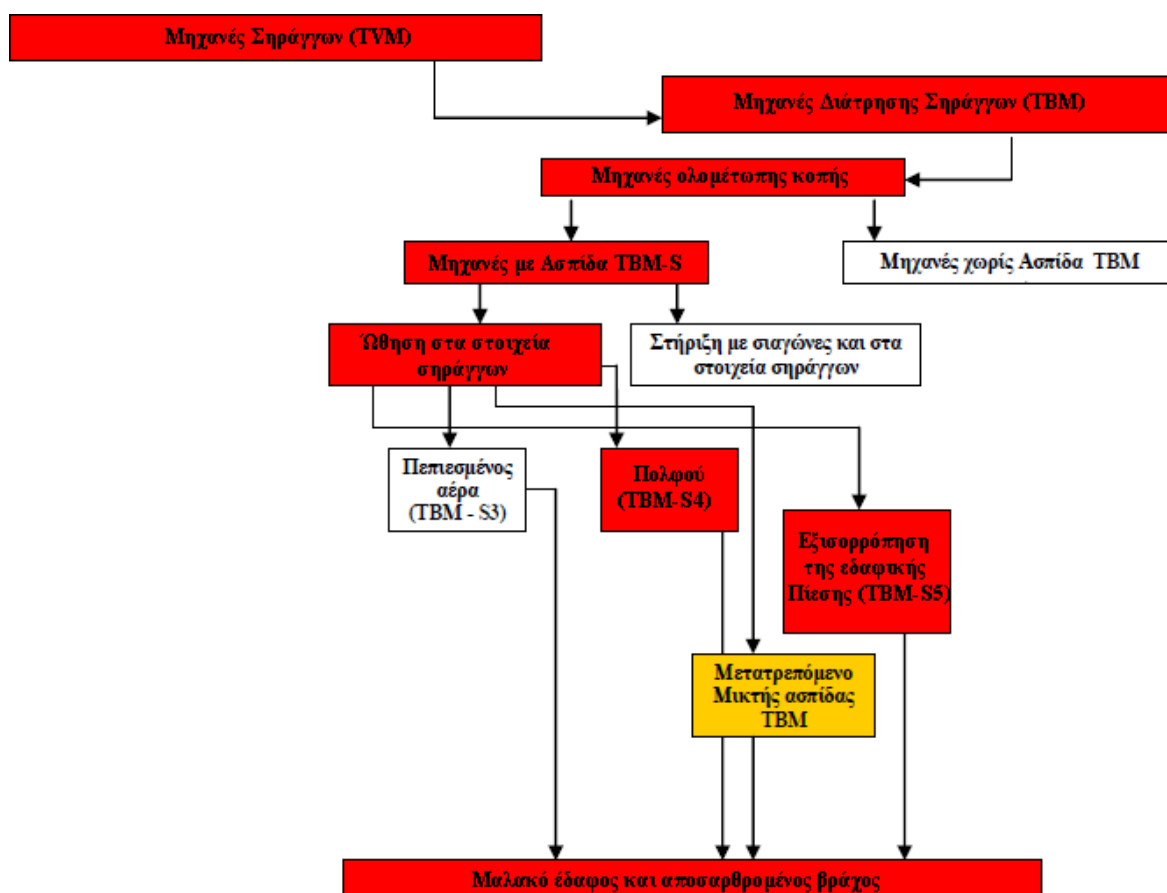




Κατάταξη TBM κατά DAUB, OGG, FGSV, SIA)

Σχήμα 4-16, Ταξινόμηση των Μηχανών Διάνοιξης Σηράγγων, Πηγή: Σ.Κουκουτάς

Οι επικρατέστεροι τύποι μηχανών διάνοιξης σηράγγων για τη διάνοιξη των υπο μελέτη κλάδων της γραμμής 4, σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα αλλά και την εμπειρία από τη διάνοιξη παλαιότερων σηράγγων, είναι το μηχάνημα Εξισορρόπησης Εδαφικής Πίεσης (EPB) - “TBM-S5” και το μηχάνημα Πολφού (Slurry) – “TBM-S4” (σχήμα 4-17). Στη συνέχεια, περιγράφεται η λειτουργία τους και γίνεται η επιλογή του καταλληλότερου μηχανήματος για το συγκεκριμένο έργο.



Σχήμα 4-17, Επικρατέστεροι τύποι μηχανών για την υπό μελέτη διάνοιξη

#### 4.8.1 Περιγραφή Μηχανήματος Εξισορρόπησης Εδαφικής Πίεσης (EPB) - “TBM-S5”

Το Μηχάνημα Εξισορρόπησης Εδαφικής Πίεσης (EPB) του διαφράγματος με διάμετρο εκσκαφής που κυμαίνεται από μικρή έως μέση, έχει εξελιχθεί σε προχωρημένο τεχνολογικό επίπεδο μηχανικής και καταλαμβάνει σήμερα τα δύο τρίτα της αγοράς των μηχανημάτων παγκοσμίως. Οι συνθήκες εδάφους, που θεωρούνται ιδανικές για τη λειτουργία μηχανημάτων ασπίδας EPB, είναι λεπτόκοκκο μαλακό έδαφος κάτω από τον

υδροφόρο ορίζοντα, αργιλώδη και ιλυώδη εδάφη, ενώ η τυπική διάμετρος μηχανήματος κυμαίνεται από 2 έως 14 και πλέον μέτρα.

Τα μηχανήματα EPB χρησιμοποιούνται συχνά όταν η διάνοιξη της σήραγγας πραγματοποιείται τόσο σε χαλαρό έδαφος, όσο και σε έντονα αποσαθρωμένο βράχο, ενώ παράλληλα χρησιμοποιούνται και σε σχηματισμούς με διαφορετικές και συχνά μεταβαλλόμενες εδαφικές συνθήκες.

Η κοπτική τους κεφαλή (Εικόνα 4-5) είναι εξοπλισμένη με σκαπτικά εργαλεία όπως δίσκοι κοπής, σιαγώνες σύνθλιψης και σιαγώνες εκχωμάτωσης. Τα πρώτα χρησιμοποιούνται σε σχηματισμούς βράχου και πετρωμάτων, τα δεύτερα χρησιμοποιούνται στα αμμώδη εδάφη και τα τελευταία σε συνεκτικά εδάφη. Στις περιπτώσεις μικτών εδαφικών συνθηκών, η κοπτική κεφαλή πρέπει να εξοπλίζεται με εργαλεία διαφόρων τύπων.

Στο Μηχάνημα Εξισορρόπησης Εδαφικής Πίεσης (EPB), το μέσο υποστήριξης του μετώπου της σήραγγας είναι το εκσκαφθέν υλικό, το οποίο βελτιώνεται με υγρά πρόσθετα ή πλαστικοποιητές.

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

Κατά την προχώρηση του EPB, η κατάσταση εξισορρόπησης επιτυγχάνεται όταν το έδαφος στο οποίο έχουν προστεθεί σταθεροποιητές στο θάλαμο της κεφαλής κοπής φθάσει στη μέγιστη πυκνότητα ώστε η ενεργή πίεση και ο όγκος του υλικού που εξάγεται από τον ατέρμονα κοχλία να εξισορροπεί το αντίστοιχο «θεωρητικό» υλικό που απομακρύνεται από την κεφαλή κοπής (Maidl et al. 1996).

Η πίεση που εφαρμόζεται από το μέτωπο κοπής κατά την προώθηση των EPB πρέπει να αντιστοιχεί στην πίεση του εδάφους εκσκαφής, μειώνοντας έτσι την πιθανότητα να συμβούν περιστατικά που οδηγούν σε αστάθεια του μετώπου ή καθίζηση στην επιφάνεια.

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

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

Είναι σημαντικό να υπάρξει η σωστή επιλογή του λόγου εισπίεσης αφρού, για τη ρύθμιση των προϊόντων εκσκαφής. Σε υπερβολικά μεγάλη τιμή FIR, ο αφρός εντός του υλικού των προϊόντων εκσκαφής, είναι σε πλεόνασμα και δε μπορεί να ενσωματωθεί. Σε λόγο διόγκωσης αφρού 8:1, η ποσότητα του αέρα σε  $1\text{m}^3$  αφρού θα είναι  $8\text{m}^3$  και εάν ο λόγος εισπίεσης αφρού υπερβαίνει την περιοριστική τιμή, μέρος του αέρα θα είναι ελεύθερο να κινηθεί στο εσωτερικό του θαλάμου εκσκαφής που είναι υπό πίεση. Ο αφρός που χρησιμοποιείται στη διάνοιξη της σήραγγας είναι στην ουσία ένα αέριο, που διαχέεται στο υγρό υπό μορφή φυσαλίδων. Δημιουργείται με την χρήση δραστικού μέσου μείωσης της επιφανειακής τάσης, στο σημείο επαφής αέρα και ύδατος. Οι ιδιότητες του αφρού σχετίζονται με το ρυθμό διαστολής του.

Η εφαρμογή του αφρού στο έδαφος εκσκαφής αυξάνει την πλήρωση του θαλάμου κεφαλής κοπής, την ταχύτητα του μηχανήματος Διάνοιξης, ενώ μειώνει την τριβή και τη ροπή στρέψης.

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



Εικόνα 4-5, Κοπτική κεφαλή EPB, Πηγή: Αττικό Μετρό

Το εμπρόσθιο τμήμα του EPB φέρει τον παρακάτω εξοπλισμό (Εικόνα 4-6):

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

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

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

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



Εικόνα 4-6, Το πίσω μέρος της ασπίδας του EPB, Πηγή: Αττικό Μετρό

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

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

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

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

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

Σε ένα μηχάνημα EPB, η επιτρεπόμενη ελεύθερη απόσταση εντός του ατέρμονα μεταφορικού κοχλίου, καθώς και η κατάντη χωρητικότητα των μεταφορικών ιμάντων στο σημείο εξόδου του ατέρμονα κοχλίου προσδιορίζουν το μέγιστο μέγεθος των κροκάλων ή ογκόλιθων τις οποίες το μηχάνημα μπορεί να χειριστεί. Βασικός κανόνας, που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη είναι ότι σε έναν αξονικού τύπου ατέρμονα κοχλία η διαθέσιμη για ογκόλιθους ελεύθερη απόσταση είναι λίγο παραπάνω από το ένα τρίτο της διαμέτρου του.

#### 4.8.1.1 Συσκευή καταγραφής δεδομένων

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

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

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

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

#### 4.8.1.2 Ρυθμός εκσκαφής

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

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

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



#### **4.8.1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Μηχανημάτων Εξισορρόπησης της Εδαφικής Πίεσης (EPB)**

Βασικά πλεονεκτήματα των Μηχανημάτων Εξισορρόπησης της Εδαφικής Πίεσης (EPB) έναντι των Μηχανημάτων Πόλφου(Slurry) είναι :

- Μικρότερο εργοτάξιο και φρέαρ εκκίνησης
- Ευελιξία όσον αφορά τις μεταβολές της γεωλογίας
- Γενικά εύκολη εκμάθηση, χρήση και συντήρηση του μηχανήματος
- Σε περίπτωση κατάρρευσης του μετώπου εκσκαφής η ποσότητα των γαιών είναι περιορισμένη
- Ικανότητα εκμετάλλευσης της αυτό-στήριξης σε ανοικτό τρόπο λειτουργίας και ικανότητα επίτευξης υψηλότερων συνολικών ποσοστών προόδου
- Λιγότερη κατανάλωση πρόσμικτων υλικών κατά την εκσκαφή
- Χαμηλότερο χρηματικό κόστος κεφαλαίου
- Ευκολία απομάκρυνσης των προϊόντων εκσκαφής

Βασικά μειονεκτήματα των Μηχανημάτων Εξισορρόπησης της Εδαφικής Πίεσης (EPB) έναντι των Μηχανημάτων Πόλφου(Slurry) είναι :

- Χρήση πρόσμικτων
- Δυσχέρεια οδήγησης σε τρόπο λειτουργίας EPB
- Μεγαλύτερες καθιζήσεις (σε ανοικτό τρόπο λειτουργίας)
- Απαιτείται μεγαλύτερη ροπή
- Απαιτείται μέτρια δύναμη κοπτικής κεφαλής
- Απαιτείται προμελέτη υπολογισμού της απαιτούμενης πίεσης στην κεφαλή κοπής κατά την ώθηση του μηχανήματος.

#### 4.8.2 Μηχανήματα Πολφού (Slurry) – “TBM-S4”

Το πλέον πρόσφορο έδαφος για την χρήση μηχανήματος πολφού είναι:

- το αδρόκοκκο μαλακό έδαφος,
- τα αμμώδη και λεπτόκοκκα εδάφη κυρίως κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και με διάμετρο εκσκαφής με εύρος από, 2 έως 14 και πλέον μέτρα.

Η πίεση υποστήριξης ελέγχεται απ' ευθείας μέσω άντλησης του αιωρήματος εντός του θαλάμου της κεφαλής κοπής αποκομιδής των υλικών εκσκαφής. Η χρήση μηχανημάτων πολφού σε αργιλώδη εδάφη ενέχει τον κίνδυνο εμπλοκής των ανοιγμάτων της κοπτικής κεφαλής, του συστήματος μεταφοράς και του θαλάμου αποκομιδής των υλικών εκσκαφής.

Στις περιπτώσεις χαλαρών, μη συνεκτικών εδαφών, όπως για παράδειγμα χαλίκια, άμμος και εξαιρετικά ρηγματωμένος βράχος, πιθανώς σε συνδυασμό με μεγάλη διαπερατότητα και υψηλή στάθμη υπογείων υδάτων, απαιτείται στήριξη του μετώπου με την χρήση μπεντονιτικού εναιωρήματος.

Η άντληση του αιωρήματος για την υποστήριξη του μετώπου εκσκαφής καθώς και η παρουσία των υπογείων υδάτων και του μπεντονίτη δημιουργούν μία κρούστα σφράγισης του εδάφους εκσκαφής. Η κρούστα σφραγίζει το μέτωπο της εκσκαφής σχηματίζοντας μία μεμβράνη, μέσω της οποίας μεταφέρεται στο μέτωπο της σήραγγας η πίεση του μηχανήματος πολφού.

Κατά τη διάρκεια της εκσκαφής, ο θάλαμος της κοπτικής κεφαλής διαχωρίζεται από την υπόλοιπη σήραγγα μέσω ενός αεροστεγούς διαφράγματος (Εικόνα 4-7). Ο σχεδιασμός μέγιστης λειτουργίας της πίεσης στα τοιχώματα του διαφράγματος της κεφαλής κοπής είναι 7 bars.

Η απαιτούμενη για τη στήριξη του μετώπου πίεση, ρυθμίζεται μέσω του ελέγχου της ταχύτητας παροχής του μπεντονίτη των αντλιών τροφοδοσίας και άντλησης των υλικών εκσκαφής.

Τα προϊόντα εκσκαφής απομακρύνονται με υδραυλικές αντλίες μέσω των σωλήνων του εναιωρήματος προς τη μονάδα διαχωρισμού που βρίσκεται σε εργοτάξιο εκτός της σήραγγας, όπου διαχωρίζεται το υλικό της εκσκαφής από το μπεντονίτη. Το μέγεθος των ογκόλιθων ή των βράχων που μπορεί να μεταφερθεί μέσα από τις σωληνώσεις του συστήματος απομάκρυνσης των υλικών εκσκαφής χωρίς να αποφράσσεται, είναι περίπου

το 1/3 της εσωτερικής διαμέτρου της σωλήνωσης (το μέγεθος κυμαίνεται από 7,5 έως 15 εκατ. περίπου).

Η μείωση του μεγέθους των ογκόλιθων επιτυγχάνεται μέσω των δίσκων κοπής και των θραυστήρων (κυλινδρικού, κωνικού τύπου ή τύπου σιαγώνας) που βρίσκονται στο θάλαμο της κεφαλής κοπής. Ο θραυστήρας τύπου σιαγώνας συχνότερα εφαρμόζεται διότι έχει μεγάλα ανοίγματα και δέχεται μεγάλα σε διαστάσεις τεμάχια ογκόλιθων.

Το μηχάνημα πολφού ωθείται προς τα εμπρός στηριζόμενο στα προκατασκευασμένα στοιχεία επένδυσης της σήραγγας.



Εικόνα 4-7, Κοπτική κεφαλή και ασπίδα EPB Shield, Πηγή: Αττικό Μετρό

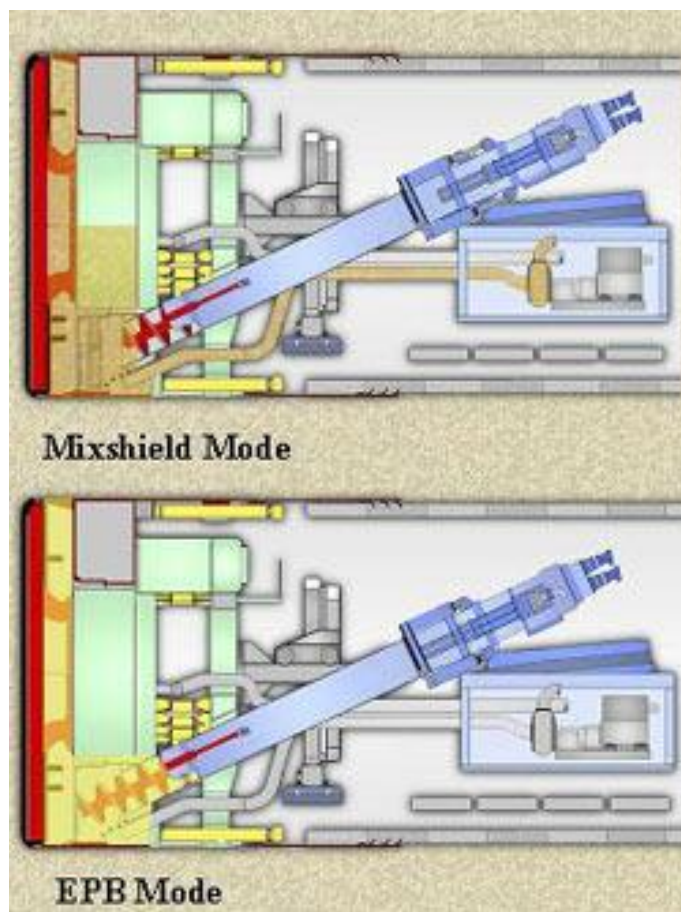
#### 4.8.2.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Μηχανημάτων Πολφού (Slurry)

Τα πλεονεκτήματα του μηχανήματος με πολφό (Slurry) σε σύγκριση με τα μηχανήματα EPB είναι τα εξής:

- Ευκολία οδήγησης
- Μικρότερες καθιζήσεις
- Χαμηλότερη ροπή
- Μικρότερη δύναμη κοπτικής κεφαλής
- Τα υλικά εκσκαφής δεν εκτίθενται στο περιβάλλον της σήραγγας μέχρι να φθάσουν στη μονάδα διαχωρισμού
- Καθαρότερο περιβάλλον σήραγγας
- Δυνατότητα χρήσης θραυστήρα στην περιοχή της κεφαλής κοπής
- Η απαιτούμενη πίεση προσδιορίζεται και ελέγχεται από το σύστημα
- Αυτόματος υπολογισμός της απαιτούμενης πίεσης.

Τα μειονεκτήματα του μηχανήματος με εναιώρημα είναι τα εξής:

- Χρήση πρόσμικτων
- Μονάδα διαχωρισμού
- Μόλυνση με μπεντονίτη
- Δε μπορεί να εκμεταλλευτεί το αυτο-υποστηριζόμενο έδαφος (δηλ. χωρίς ανοικτό τρόπο λειτουργίας)
- Απαιτεί εργοταξιακό χώρο μεγάλων διαστάσεων
- Υψηλότερο χρηματικό κόστος κεφαλαίου
- Απαιτείται μεγαλύτερη ισχύς λειτουργίας
- Πολύπλοκη διαδικασία αποκομιδής προϊόντων εκσκαφής
- Μέτρια ταχύτητα εκσκαφής



Σχήμα 4-18, Σύγκριση μηχανήματος πολφού με EPB, Πηγή: Σ.Κουκουτάς

## 4.9 Επιλογή μηχανήματος διάνοιξης σηράγγων

### 4.9.1 Εδαφικές συνθήκες όπου χρησιμοποιείται το EPB

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

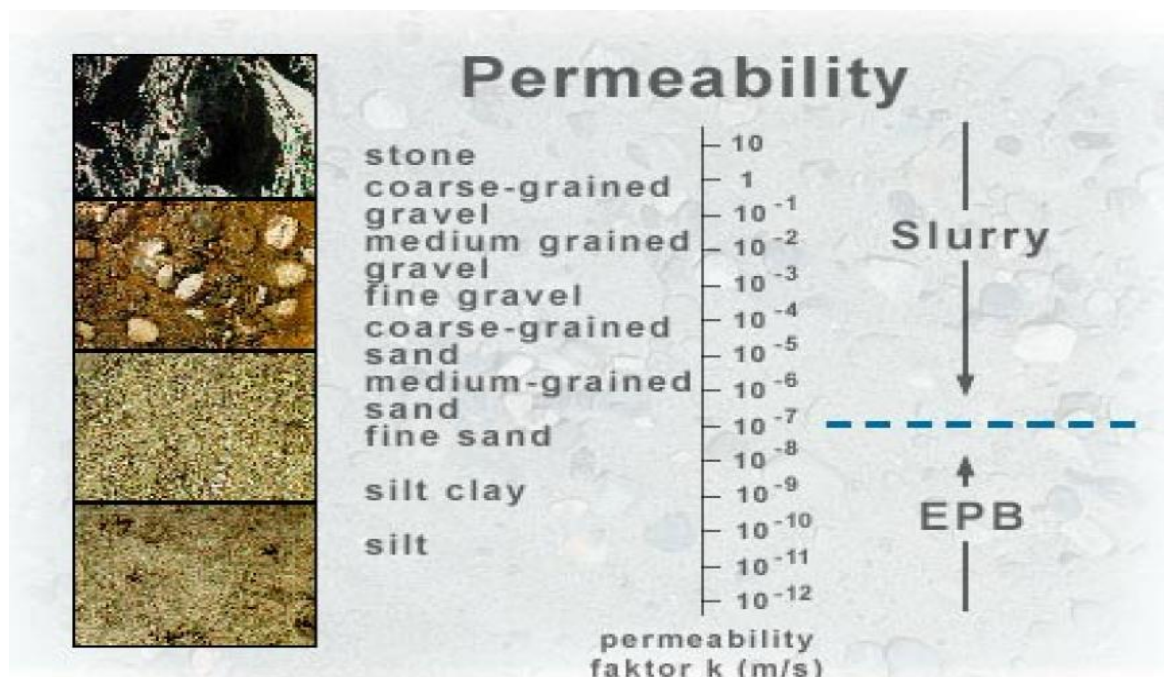
Οι καλύτερες εδαφικές συνθήκες συναντώνται όταν το υπό εκσκαφή έδαφος έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:

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

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

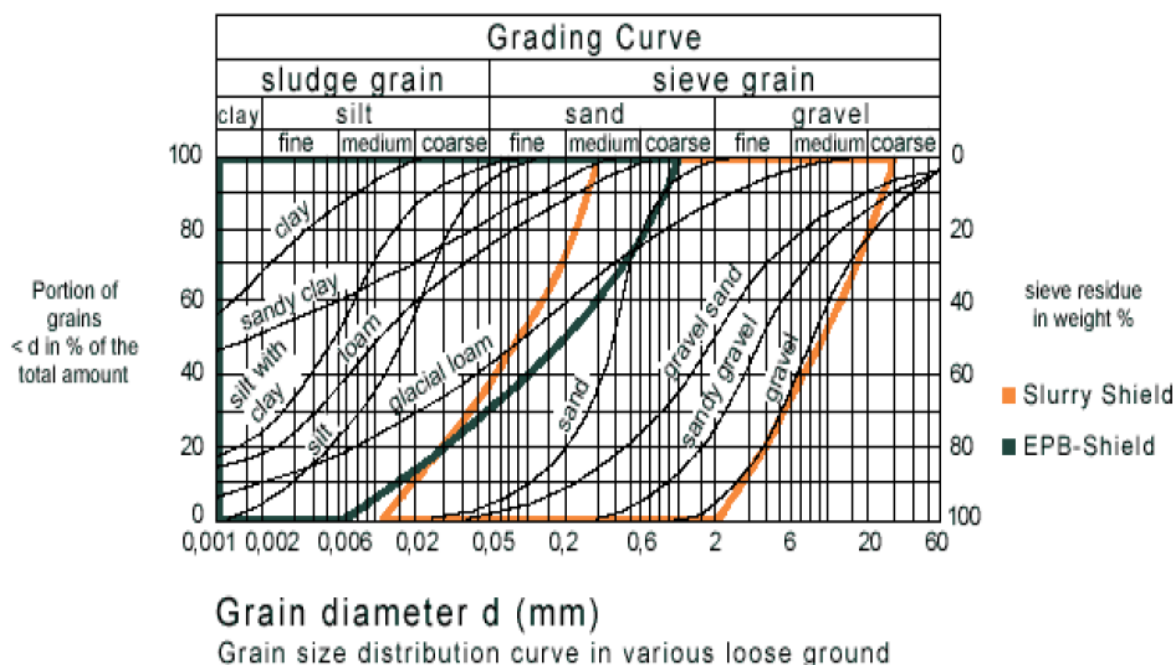
Τα κριτήρια για την επιλογή μιας μηχανής EPB είναι:

- Η κοκκομετρική καμπύλη (μέγεθος κόκκου) του εδάφους
- Η διαπερατότητα του εδάφους (συντελεστής διαπερατότητας  $k(m/s) < 10^{-5}$ ), (Σχήμα 4-19)
- Τα όρια σύστασης (περιεκτικότητα σε νερού (W), όριο υγρών (LL), δείκτης πλαστικότητας (PI, PL, Ic και άλλα) , αραιά έως μαλακά εδάφη
- Η ορυκτολογία του βράχου / αργίλου
- Η ποιότητα του εδάφους
- Η αντοχή του πετρώματος για βραχώδη εδάφη
- Το κοκκομετρικό κλάσμα των λεπτομερών εδαφών  $< 60 \mu m$ , άργιλος και ιλύς  $> 25 - 30 \%$
- Πολύ μαλακές έως άκαμπτες άργιλοι / πολύ χαλαρές μέχρι μέτριες άμμοι: αριθμός κρούσεων N: 0 -15
- Γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi$ :  $0 - 30^\circ$



Σχήμα 4-19, Εφαρμογές μηχανών Πολφού και EPB σε σχέση με το έδαφος, Πηγή: Αττικό Μετρό

Προκειμένου να πετύχουμε καλύτερα αποτελέσματα μπορούν να εφαρμοστούν τεχνικές με χρήση αφρού έκχυσης ή μπεντονίτη στο μέτωπο της εκσκαφής. Αυτό προϋποθέτει την ολοκληρωμένη γνώση των γεωλογικών σχηματισμών. Πρόσθετοι ρυθμιστικοί παράγοντες (Σχήμα 4-20) απαιτούνται για να μειώσουν τη διαπερατότητα του εδάφους ακόμα και όταν υπάρχουν σχετικά μικρά επίπεδα πίεσης του υπογείου νερού. Η πρόσθετη έκχυση ρυθμιστικών παραγόντων (αφρού η μπεντονίτη), δεν είναι αναγκαία εάν δεν υπάρχει υπόγειο νερό. Διαπερατότητα της τάξεως των 10-5 m/s, είναι ένα εμπειρικό όριο λειτουργίας του EPB, και μπορεί να ελεγχθεί με έκχυση μπεντονίτη ή άλλων πρόσθετων παραγόντων. Εάν το έδαφος έχει υψηλή διαπερατότητα, το υπόγειο νερό θα καταφέρει να βρει το δρόμο του μέσα από το υλικό, στο θάλαμο εκσκαφής και στον ατέρμονα κοχλία.



Σχήμα 4-20, Όρια εφαρμογής πρόσθετων ρυθμιστικών παραγόντων στο EPB, Πηγή: Σ.Κουκουτάς

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

Πίνακας 4-3, Γεωτεχνική ταξινόμηση, μέσες τιμές παραμέτρων, Πηγή: Σ.Κουκουτάς

Γεωτεχνικά	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	PI	c'(kPa)	$\phi'$ ( <sup>o</sup> )	E(MPa)	q <sub>u</sub> (MPa)	K(m/s)
Αλλουβιακές αποθέσεις	21	15	0.02	30	30	0.13-0.16	10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-8</sup>
Λατύπες	25	n/a	0.10	-	1000	2-20	10 <sup>-6</sup> -10 <sup>-8</sup>
Μάργες	22	15-30	0.05	25	500	1.5-1.7	10 <sup>-7</sup> -10 <sup>-9</sup>
Αθηναϊκός σχιστόλιθος	23	5-15	0.05-0.15	20-25	500-2000	0.5-2	10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-8</sup>

Όπου:

$\gamma$ : πυκνότητα εν ξηρό

PI: δείκτης πλαστικότητας

c': συνοχή

$\phi'$ : γωνία εσωτερικής τριβής

E: μέτρο ελαστικότητας

q<sub>u</sub>: μονοαξονική αντοχή σε θλίψη

K: συντελεστής υδροπερατότητας

#### 4.9.2 Κοκκομετρική ανάλυση

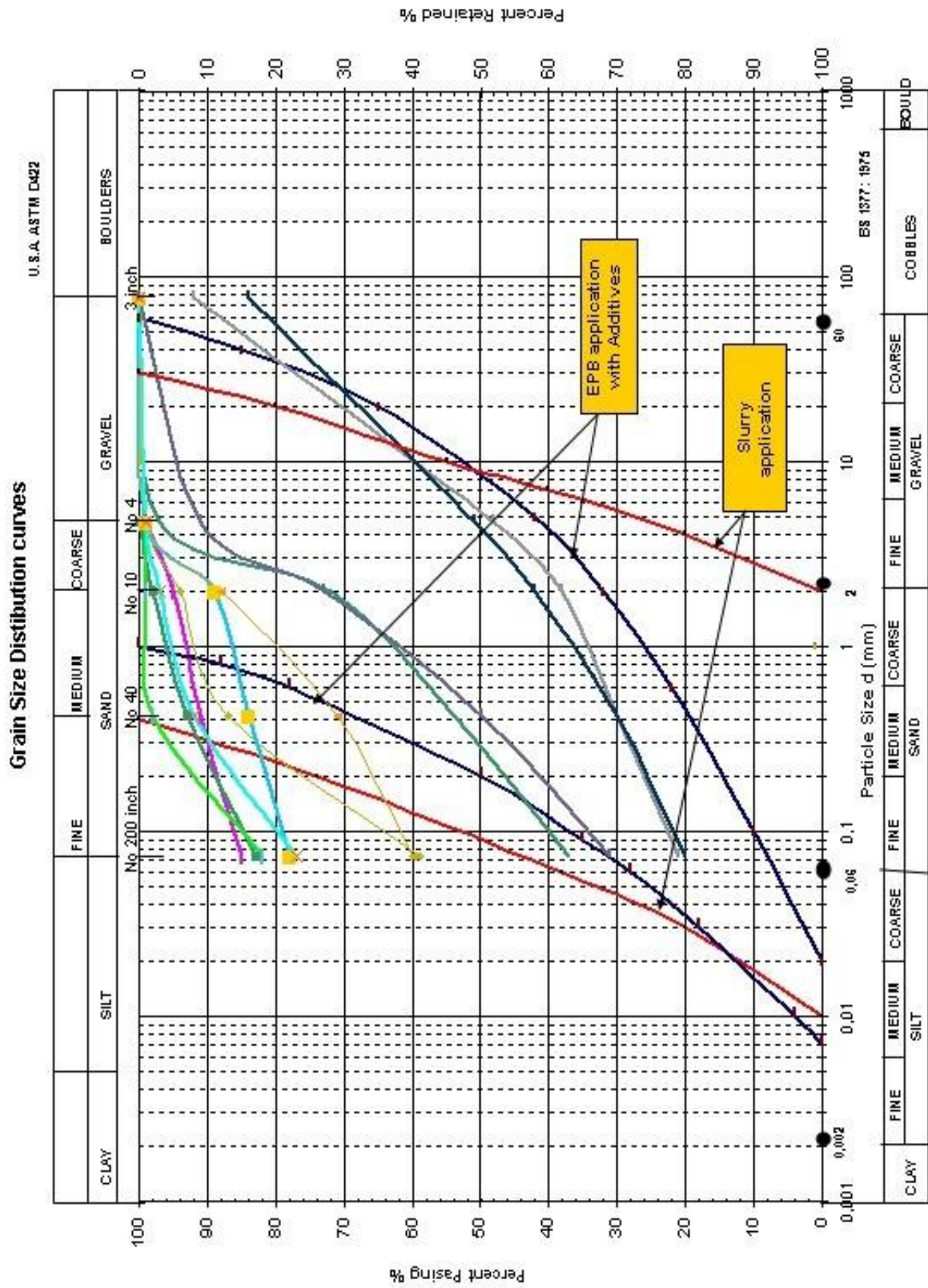
Πίνακας 4-4, Κοκκομετρική ανάλυση γεωτρήσεων Βορείου κλάδου

Βόρειος Κλάδος	Γεώτρηση		Σήραγγα	Κοκκομέτρικο Διερχόμενο %				
	Αριθμός	Βάθος(m)		Βάθος(m)	3/4	4	10	40
Νοσοκομείο "ΑΓΙΑ ΟΛΓΑ" (G7)	Γ1	18.50	13	100	97	72	54	37
Πολυκατοικία Χρυσολωρά & Ψυχάρη στη Μεταμόρφωση (G11)	Γ1	34.80	12	-	100	98	93	83
	Γ2	35.00		100	97	88	77	67
				-	100	99	98	82
				100	99	94	87	59
Οικία στην Οδό Τατοίου στη Μεταμόρφωση (G12)	Γ1	33.60	14.22	100	99	89	84	78
				100	99	88	71	60
Νηπιαγωγείο Λυκόβρυσης (G15)	Γ1	18.70	10	100	99	97	92	77
				100	91	73	50	31
	Γ2	18.10		92	48	38	30	21
				84	51	42	30	20

Η κοκκομετρική ανάλυση προκύπτει από τα αριθμητικά αποτελέσματα των γεωτρήσεων.

Κοκκομετρική ανάλυση πραγματοποιήθηκε μόνο για το Βόρειο κλάδο, διότι για το Νότιο κλάδο υπήρχε έλλειψη στοιχείων.





Σχήμα 4-21, Καμπύλες κοκκομετρικής ανάλυσης

Αναφορικά με το διάγραμμα (Σχήμα 4-21), οι μαύρες καμπύλες υποδεικνύουν τα όρια εντός των οποίων λειτουργεί το EPB. Αντίστοιχα, οι κόκκινες καμπύλες υποδεικνύουν τα όρια λειτουργίας του Slurry. Οι καμπύλες που προέκυψαν από την επεξεργασία των ποσοστών του κοκομετρικού διερχόμενου των γεωτρήσεων βρίσκονται εντός των ορίων λειτουργίας του EPB. Τέλος, παρατηρούνται κάποια τμήματα καμπυλών οριακά εκτός των ορίων λειτουργίας του μηχανήματος. Αυτά τα τμήματα είναι αμελητέα, διότι λόγω της μικρής απόκλισης τους θεωρείται ότι το μηχάνημα μπορεί διευρύνει τη λειτουργία του και να ανταπεξέλθει και σε αυτές τις συνθήκες.

Τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους, η παρουσία υδροφόρου ορίζοντα πάνω από τη στέψη της σήραγγας, το υπερκείμενο βάθος που βρίσκεται η στέψη της σήραγγας και η παρουσία στην επιφάνεια διάφορων κατοικημένων κατασκευών, απαιτούν την επιλογή μίας μηχανής ολομέτωπης κοπής με Ασπίδα και εξισορρόπησης της Πίεσης του Εδάφους (EPB).

Συνεπώς με βάση τα παραπάνω κριτήρια ο τρόπος διάνοιξης της σήραγγας προτείνεται να γίνει με τη χρήση TBM και συγκεκριμένα με τον τύπο μηχανήματος TBM S5.

## **4.10 Καθιζήσεις**

### **4.10.1 Εισαγωγή**

Το μέτωπο της σήραγγας αποτελεί δυνητικά το πιο εκτεθειμένο τμήμα της για αστοχία. Για τη διερεύνηση του θα πρέπει να γίνεται διάκριση μεταξύ γεωμάζας με ή δίχως μακροδομές λόγω διάστρωσης, σχιστότητας ή κατάκλασης. Στην πρώτη περίπτωση, εφόσον το πέτρωμα είναι επαρκούς αντοχής και ογκοτεμαχισμένο, καταπτώσεις δύνανται να πραγματοποιούνται με ολίσθηση τεμάχων, λόγω του ιδίου βάρους, επάνω στις ασυνέχειες. Αντίθετα, σε ασθενείς γεωμάζες, η σχετική αντοχή της ίδιας της γεωμάζας, η υδροφορία, και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της σήραγγας είναι αυτά που προσδιορίζουν την ευστάθεια του μετώπου της σήραγγας. Σε αυτά τα γεωολικά, η κατάπτωση μπορεί να προχωρήσει καθ' ύψος διαμορφώνοντας «καμινάδα»(chimney), και στην περίπτωση αβαθών σηράγγων να φτάσει μέχρι και την επίγεια επιφάνεια, ώστε να «φανεί φως» (daylight collapse). Πρόκειται για έναν από τους σοβαρότερους κινδύνους κατά τη διάνοιξη σηράγγων και ο σχεδιασμός θα πρέπει να μεριμνά ειδικά για την αποφυγή τους.

Στην περίπτωση που διαγνωστεί κίνδυνος αστοχίας του μετώπου, για τη σταθεροποίηση λαμβάνονται μέτρα, που στη σύγχρονη πρακτική εφαρμόζονται είτε με πίεση του μετώπου από ασπίδες κλειστού τύπου, είτε με ήλωση του μετώπου με αγκύρια μεγάλου μήκους από υαλοϊνες (fiberglass). Η εκτίμηση του μεγέθους της υποχώρησης της επιφάνειας του εδάφους αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της κατασκευής υπογείων έργων σε αστικές περιοχές λόγω των πιθανών βλαβών στις υπερκείμενες κατασκευές και στα δίκτυα κοινής ωφέλειας.

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

- Το είδος και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του εδάφους
- Το βάθος του υπογείου έργου από την επιφάνεια του εδάφους
- Το μέγεθος της εκσκαφής
- Τον τρόπο εκσκαφής, δηλαδή τον αριθμό και τις διαστάσεις των φάσεων εκσκαφής, τη χρήση TBM ή NATM κλπ.
- Το είδος, την πυκνότητα και τον τρόπο εφαρμογής των μέτρων άμεσης υποστήριξης (π.χ. την απόσταση κατασκευής της άμεσης υποστήριξης από το μέτωπο εκσκαφής)
- Τον τρόπο υποστήριξης του μετώπου εκσκαφής, π.χ. με δοκούς προπορείας (forepoling), με αγκύρια βράχου κατά τον άξονα της σήραγγας κλπ.
- Τη λήψη άλλων μέτρων βελτίωσης του εδάφους, όπως την κατασκευή πιλοτικής σήραγγας, τσιμεντενέσεων (Εικόνα 4-8) κλπ.

Από τους ανωτέρω παράγοντες, οι πρώτοι τρεις μπορούν να αναλυθούν ποσοτικά μέσω εμπειρικών ή ημι-αναλυτικών σχέσεων. Οι υπόλοιποι τέσσερις παράγοντες εξαρτώνται από τη συγκεκριμένη περίπτωση κατασκευής και συνεπώς δεν μπορούν να εκτιμηθούν εκ των προτέρων. Η ανομοιογένεια και ανισοτροπία του υλικού, όπως και η ροή νερού αποτελούν τις περισσότερες φορές τις ουσιαστικές αιτίες των αστοχιών και πρέπει να αντιμετωπίζονται με τα κατάλληλα κατασκευαστικά μέτρα. Πάντως, με τη λήψη κατάλληλων μέτρων βελτίωσης του εδάφους και την εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων κατασκευής είναι δυνατόν οι υποχωρήσεις της επιφάνειας του εδάφους να περιορισθούν σημαντικά, ακόμη και σε πρακτικώς μηδενικές τιμές.



Εικόνα 4-8, Βελτίωση εδάφους λόγω εκδήλωσης καθίζησης στην οδό Πανεπιστημίου,  
Πηγή: Αττικό Μετρό

#### 4.10.2 Απώλεια όγκου εδάφους

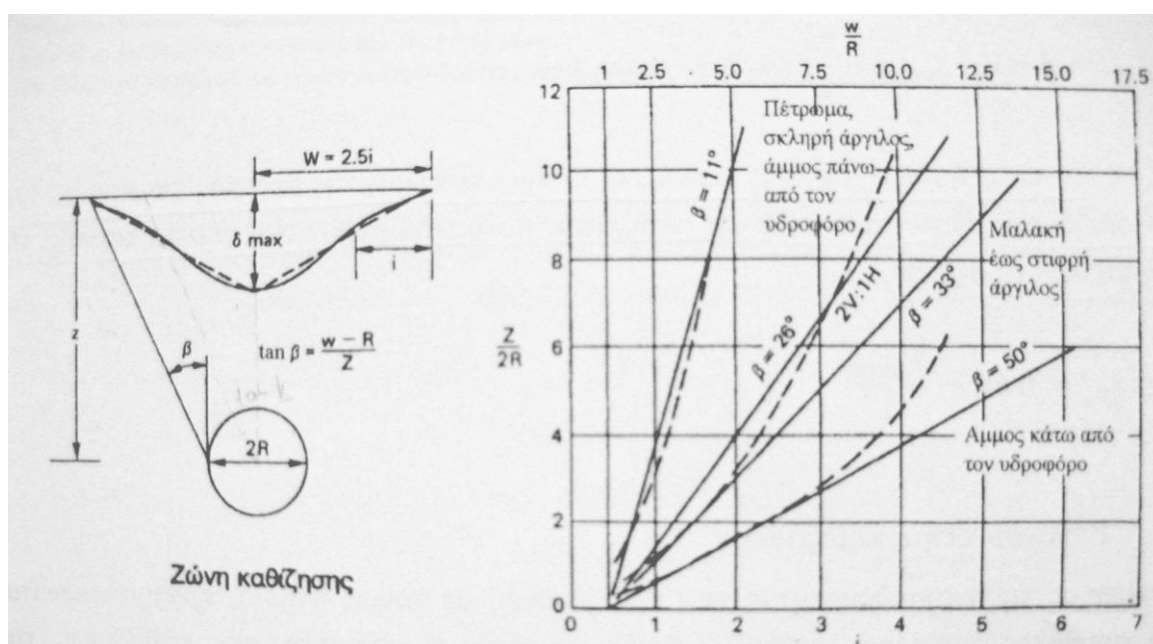
Απώλεια όγκου λόγω της διάνοιξης της σήραγγας ορίζεται ο όγκος εδάφους μεταξύ της τελικής θέσης της επιφάνειας εκσκαφής και της αρχικής θέσης της. Οφείλεται στην εκβολή του εδάφους στο μέτωπο της σήραγγας και την συνεπακόλουθη σύγκλιση έμπροσθεν του μετώπου, στο κενό που αφήνεται μεταξύ της επιφάνειας όρυξης και εμπροσθεν του μετώπου, στο κενό που αφήνεται μεταξύ επιφάνειας όρυξης και επένδυσης σήραγγας, και στην υποχώρηση της επένδυσης της σήραγγας. Η απώλεια όγκου ως ποσοστό ( $V_L'$ ) του όγκου της σήραγγας, κυμαίνεται από 0.5% για πολύ καλό έλεγχο του εδάφους, έως και περισσότερο από 4% για πτωχής ποιότητας εργασία διάνοιξης.

Η απώλεια εδάφους στο επίπεδο της σήραγγας έχει σαν αποτέλεσμα την καθίζηση του εδάφους στην επιφάνεια. Αυτή εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους, τη μέθοδο κατασκευής και την ποιότητα της εργασίας. Ο καθιζάνον όγκος στην επιφάνεια θεωρείται

ότι ισούται με την απώλεια όγκου στη σήραγγα, παρ'όλο που στις μεν άμμους αυτός είναι μικρότερος λόγω διόγκωσης και στις αργίλους πιθανόν μεγαλύτερος λόγω στερεοποίησης.

Γενικά, ο κύριος παράγοντας που καθορίζει το εύρος της σκαφής των καθιζήσεων είναι το βάθος, ανεξάρτητα από τον τύπο του εδάφους.

Το σχήμα της καθίζησης  $s$  στην επιφάνεια μπορεί να προσομοιωθεί με την καμπύλη κανονικής κατανομής πιθανότητας.



Σχήμα 4-22, Εγκάρσια τομή καθιζήσεων στην επίγεια επιφάνεια, (Σοφιανός, 2010)

Αυτή ορίζεται από τη σχέση:

- $s_v = s_{vmax} \cdot e^{-(x^2/2 \cdot i^2)}$
- $V_s = 2.5 \cdot i \cdot s_{vmax}$
- $s_{vmax} = V_s / (\tan \beta \cdot z + R) = V_s / (2.5 \cdot i)$
- $\tan \beta = (2.5 \cdot i - R) / z$
- $i = k \cdot z$
- $k = [\tan \beta + (R/z)] / 2.5$

Όπου

- $S_{vmax}$  η μέγιστη η καθίζηση στο μέσον,
- $x$  η απόσταση από το κέντρο,
- $i$  η απόσταση του σημείου καμπής από το κέντρο,
- $V_s$  ο όγκος καθίζησης που σε πρώτη προσέγγιση ισούται με την απώλεια όγκου,
- $z$  το βάθος της εκσκαφής,
- $R$  η ακτίνα της κυκλικής εκσκαφής,
- $\beta$  η γωνία διάχυσης της απώλειας όγκου που εξαρτάται από τον τύπο του υπερκείμενου της εκσκαφής

Η μορφή των καμπυλών του σχήματος υποδεικνύει ότι κύριος παράγοντας που καθορίζει το εύρος της σκάφης των καθιζήσεων είναι το βάθος, ανεξάρτητα από τον τύπο του εδάφους. Οι Mair and Taylor (1997) λαμβάνουν αδρά υπόψη τον τύπο του εδάφους, προτείνοντας  $k=0.5$  ( $\tan \approx 45^\circ$ ) για αργιλικά εδάφη και  $k=35$  ( $\tan \approx 32^\circ$ ) για τα κοκκώδη εδάφη, ανεξάρτητα από τη στάθμη του υπόγειου νερού.

Οι οριζόντιες μετατοπίσεις σύμφωνα με τους Mair et al. (1996) ακολουθούν συμμετρική εκθετική κατανομή, και η μέγιστη τιμή τους συμβαίνει στη θέση του σημείου καμπής ( $x=i$ ) των καθιζήσεων. Η μέγιστη τιμή δίνεται από την σχέση:

- $S_{hmax}=0.606 \cdot S_{vmax}(\pm i/z)$

Οι καθιζήσεις έχουν ως αποτέλεσμα την απόκλιση της επίγειας επιφάνειας από την οριζόντια. Η μέγιστη τιμή της απόκλισης αυτής συμβαίνει στο σημείο καμπής, και δίνεται από την σχέση:

- $\max s_v'=0.607 \cdot (S_{vmax}/i)$

(πηγή: Σοφιανός,2010)

### 4.10.3 Απαιτούμενη δύναμη στήριξης μετώπου, μέθοδος Αναγνώστου & Kovari ( 1994 & 1996)

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην θεωρία του σιλό, σύμφωνα με το τρισδιάστατο μοντέλο του μηχανισμού ολίσθησης που προτάθηκε από τον Horn (1961). Με τη μέθοδο αυτή δίνεται η δυνατότητα εκτίμησης της απαιτούμενης στήριξης του μετώπου με έναν εποπτικό τρόπο.

Η ανάλυση πραγματοποιείται σε στραγγισμένες συνθήκες και παρατηρείται μια διαφορά μεταξύ της σταθεροποίησης της πίεσης του νερού και της ισχύουσας πίεσης στο EPB. Στραγγισμένες συνθήκες τείνουν να αντιστοιχούν σε γεωμάζες με περατότητα υψηλότερη από  $10^{-7}$  έως  $10^{-6}$  και ρυθμό προχώρησης του μετώπου μικρότερο από 0.1 με 1.0 m/hr.

Αν παρατηρηθεί διάφορα ανάμεσα στην πίεση του νερού μέσα στο μηχάνημα και σε αυτή στο έδαφος, εμφανίζονται αποσταθεροποιητικές δυνάμεις εισχώρησης και επιβάλλεται μεγαλύτερη πίεση στο μέτωπο. Ωστόσο, με την αποδοχή αυτής της ροής, η ολική πίεση για την σταθεροποίηση προκύπτει μικρότερη από την πίεση που απαιτείται στην περίπτωση που επιβάλλεται υδρογεωλογική ισορροπία.

Η απαιτούμενη πίεση σταθεροποίησης  $\sigma'$  ορίζεται ως:

$$S = F_0 \cdot \gamma' \cdot D - F_1 \cdot c' + F_2 \cdot \gamma' \cdot \Delta h - F_3 \cdot c' \cdot (\Delta h / D) \quad \text{kN}$$

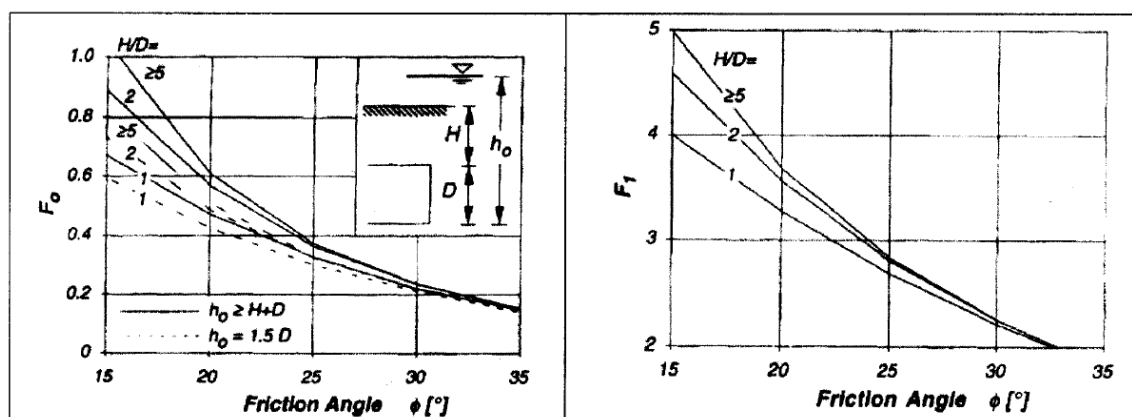
Όπου:

$F_0, F_1, F_2, F_3 :$	αδιάστατοι συντελεστές που εξαρτώνται από τη γωνία εσωτερικής τριβής $\phi$ , υπό τις γεωμετρικές παραμέτρους $H$ και $D$ και υπολογίζονται από τα νομογράμματα.	
$k_0:$	συντελεστής εδαφικής πίεσης σε ηρεμία	(-)
$H:$	ύψος υπερκείμενων	m
$\gamma :$	βάρος μονάδας εδάφους	kN/m <sup>3</sup>
$\gamma' :$	ειδικό βάρος του εδάφους με πλευστότητα ( $\gamma - \gamma_w$ )	kN/m <sup>3</sup>
$\gamma_w:$	ειδικό βάρος του νερού (ισούται με 10 kN/m <sup>3</sup> )	kN/m <sup>3</sup>
$\phi :$	γωνία εσωτερικής τριβής	(ο)
$D :$	διάμετρος σήραγγας TBM	m
$\Delta h :$	$H_0 - H_{EPB}$	m
$H_{EPB}:$	πιεζομετρικό ύψος της κεφαλής κοπής	m

$H_0$ :	ύψος από το δάπεδο της σήραγγας ως το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα	m
$\Delta_s$ :	επιπλέον πίεση εξαιτίας του υδροφόρου	kN/m <sup>2</sup>
$P_F$ :	απαιτούμενη εδαφική πίεση του TBM	kN
$S_1$ :	οριζόντια πίεση υποστήριξης	kN/m <sup>2</sup>
$Sw_1$ :	πίεση νερού στη στέψη της σήραγγας	kN/m <sup>2</sup>
$Sw_2$ :	πίεση νερού στο δάπεδο της σήραγγας	kN/m <sup>2</sup>
$\Delta_{ss}$ :	πρόσθετη πίεση εδάφους	kN/m <sup>2</sup>
$\Delta_{sw}$ :	πρόσθετη πίεση εξαιτίας του υδροφόρου ορίζοντα	kN/m <sup>2</sup>
$H_s$ :	επίπεδο του εδάφους	m
$H_w$ :	στάθμη νερού πάνω από τη στέψη της σήραγγας	m
$c$ :	συνοχή του εδάφους πάνω από τη σήραγγα	kN/m <sup>2</sup>

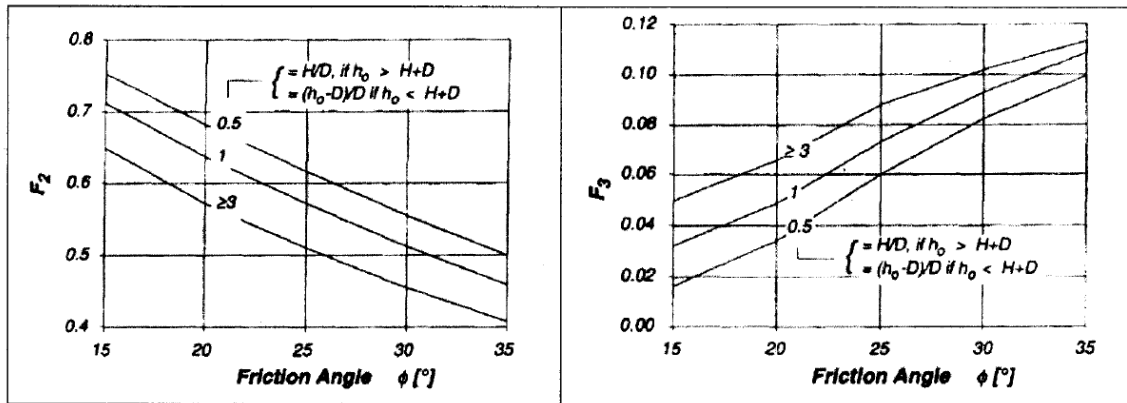
#### 4.10.4 Διαγράμματα απαιτούμενης στήριξης στο μέτωπο

Με χρήση των σχέσεων από την ισορροπία του μηχανισμού, για ισοδύναμη τετραγωνική σήραγγα πλευράς  $D$ , προκύψανε τα παρακάτω 4 νομογράμματα (αντίστοιχα της φέρουσας ικανότητας των θεμελιώσεων) από τα οποία δύναται να υπολογιστεί η απαιτούμενη πίεση  $S$  στήριξης του μετώπου, ως άθροισμα 4 επιμέρους όρων.

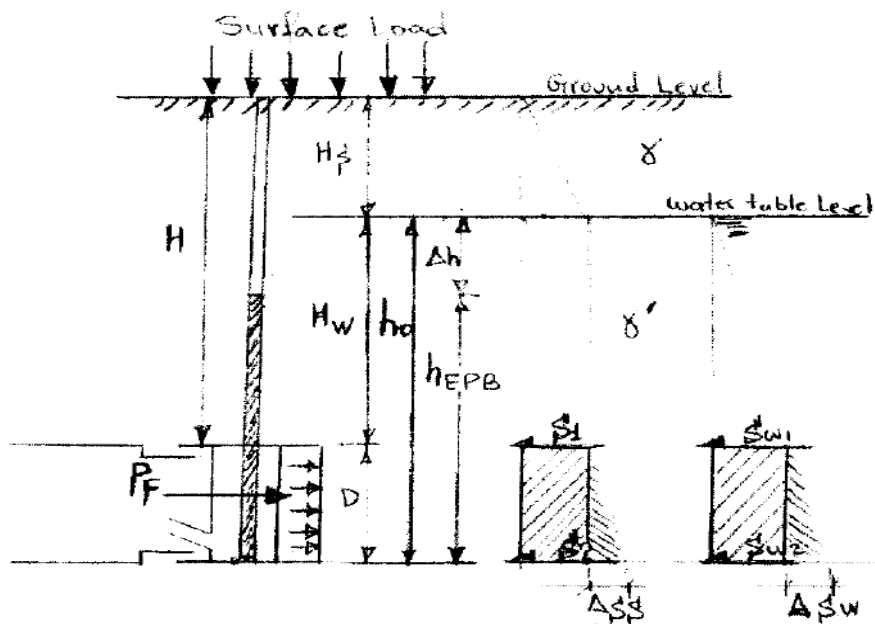


Σχήμα 4-23, Νομογράμματα για τους αδιάστατους συντελεστές  $F_0, F_1$  (Anagnostou & Kovari, 1996)





Σχήμα 4-24, Νομογράμματα για τους αδιάστατους συντελεστές  $F_2$ ,  $F_3$  (Anagnostou & Kovari, 1996)



Σχήμα 4-25, Πίεσεις του εδάφους και φορτία νερού κατά την εκσκαφή του TBM, Πηγή: Σ.Κουκουτάς

- $SW_1 = \gamma_w \cdot H_w$ ,  $\text{kN/m}^2$
- $S_1 = F_0 \cdot \gamma' \cdot D - F_1 \cdot c' + F_2 \cdot \gamma' \cdot \Delta h - F_3 \cdot c' \cdot (\Delta h / D) + SW_1$ ,  $\text{kN/m}^2$
- $S_2 = S_1 + \Delta s$ ,  $\text{kN/m}^2$
- $\Delta s = \Delta_{sw}$ ,  $\text{kN/m}^2$
- $\Delta_{sw} = \gamma_w \cdot D$ ,  $\text{kN/m}^2$

Η απαιτούμενη εδαφική πίεση  $P_F$  που ασκείται στο μέτωπο του TBM σε ασυμπύεστο έδαφος ισούται με:

- $P_F = (S_1 + S_2)/2 \quad \text{kN/m}^2$

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ**



## 5.1 Οικονομικά στοιχεία

### 5.1.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μελέτη των βασικών οικονομικών στοιχείων που μελετώνται στην κατασκευή μίας σήραγγας. Βέβαια, τα θεωρητικά αυτά στοιχεία απέχουν από την πραγματικότητα γιατί κατά τη διάρκεια λειτουργίας ενός έργου είναι πολύ πιθανό να εμφανιστούν διάφοροι παράγοντες οι οποίοι μπορεί να τροποποιήσουν σημαντικά τον οικονομικό προϋπολογισμό του έργου. Τέτοιοι παράγοντες μπορεί να είναι το γεωλογικό καθεστώς, η εύρεση αρχαιοτήτων, η μη αναμενόμενη εμφάνιση νερών και πολλά άλλα.

Γενικά, το κόστος κατασκευής εξαρτάται από παράγοντες όπως:

- Η μέθοδος διάνοιξης της σήραγγας. Αυτό ισχύει γιατί όταν το μήκος της σήραγγας είναι μικρό, το κόστος διάνοιξης της είναι μικρότερο με τη μέθοδο εκσκαφής υπόγειας διάνοιξης σε σύγκριση με τη μέθοδο της διάτρησης με μηχανήματα ολομέτωπης κοπής (TBM). Αντίθετα για μεγαλύτερα μήκη σηράγγων η διάνοιξη με TBM είναι οικονομικότερη. Αυτό ισχύει διότι ένα TBM έχει πολύ μεγάλο χρόνο και κόστος συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης και απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό.
- Η ύπαρξη δικτύων των Οργανισμών Κοινής Ωφέλειας (αποχέτευση, ύδρευση, ΔΕΗ, ΟΤΕ, φυσικό αέριο), των οποίων θα απαιτηθεί η μετακίνηση. Οι εργασίες για τη μετακίνηση αυτών των δικτύων αυξάνουν σημαντικά το κόστος του έργου.
- Το μέγεθος των σταθμών και η απόσταση μεταξύ τους. Μεγαλύτεροι σταθμοί αυξάνουν το κόστος κατασκευής. Επίσης καθώς η απόσταση των σταθμών μεταξύ τους μειώνεται απαιτείται η κατασκευή περισσότερων σταθμών για να καλύψουν το ίδιο μήκος γραμμής.

Έτσι αυξάνεται το κόστος του έργου.

Είναι γεγονός πως ένα βαρύ μέσο σταθερής τροχιάς, όπως είναι το Μετρό, έχει πολύ υψηλό κόστος κατασκευής. Αυτό συμβαίνει διότι στην υποδομή του περιλαμβάνεται ο υπόγειος διάδρομος κίνησης, τα συστήματα τροφοδοσίας και ελέγχου των μέσων, οι σταθμοί, τα αμαξοστάσια και οι χώροι υποστήριξης συστημάτων. Όσον αφορά τα υπόγεια συστήματα το κόστος διαφοροποιείται σημαντικά ανάλογα με το μέγεθος του συστήματος,

τα χαρακτηριστικά του εδάφους, τη μεθοδολογία της κατασκευής και το μέγεθος καθώς και τον τρόπο διάνοιξης των σταθμών. Η εκτίμηση της Παγκόσμιας Τράπεζας για ένα μέσο κόστος κατασκευής ενός υπόγειου αστικού σιδηρόδρομου είναι 101 εκατομμύρια Ευρώ ανα km (δεκαετία 2000-2010).

### 5.1.2 Στοιχεία κόστους έργων παγκοσμίως

Πίνακας 5-1, Βασικά οικονομικά στοιχεία για κατασκευές Μετρό στην Β. Αμερική.

City	Project	Status	Length (km)	Cost/km (€ in millions)	Method
		Under			
New York	2nd Avenue Subway	Construction	3.7	987	Tunnelled
Boston	Blue Line to Red Line	Proposed	0.46	352	Tunnelled
Toronto	Yonge North Extension	Proposed	6.8	260	Tunnelled
Los Angeles	Purple Line Extension	Proposed	20	229	Tunnelled
		Under			
Toronto	Spadina Extension	Construction	8.6	222	Tunnelled
Vancouver	Millennium Line	Proposed	12	171	Tunnelled
Montreal	Blue Extension to Pie IX	Proposed	1	125	Tunnelled
Montreal	Orange Extension	Proposed	2.2	114	Tunnelled
Montreal	Blue Extension to Anjou	Proposed	5.1	112	Tunnelled
		Complete			
Toronto	Sheppard Subway	(2002)	6.4	107	Tunnelled
	Orange Extension to	Complete			
Montreal	Monmorency	(2007)	5.2	105	Tunnelled
Chicago	Orange Line Extension	Proposed	3.6	93	At Grade
		Complete			
Vancouver	Canada Line	(2009)	19.1	79	Mixed
Chicago	Red Line Extension	Proposed	8.5	77	At Grade
Chicago	Yellow Line Extension	Proposed	2.6	76	At Grade
Boston	Blue Line to Lynn	Proposed	7.2	63	At Grade

Πίνακας 5-2, Βασικά οικονομικά στοιχεία για έξι κατασκευές Μετρό στην Αμερική. Πηγή: Flyvbjerg et al ,2007

	Washington, DC Metro	Atlanta MARTA	Baltimore Metro Section A&B	Los Angeles North Hollywood extension	Atlanta North Line extension	San Francisco BART Airport extension
Έτος έναρξης λειτουργίας	1985	1986	1983	2000	2000-03	2002
Μήκος (km)	97,3	43,1	12,2	10,1	3,7	14
% υπόγεια λειτουργία	57%	42%	56%	-	-	-
Αριθμός σταθμών	57	26	9	3	2	4
Απόσταση σταθμών (km)	1,7	1,7	1,4	3,4	1,85	3,5
Συνολικό κόστος (€)	5775	1971	934	950	316	1095
Κόστος/km (εκ. €) (τιμές 2002)	83	64	107	96	92	80

Πίνακας 5-3, Βασικά οικονομικά στοιχεία για έξι κατασκευές Μετρό στην Ασία και τη Λατινική Αμερική. Πηγή: Flyvbjerg et al ,2007

	Singapore	Seoul	Calcutta	Mexico City Line B	Caracas Line 3	Santiago Line 5 extension
Έτος έναρξης λειτουργίας	-	-	-	2000	1994	2000
Μήκος (km)	97,3	43,1	12,2	10,1	3,7	2,8
% υπόγεια λειτουργία	30%	80%	95%	25%	100%	100%
Αριθμός σταθμών	-	-	-	21	4	3
Απόσταση σταθμών (km)	1,6	1,1	1	1,1	1,1	0,9
Συνολικό κόστος (€)	1812	3798	496	703	270	142,8
Κόστος/km (εκ. €) (τιμές 2002)	40	48	44	32	72	52

Οι παραπάνω πίνακες επιβεβαιώνουν την αρχική εντύπωση που επικρατεί, δηλαδή πως τα κόστη των κατασκευών διαφέρουν αισθητά μεταξύ τους (Πίνακας 5-1). Συγκεκριμένα, οι γραμμές του Μετρό στην Αμερική (Πίνακας 5-2) τείνουν να εμφανίζουν μεγαλύτερο κόστος κατασκευής από τις αντίστοιχες τους στην Ευρώπη και τη Λατινική Αμερική (Πίνακας 5-3).

Οι βασικοί λόγοι για τους οποίους προκύπτουν μεγάλες διακυμάνσεις στο κόστος των έργων μπορεί να είναι :

- διαφορές στα χαρακτηριστικά του έργου, όπως είναι η διαφορά στις εδαφικές συνθήκες
- η διαφορά στο κόστος των εργασιών πολιτικού μηχανικού, οι οποίοι κατέχουν ένα πολύ σημαντικό μερίδιο στο κόστος του έργου
- διαφορετική διαχείριση του έργου.

Πίνακας 5-4, Συνολικά οικονομικά στοιχεία πόλεων. Πηγή: Flyvbjerg et al ,2007

Αθήνα	113 εκατομμύρια € ανά km
Κάιρο	79 εκατομμύρια € ανά km
Φρανκφούρτη	78 εκατομμύρια € ανά km
Λισαβόνα	85 εκατομμύρια € ανά km

Πίνακας 5-5, Εκτιμήσεις κόστους, που συνδέονται με την κατασκευή σταθμών, Πηγή: Pickrell 1985

Τύπος κατασκευής	Κόστος κατασκευής μονάδας, εκατομμύρια \$ (τιμές 1983)
Υπόγειοι σταθμοί	40
Υπερυψωμένοι σταθμοί	23
Επίγειοι σταθμοί	10
Γραμμές διπλής τροχιάς ανά km, υπόγειες:	
Με σταθμούς	85
Χωρίς σταθμούς	64
Γραμμές διπλής τροχιάς ανά km, υπερυψωμένες:	
Με σταθμούς	34
Χωρίς σταθμούς	24
Γραμμές διπλής τροχιάς ανά km, επίγειες:	
Με σταθμούς	19
Χωρίς σταθμούς	14



Ο παραπάνω πίνακας 5-5 παρουσιάζει τη διαφορά κόστους που προκύπτει αν προστεθεί και το κόστος κατασκευής των σταθμών, το κόστος αυτό ανέρχεται στο 33-42%. Με άλλα λόγια, το κόστος των σταθμών ανέρχεται στο 25-29% του συνολικού κόστους του έργου. Επίσης, με βάση τον πίνακα προκύπτει ότι οι υπερυψωμένοι σταθμοί είναι δύο φορές ακριβότεροι από τους επίγειους, αντίστοιχα οι υπόγειοι σταθμοί είναι τέσσερις φορές πιο ακριβοί από τους αντίστοιχους επίγειους τους.

Στο σύνολο της η κατασκευή επίγειων συστημάτων είναι σαφώς οικονομικότερη. Όμως, η πιθανή ανάγκη απαλλοτριώσεων μπορεί να αυξήσει σημαντικά το κόστος. Επίσης, η κατασκευή επίγειων συστημάτων στο κέντρο των πόλεων είναι συνήθως απαγορευτική λόγω της έλλειψης ελεύθερου χώρου. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που συναντάται κυρίως στα προάστια επίγεια συστήματα μεταφοράς. Εκτιμάται ότι το κόστος κατασκευής μίας γραμμής τροχιόδρομου είναι ίσο με το 1/7 του κόστους κατασκευής ενός συστήματος Μετρό. (πηγή: Flyvbjerg et al ,2007)

### **5.1.3 Στοιχεία κόστους από έργα της Αττικό Μετρό**

Τα στοιχεία που παρουσιάζονται στη συνέχεια αναφέρονται σε μονή σήραγγα διπλής τροχιάς. Στο κόστος της μεθόδου διάνοιξης με TBM περιλαμβάνεται διάμετρος εκσκαφής 9,5 μέτρα και μόνιμη επένδυση με προκατασκευασμένα στοιχεία. Το κόστος της μεθόδου υπόγειας διάνοιξης περιλαμβάνει την εκσκαφή, την προσωρινή υποστήριξη και τη μόνιμη επένδυση.

#### Κόστος διάνοιξης με TBM

Το κόστος κατασκευής της σήραγγας με TBM ανέρχεται σε 16000 €/m. Στο κόστος αυτό συνυπολογίζονται όλα τα έξοδα που προκύπτουν κατά τη διάνοιξη ενός μέτρου.

#### Κόστος με υπόγεια διάνοιξη και ανοικτή εκσκαφή

Το κόστος διάνοιξης σήραγγας με ανοικτή εκσκαφή ανέρχεται σε 35000€/m και με υπόγεια διάνοιξη σε 20000€/m.

Κόστος κατασκευής σταθμού

Κόστος κατασκευής σταθμού με υπόγεια διάνοιξη	17 εκατομμύρια €
Κόστος κατασκευής σταθμού με ανοικτή εκσκαφή	20 εκατομμύρια €

Κόστος κατασκευής φρέατος

Στη μελέτη αυτή θα τοποθετηθούν φρέατα σε αποστάσεις σταθμών άνω των 1000 μέτρων και το κόστος κάθε φρέατος υπολογίζεται ότι κοστίζει περίπου 1.000.000€.

Η εκτίμηση βασίζεται στα παραπάνω στοιχεία. Στο κόστος δεν έχουν υπολογιστεί τα έξοδα των σιράγγων με τις οποίες θα γίνει σύνδεση με την υπάρχουσα γραμμή 3, τον Προαστιακό και τον ΗΣΑΠ. Οι τιμές που προκύπτουν περιλαμβάνουν μόνο τα έργα πολιτικού μηχανικού που αποτελούν τα 4/10 του συνολικού κόστους της γραμμής. Τα ηλεκτρομηχανολογικά αποτελούν τα άλλα 4/10 και τέλος τα άλλα 2/10 περιλαμβάνουν τα αρχιτεκτονικά έργα.

Το κόστος των έργων του πολιτικού μηχανικού θα προκύψει από το παρακάτω άθροισμα:

Συνολικό κόστος = Κόστος διάνοιξης με TBM + Κόστος σταθμών + Κόστος φρεάτων

**5.1.4 Κοστολόγηση προτεινόμενης χάραξης****5.1.4.1 Κοστολόγηση Βόρειου κλάδου**

- Το συνολικό μήκος της σήραγγας που θα κατασκευασθεί είναι 9.294 μέτρα.
- Η χάραξη περιλαμβάνει 9 σταθμούς. Από αυτούς τους σταθμούς 3 θα κατασκευασθούν με υπόγεια διάνοιξη και 6 με τη ανοικτή εκσκαφή.
- Οι αποστάσεις μεταξύ δύο σταθμών που ξεπερνούν τα 1000μ είναι 4, οπότε απαιτείται η κατασκευή 4 φρεάτων.

Επομένως το κόστος των έργων πολιτικού μηχανικού της γραμμής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} \text{Συνολικό κόστος} &= \text{Κόστος διάνοιξης με TBM} + \text{Κόστος σταθμών} + \text{Κόστος φρεάτων} \\ &= (9.294\text{m} \cdot 16.000\text{€}) + (3 \cdot 20.000.000\text{€} + 6 \cdot 17.000.000\text{€}) + (4 \cdot 1.000.000\text{€}) = \\ &= 314.704.000 \text{ €} \end{aligned}$$

	Ποσοστό συμμετοχής στο συνολικό κόστος	Κόστος
Έργα πολιτικού μηχανικού	4/10	125.880.000€
Ηλεκτρομηχανολογικά έργα	4/10	125.880.000€
Αρχιτεκτονικά έργα	2/10	68.340.800€
Σύνολο	10/10	314.704.000 €

#### 5.1.4.2 Κοστολόγηση Νότιου κλάδου

- Το συνολικό μήκος της σήραγγας που θα κατασκευασθεί είναι 5473 μέτρα.
- Η χάραξη περιλαμβάνει 7 σταθμούς. Από αυτούς τους σταθμούς 3 θα κατασκευασθούν με υπόγεια διάνοιξη και 4 με τη ανοικτή εκσκαφή.
- Οι αποστάσεις μεταξύ δύο σταθμών που ξεπερνούν τα 1000μ είναι 1, οπότε απαιτείται η κατασκευή 1 φρέατος.

Επομένως το κόστος των έργων πολιτικού μηχανικού της γραμμής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{Συνολικό κόστος} = \text{Κόστος διάνοιξης με TBM} + \text{Κόστος σταθμών} + \text{Κόστος φρεάτων} \\ = (5473\text{m} \cdot 16.000\text{€}) + (3 \cdot 20.000.000\text{€} + 4 \cdot 17.000.000\text{€}) + (1 \cdot 1.000.000\text{€}) = \\ 216.568.000 \text{ €}$$

	Ποσοστό συμμετοχής στο συνολικό κόστος	Κόστος
Έργα πολιτικού μηχανικού	4/10	86.627.200 €
Ηλεκτρομηχανολογικά έργα	4/10	86.627.200 €
Αρχιτεκτονικά έργα	2/10	43.313.600 €
Σύνολο	10/10	216.568.000 €

## 5.2 Χρόνος κατασκευής των χαράξεων

### 5.2.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα παράγραφο θα μελετηθεί το ελάχιστο χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο είναι δυνατή η κατασκευή του έργου. Εδώ θα χρησιμοποιηθούν στοιχεία από τα έργα της Αττικό Μετρό. Πρέπει να τονισθεί ότι οι υπολογισμοί που ακολουθούν περιέχουν σφάλματα και για αυτό οι χρόνοι που θα προκύψουν πρέπει να θεωρούνται ως μία αρχική εκτίμηση. Οι παράγοντες που μπορούν να καθυστερήσουν την πορεία ενός έργου είναι πάρα πολλοί, τέτοιοι παράγοντες μπορεί να είναι η μη αναμενόμενη αλλαγή των γεωλογικών συνθηκών, βλάβη των μηχανημάτων, απεργίες και πολλά άλλα. Είναι εξαιρετικά σπάνιο να παραδωθεί ένα έργο τέτοιας μεγάλης έκτασης εντός των αρχικών χρονικών προβλέψεων.

### 5.2.2 Στοιχεία χρόνων κατασκευής από έργα της Αττικό Μετρό

Οι χρόνοι κατασκευής των επιμέρους έργων μιας γραμμής της Αττικό Μετρό διαμορφώνονται ως εξής:

#### Εκσκαφή με TBM

- Χρονική διάρκεια συναρμολόγησης και εκκίνησης TBM: 2 μήνες
- Ταχύτητα προχώρησης με TBM: 10 μ./μέρα
- Χρονική διάρκεια αποσυναρμολόγησης TBM: 6 μήνες (Περιλαμβάνεται και η κατασκευή φρέατος Φ10 μ. για την έξοδο του TBM)

#### Εκσκαφή με υπόγεια διάνοιξη

- Ταχύτητα προχώρησης με τη υπόγεια διάνοιξη για σήραγγα διπλής τροχιάς διαμέτρου περίπου 10 μ.: 2 μ./μέρα

### Κατασκευή σταθμών

- Χρονική διάρκεια αρχαιολογικών ερευνών: 2, 4 ή 8 μήνες ανάλογα με το επίπεδο σοβαρότητας
- Χρονική διάρκεια μεταφοράς δικτύων Ο.Κ.Ο.: 0, 1 ή 2 μήνες ανάλογα με το επίπεδο σοβαρότητας.
- Χρονική διάρκεια εκσκαφής σταθμού: 4 μήνες
- Κατασκευή σταθμού: 11 μήνες

### **5.2.3 Υπολογισμός χρονικής διάρκειας ολοκλήρωσης του έργου**

#### Ακολουθία εργασιών

Οι εργασίες κάθε σταθμού θα πρέπει να έχουν ολοκληρωθεί πριν φτάσει η διάνοιξη της σήραγγας με το μηχάνημα ολομέτωπης κοπής (TBM) στο σταθμό. Τότε το μηχάνημα θα μπορέσει να προχωρήσει χωρίς εκσκαφή κατά μήκος του σταθμού, δεδομένου ότι η εκσκαφή θα έχει ήδη πραγματοποιηθεί. Στη συνέχεια, στο τέλος του σταθμού θα ξεκινήσει πάλι την εκσκαφή ώστε να συνεχίσει την πορεία του.

#### Εκσκαφή σταθμών

Όπως αναφέρθηκε ο χρόνος εκσκαφής και κατασκευής κάθε σταθμού διαρκεί περίπου 15 μήνες. Συνεπώς, θεωρείται ότι οι κατασκευές όλων των σταθμών ξεκινάει άμεσα με την αρχή της κατασκευής του έργου ώστε όταν θα διέρχεται από τον εκάστοτε σταθμό το TBM, εκείνος να είναι ήδη ολοκληρωμένος.

#### Εκσκαφή με TBM

Η χρονική διάρκεια κατασκευής της σήραγγας με TBM προκύπτει πολλαπλασιάζοντας την ταχύτητα προχώρησης του TBM για τη συγκεκριμένη σήραγγα, με το μήκος της σήραγγας.

Συνεπώς για μήκος σήραγγας 9294μ (Βόρειο τμήμα) και προχώρηση 10 μέτρα ανά ημέρα, η ολοκλήρωση της άνω χάραξης θα μπορούσε να ολοκληρωθεί το λιγότερο σε 930 ημέρες. Δεδομένου ότι ο μήνας έχει 20 εργάσιμες ημέρες, απαιτούνται 47 μήνες (4 χρόνια) για την ολοκλήρωση της άνω χάραξης. Αντίστοιχα, για μήκος σήραγγας 5473μ (Νότια χάραξη) και την ίδια ταχύτητα προχώρησης, προκύπτει ελάχιστη ολοκλήρωση της διάνοιξης σε 548 ημέρες. Άρα, σύμφωνα με τις προηγούμενες παραδοχές υπολογίζονται 28 μήνες (2,5 χρόνια) για την ολοκλήρωση της διάνοιξης του Νότιου τμήματος. Επίσης στο χρονοδιάγραμμα προστίθενται 8 μήνες για τη συναρμολόγηση του μηχανήματος (2 μήνες για τη συναρμολόγηση + 6 μήνες για την αποσυναρμολόγηση).

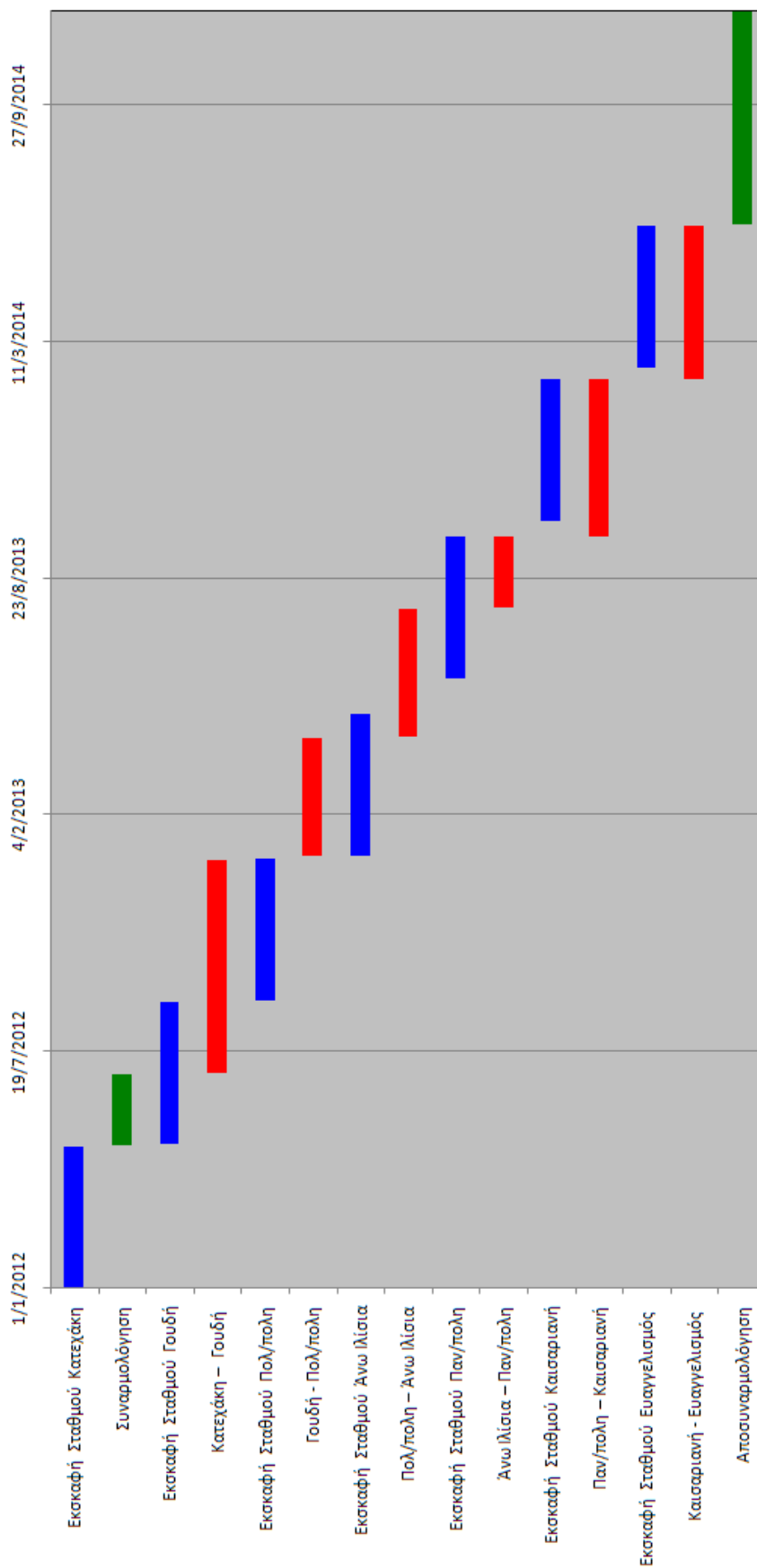
#### 5.2.4 Διάγραμμα Gantt

Το διάγραμμα Gantt είναι ένα οριζόντιο ιστόγραμμα που αναπτύχθηκε ως εργαλείο ελέγχου παραγωγής το 1917 από τον Χένρι Γκαντ. Το διάγραμμα Gantt παρέχει μια γραφική απεικόνιση του έργου και βοηθά το σχεδιασμό, τον συντονισμό και την εξειδίκευση των εργασιών σε ένα έργο. Ένα διάγραμμα Gantt κατασκευάζεται με έναν οριζόντιο άξονα που αντιπροσωπεύει τη συνολική χρονική έκταση του έργου, που χωρίζεται σε διαστήματα (π.χ., μήνες) και ένα κάθετο άξονα που αντιπροσωπεύει τις εργασίες που αποτελούν το έργο.

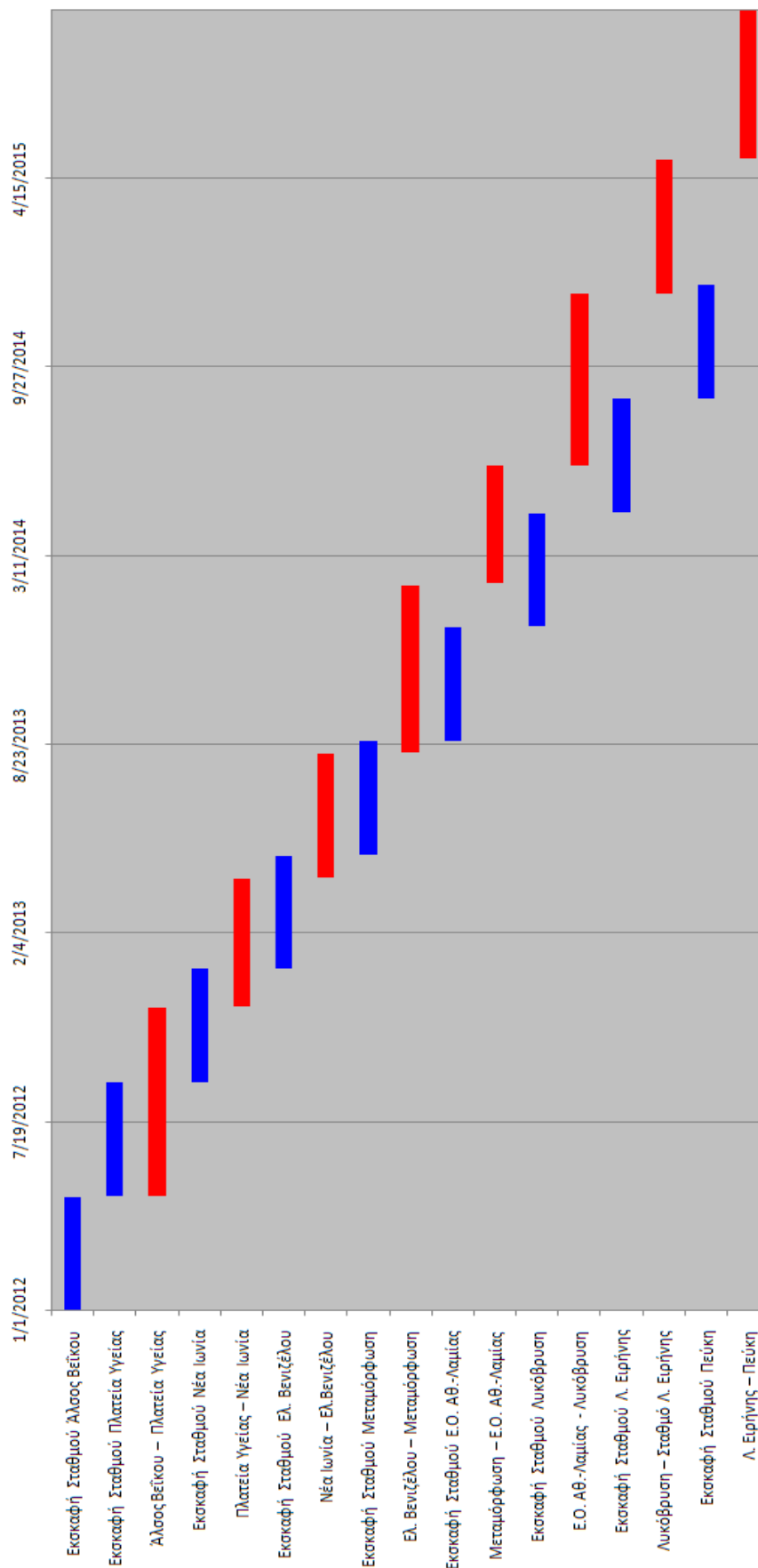
Στη συνέχεια ακολουθούν δύο διαγράμματα Gantt που αντιστοιχούν στις εργασίες και του Νότιου και του Βόρειου κλάδου.

Στα παρακάτω διαγράμματα σημειώνεται με :

- Πράσινο χρώμα ο χρόνος συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης του μηχανήματος.
- Κόκκινο χρώμα η διάρκεια κατασκευής της σήραγγας από τον έναν σταθμό μέχρι τον επόμενο.
- Μπλε χρώμα η διάρκεια εκσκαφής των σταθμών.



Σχήμα 5-1, Διάγραμμα Gantt Νότιου κλάδου



Σχήμα 5-2, Διάγραμμα Gantt Βορείου κλάδου



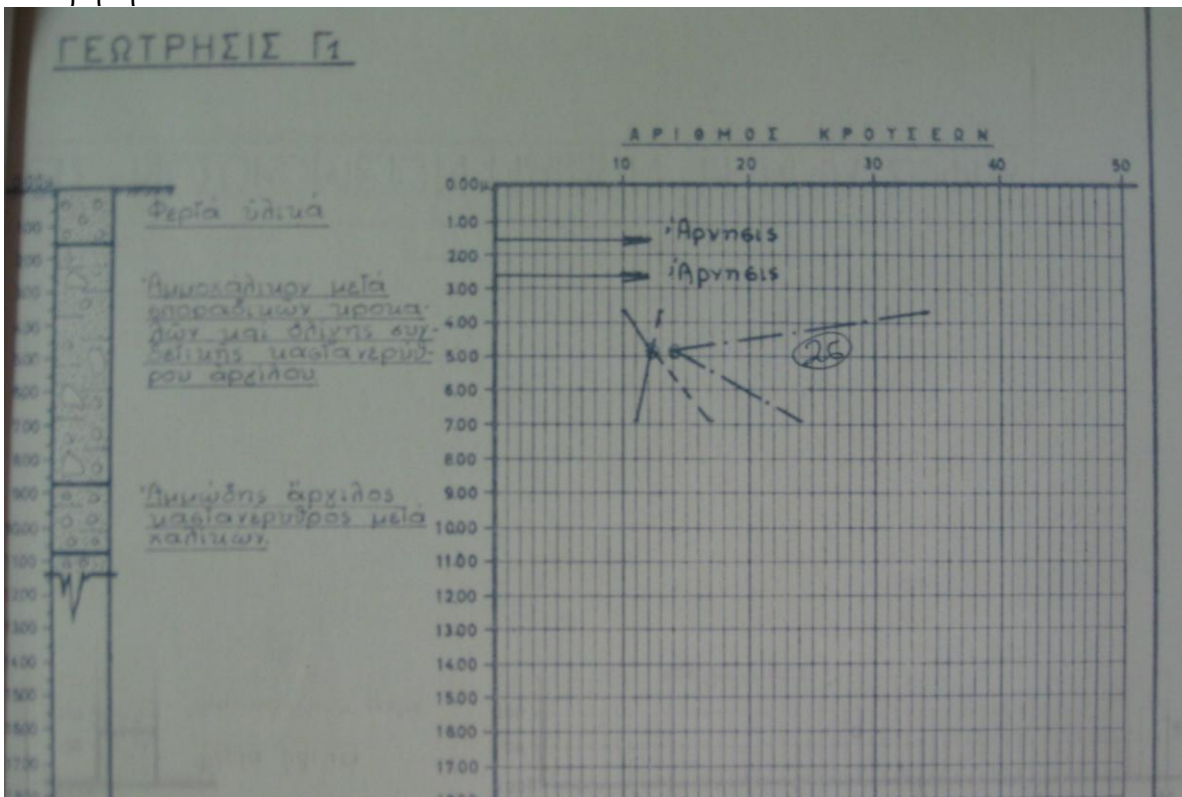
## Παράρτημα γεωτρήσεων



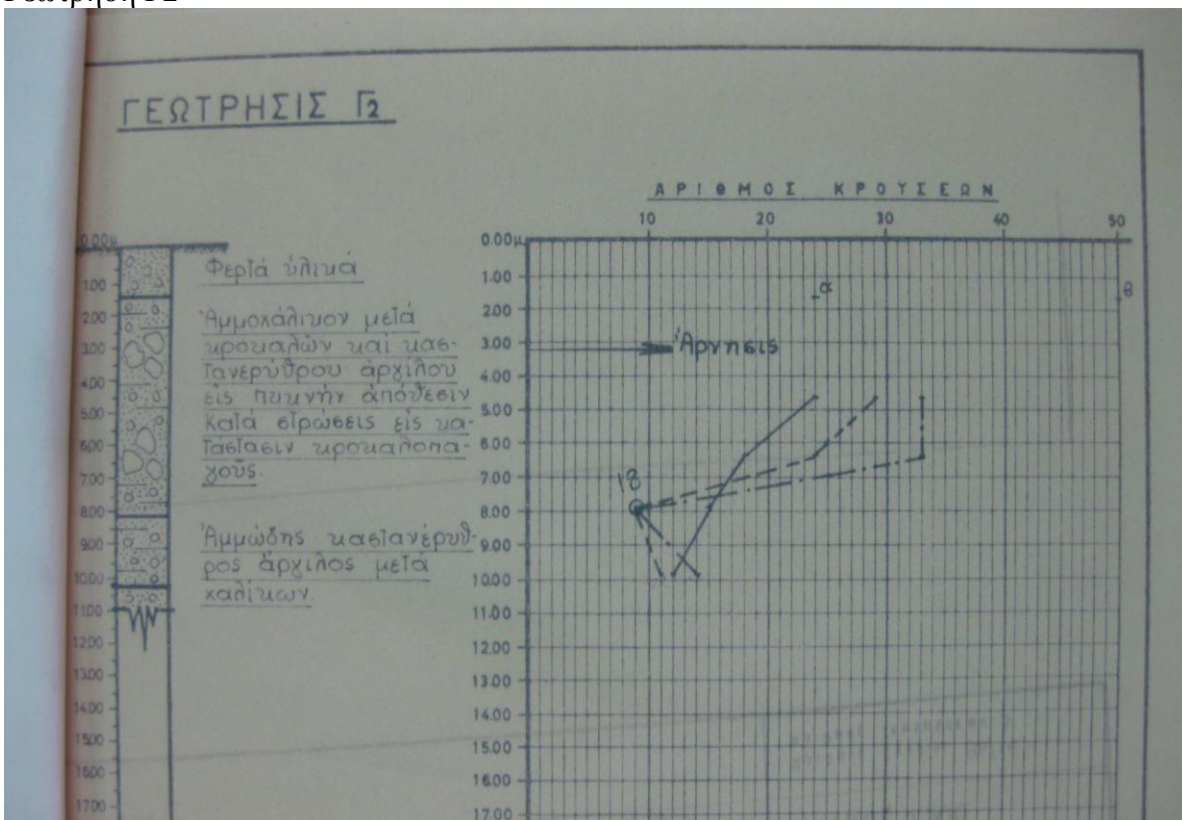
Νότιος κλάδος

Τοποθεσία	Νοσοκομείο Παιδών "ΑΓΙΑ ΣΟΦΙΑ" (G1)
-----------	-------------------------------------

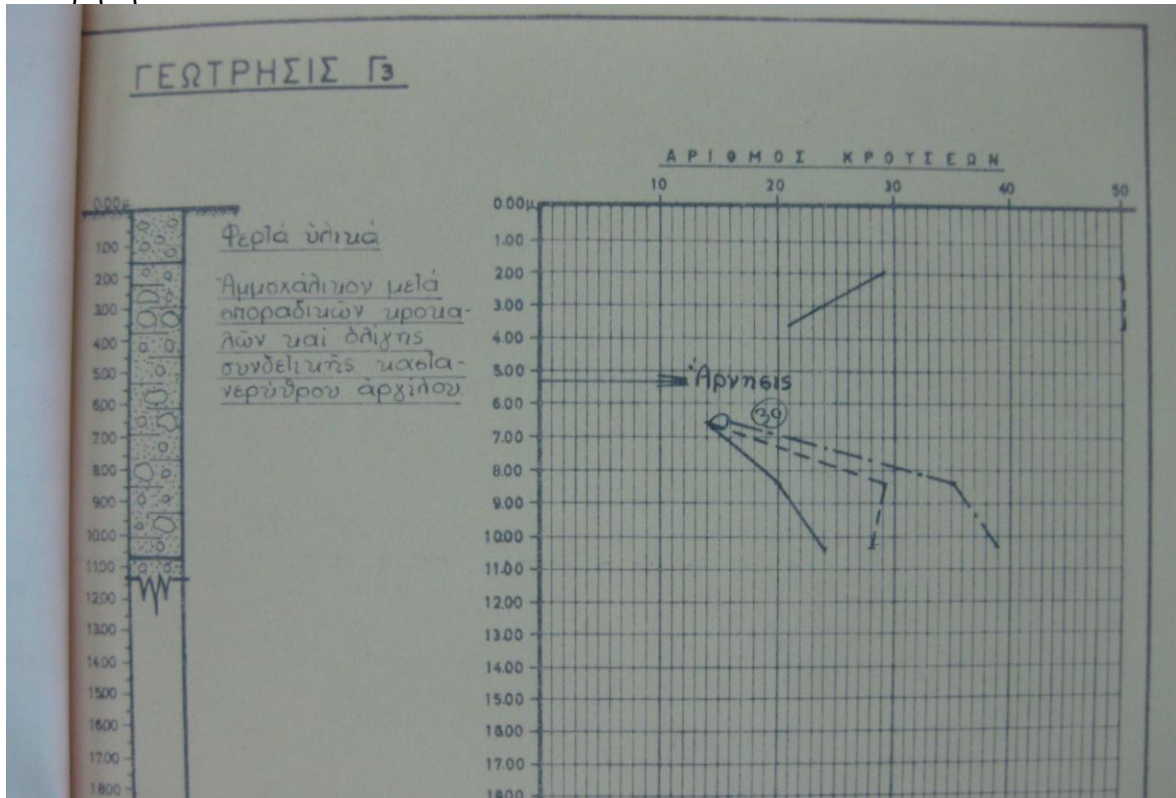
Γεώτρηση Γ1



Γεώτρηση Γ2



Γεώτρηση Γ3



Τοποθεσία: Ανισόπεδη διάβαση Μεσογείων – Κατεχάκη (G5)

Γεώτρηση ΓΣ1

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΔΗΜ. ΕΡΓΩΝ		ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΣ																
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΡΕΥΝΑΣ ΕΛΛΗΝ. ΕΡΓΩΝ		ΓΣ1					ΕΡΓΟ: ΑΝΙΣΟΠΕΔΗ ΔΙΑΒΑΣΗ ΜΕΣΟΓΕΙΩΝ - ΚΑΤΕΧΑΚΗ					Χ.Θ.	Α86m					
ΒΑΘΟΣ	ΤΥΠΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΗ %					ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΗ ΠΡΟΤΥΠΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ					ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΑΝΕΜΟΠΙΣΤΗ ΒΑΡΗ		ΦΥΣΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ
			2 $\phi$	4 $\phi$	10 $\phi$	40 $\phi$	200 $\phi$	W <sub>L</sub>	W <sub>p</sub>	I <sub>v</sub>	10	30	50	40	10	ΤΑΙΝ	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	
0		Προέκταση αμμοαλιού (υγρά επιχώσεων με υαλαίνη άσβεστο, άμμο, καλίου, υγραλίτες και ασβεστολιικά υλικά).	85	78	63	46	20.5	16.0	8.5	3C								
2		Καστανέρυθρη, αμμώδης άργησις, με καλίου και υγραλίτες και με ασβεστολικά συστατικά.	59	55	49	43	25.7	16.0	11.7	GC								
4		Καστανέρυθρη, αμμώδης άργησις, με καλίου και υγραλίτες άσβεστολικά υλικά.	31	28	23	17	28.2	16.0	14.2	C <sub>u</sub>								
6		Σύμμικτο, καλαρό κροκαλοαττηνοπαγεί, με ασβεστολική συνδετική ύλη άσβεστολικά υλικά.	69	57	46	38	28.4	16.0	12.4	GC								
8		Καστανέρυθρη, αμμώδης άργησις, με καλίου και υγραλίτες άσβεστολικά υλικά.	71	63	53	43	30.0	16.0	14.0	GC								
10		Σύμμικτο κροκαλοαττηνοπαγεί, με ασβεστολική συνδετική ύλη υγραλίτες, άσβεστολικά υλικά και ηφαιστειακά συστατικά.																
12		Καλαρό κροκαλοαττηνοπαγεί, με ασβεστολική συνδετική ύλη υγραλίτες, άσβεστολικά υλικά και ηφαιστειακά συστατικά.																
14		Καλαρό κροκαλοαττηνοπαγεί, με ασβεστολική συνδετική ύλη υγραλίτες, άσβεστολικά υλικά και ηφαιστειακά συστατικά.																
16		Καλαρό κροκαλοαττηνοπαγεί, με ασβεστολική συνδετική ύλη υγραλίτες, άσβεστολικά υλικά και ηφαιστειακά συστατικά.																
18		Καλαρό κροκαλοαττηνοπαγεί, με ασβεστολική συνδετική ύλη υγραλίτες, άσβεστολικά υλικά και ηφαιστειακά συστατικά.																
20		Καλαρό κροκαλοαττηνοπαγεί, με ασβεστολική συνδετική ύλη υγραλίτες, άσβεστολικά υλικά και ηφαιστειακά συστατικά.																
22		Καλαρό κροκαλοαττηνοπαγεί, με ασβεστολική συνδετική ύλη υγραλίτες, άσβεστολικά υλικά και ηφαιστειακά συστατικά.																
24		Καλαρό κροκαλοαττηνοπαγεί, με ασβεστολική συνδετική ύλη υγραλίτες, άσβεστολικά υλικά και ηφαιστειακά συστατικά.																

### Γεώτρηση ΓΣ3

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΔΗΜ. ΕΡΓΩΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΡΕΥΝΩΝ & ΔΙΑΧΕΙΡΣΗΣ		ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΣ																	
ΒΑΘΟΣ [m]	ΤΟΠΟΣ ΕΛΑΣΤΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΛΑΣΤΟΣ	ΚΟΚΚΙΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ %				ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΚΑΤΑΣΤΗ [g 10 *Ευρωπαϊκό σύστημα με 0,075mm όρια]	ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΠΕΛΑΞΕΩΣ [N. Αριθμ. κλάσης για δείγματα 30mm]					ΑΝΤΙΣΤΗΝ ΣΕ ΑΝΕΜΟ ΠΟΛΙΩΣΗ ΒΑΡΗΣ		ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΙΑ [g/g]	ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΙΑ [g/g]
			3/4	4	60	200	W <sub>L</sub>	W <sub>P</sub>	I <sub>p</sub>		10	20	30	40	50	ΤΑΞΗ	ΠΑΡΑΜΟΡ ΒΑΡΗΣ		
0		Προσφατές αποθέματα (ύψους ελακίστων με υγρασία αργίλο, άμμοι, καίλια, υφαιρούς και αδαεστίμα 3.80 συμμάγματα)	85	75	58	42	25.2	13.0	12.2	5.0									
4		Κασσανέρυθρη, αμμώδης, ΑΡΓΙΛΟΣ, με καίλια και υφαιρούς																	
6		Κασσανέρυθρη, αμμώδης, ΑΡΓΙΛΟΣ, με καίλια και υφαιρούς	60	63	64	47	24.4	14.0	10.4	6.0									
8		Σύμμικτο καθαρό κροκολοπαγές																	
10		Κασσανέρυθρη, αμμώδης, ΑΡΓΙΛΟΣ, με καίλια και υφαιρούς																	
12		Σύμμικτο κροκολοπαγές, με αργιλομαργώδη συνδέσιμα ύψ. Από 10.70 - 15.10 15.50 - 20.00																	
14		Καθαρό, δεικμοσθητικό σε άμμο, καίλια, υφαιρούς, βούτυρα και βράσματα. Από 15.10 - 15.50 μέτρια συνδεσιμα CR : 50% και R.G.D=28%																	
16																			
18																			
20																			

Τοποθεσία Πεζογέφυρα στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου (G6)

### Γεώτρηση Γ1

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΔΗΜ. ΕΡΓΩΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΡΕΥΝΩΝ & ΔΙΑΧΕΙΡΣΗΣ		ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΣ																	
ΒΑΘΟΣ [m]	ΤΟΠΟΣ ΕΛΑΣΤΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΛΑΣΤΟΣ	ΚΟΚΚΙΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ %				ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΚΑΤΑΣΤΗ [g 10 *Ευρωπαϊκό σύστημα με 0,075mm όρια]	ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΠΕΛΑΞΕΩΣ [N. Αριθμ. κλάσης για δείγματα 30mm]					ΑΝΤΙΣΤΗΝ ΣΕ ΑΝΕΜΟ ΠΟΛΙΩΣΗ ΒΑΡΗΣ		ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΙΑ [g/g]	ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΙΑ [g/g]
			3/4	4	60	200	W <sub>L</sub>	W <sub>P</sub>	I <sub>p</sub>		10	20	30	40	50	ΤΑΞΗ	ΠΑΡΑΜΟΡ ΒΑΡΗΣ		
0		Καίλια και υφαιρούς με κασσανέρυθρη αμμομαργώδη																	
2		Κασσανέρυθρη, αμμώδη, ΑΡΓΙΛΟΣ με καίλια																	
4		Σύμμικτο μέτρια συνδεσιμα με κροκολοπαγές																	
6		Κασσανέρυθρη, αμμώδης, ΑΡΓΙΛΟΣ																	
8		Σύμμικτο καθαρό κροκολοπαγές με αργιλομαργώδη συνδέσιμα ύψ. Από 4.10 Κασσανέρυθρη, αμμώδης, ΑΡΓΙΛΟΣ																	
10		Κασσανέρυθρη, αμμώδης, ΑΡΓΙΛΟΣ που υφαιρούς γίνεται αργιλομαργώδη																	
12																			
14																			
16																			
18																			
20																			

Γεώτρηση Γ2

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ ΥΠΕ. Α.Δ.Σ.Ε. ΓΕΝ. ΓΡΑΦ. ΔΙΑΜΕΤΡΩΝ ΑΘΗΝΑ		ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΣ																		
		Γ2			Πελοπόννησος			Πάληνη/Παλιός			Ζωγράφου			Γ2						
ΒΑΘΥΣ m	ΠΡΟΣΦΑΤΗ ΠΡΟΣΦΩΤΙΣΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΑΡΤΗΣ	ΚΟΚΚΙΟΜΕΤΡΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΟΝ %			ΟΡΓΑ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ			ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	ΜΕΤΡΩΝ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΣΗΜΕΙΩΣΕΩΣ N <sub>60</sub> (ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ S.P.T)			ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΕΣ ΑΝΩΤΕΡΟ ΜΟΝΟΤΥΠΟ ΜΕΤΡΩΝ		ΜΕΤΡΩΝ ΣΤΑΘΙΑΣ	ΜΕΤΡΩΝ ΣΤΑΘΙΑΣ		ΜΕΤΡΩΝ ΣΤΑΘΙΑΣ	ΜΕΤΡΩΝ ΣΤΑΘΙΑΣ	
			%	4	30	60	W <sub>L</sub>	W <sub>p</sub>		U <sub>c</sub>	10	20	30	40		50	ΤΑΧΗ ΜΕΤΡΩΝ			ΠΑΡΑΜΕΤΡ ΜΕΤΡΩΝ %
0.0	○	Χαλίκια και άμμοι με κομμάτια με άσβεστο κροκιδωτά																		
2	○	Κατενερύθρη αμμόβλητος ΑΡΓΙΛΟΣ με χαλίκια και άσβεστο κροκιδωτά	100	96	88	70	48.5	17.0	32.5	CL										
4	○	Κατενερύθρη αμμόβλητος ΑΡΓΙΛΟΣ με χαλίκια και άσβεστο κροκιδωτά	100	92	81	75	56.5	20.0	36.5	CH										
6	○	Σύμμικτο κροκιδωτά κροκιδωτά με άσβεστο κροκιδωτά	100	86	67	42	37.3	17.0	20.3	SC										
8	○	Κατενερύθρη αμμόβλητος ΑΡΓΙΛΟΣ με χαλίκια και άσβεστο κροκιδωτά	100	97	81	69	48.7	18.0	30.2	CL										
10	○	Κατενερύθρη αμμόβλητος ΑΡΓΙΛΟΣ με χαλίκια και άσβεστο κροκιδωτά																		
12	○	Κατενερύθρη αμμόβλητος ΑΡΓΙΛΟΣ με χαλίκια και άσβεστο κροκιδωτά																		
14	○	Χαλίκια-κροκιδωτά κροκιδωτά με άσβεστο κροκιδωτά																		
16	○	Κατενερύθρη αμμόβλητος ΑΡΓΙΛΟΣ με χαλίκια και άσβεστο κροκιδωτά																		
18	○	Υποπρασινός, πολύ-κροκιδωτά κροκιδωτά με άσβεστο κροκιδωτά																		
20	○																			

Γεώτρηση Γ3

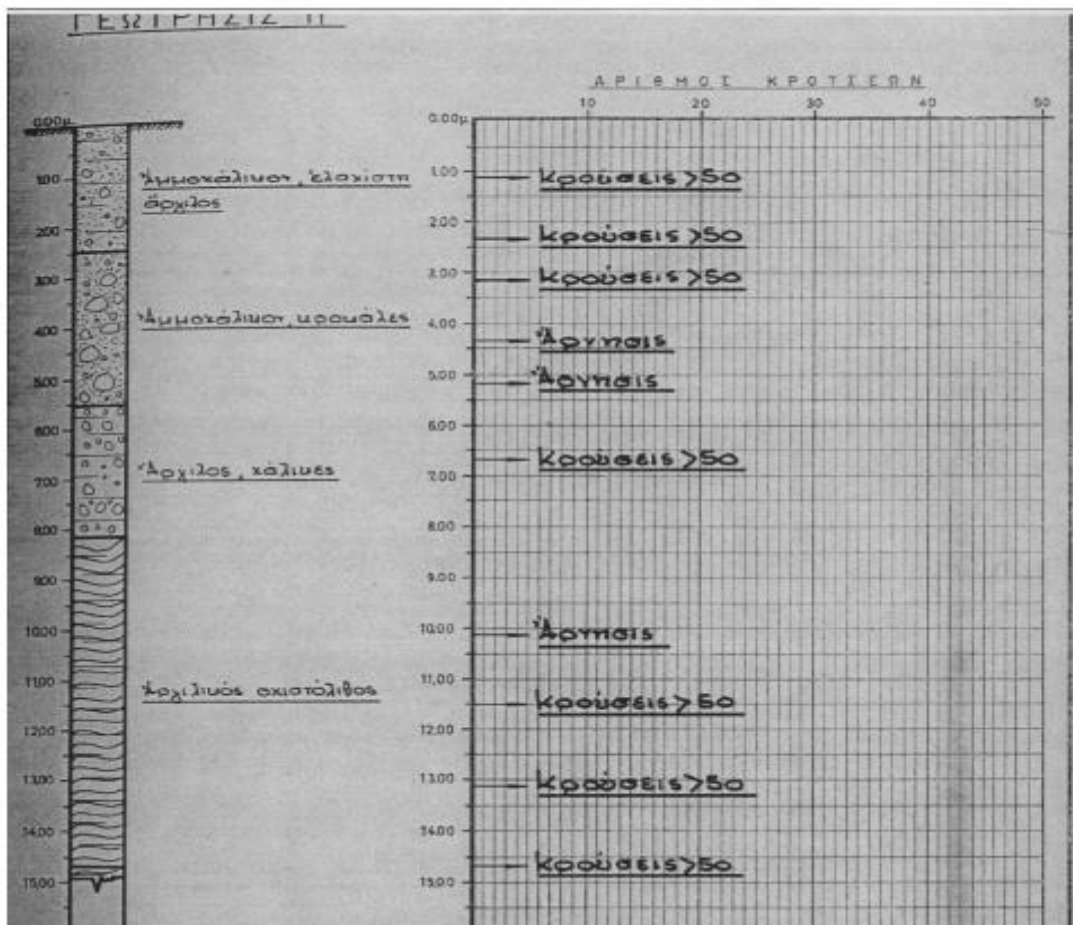
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ ΥΠΕ. Α.Δ.Σ.Ε. ΓΕΝ. ΓΡΑΦ. ΔΙΑΜΕΤΡΩΝ ΑΘΗΝΑ		ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΣ																		
		Γ3			Πελοπόννησος			Πάληνη/Παλιός			Ζωγράφου			Γ3						
ΒΑΘΥΣ m	ΠΡΟΣΦΑΤΗ ΠΡΟΣΦΩΤΙΣΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΑΡΤΗΣ	ΚΟΚΚΙΟΜΕΤΡΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΟΝ %			ΟΡΓΑ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ			ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	ΜΕΤΡΩΝ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΣΗΜΕΙΩΣΕΩΣ N <sub>60</sub> (ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ S.P.T)			ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΕΣ ΑΝΩΤΕΡΟ ΜΟΝΟΤΥΠΟ ΜΕΤΡΩΝ		ΜΕΤΡΩΝ ΣΤΑΘΙΑΣ	ΜΕΤΡΩΝ ΣΤΑΘΙΑΣ		ΜΕΤΡΩΝ ΣΤΑΘΙΑΣ	ΜΕΤΡΩΝ ΣΤΑΘΙΑΣ	
			%	4	30	60	W <sub>L</sub>	W <sub>p</sub>		U <sub>c</sub>	10	20	30	40		50	ΤΑΧΗ ΜΕΤΡΩΝ			ΠΑΡΑΜΕΤΡ ΜΕΤΡΩΝ %
0.0	○	Χαλίκια και άμμοι με κομμάτια με άσβεστο κροκιδωτά																		
2	○	Κατενερύθρη αμμόβλητος ΑΡΓΙΛΟΣ με χαλίκια και άσβεστο κροκιδωτά	98	72	52	39	62.8	28.0	34.8	SC										
4	○	Κατενερύθρη αμμόβλητος ΑΡΓΙΛΟΣ με χαλίκια και άσβεστο κροκιδωτά																		
6	○	Κατενερύθρη αμμόβλητος ΑΡΓΙΛΟΣ με χαλίκια και άσβεστο κροκιδωτά	100	94	92	71	47.4	17.0	30.6	CL										
8	○	Σύμμικτο κροκιδωτά κροκιδωτά με άσβεστο κροκιδωτά																		
10	○	Κατενερύθρη αμμόβλητος ΑΡΓΙΛΟΣ με χαλίκια και άσβεστο κροκιδωτά																		
12	○	Κατενερύθρη αμμόβλητος ΑΡΓΙΛΟΣ με χαλίκια και άσβεστο κροκιδωτά																		
14	○	Υποπρασινός, πολύ-κροκιδωτά κροκιδωτά με άσβεστο κροκιδωτά	100	92	78	59	60.14	13.0	27.4	CL										
16	○	Υποπρασινός, πολύ-κροκιδωτά κροκιδωτά με άσβεστο κροκιδωτά																		
18	○	Υποπρασινός, πολύ-κροκιδωτά κροκιδωτά με άσβεστο κροκιδωτά																		
20	○																			

Γεώτρηση Γ4

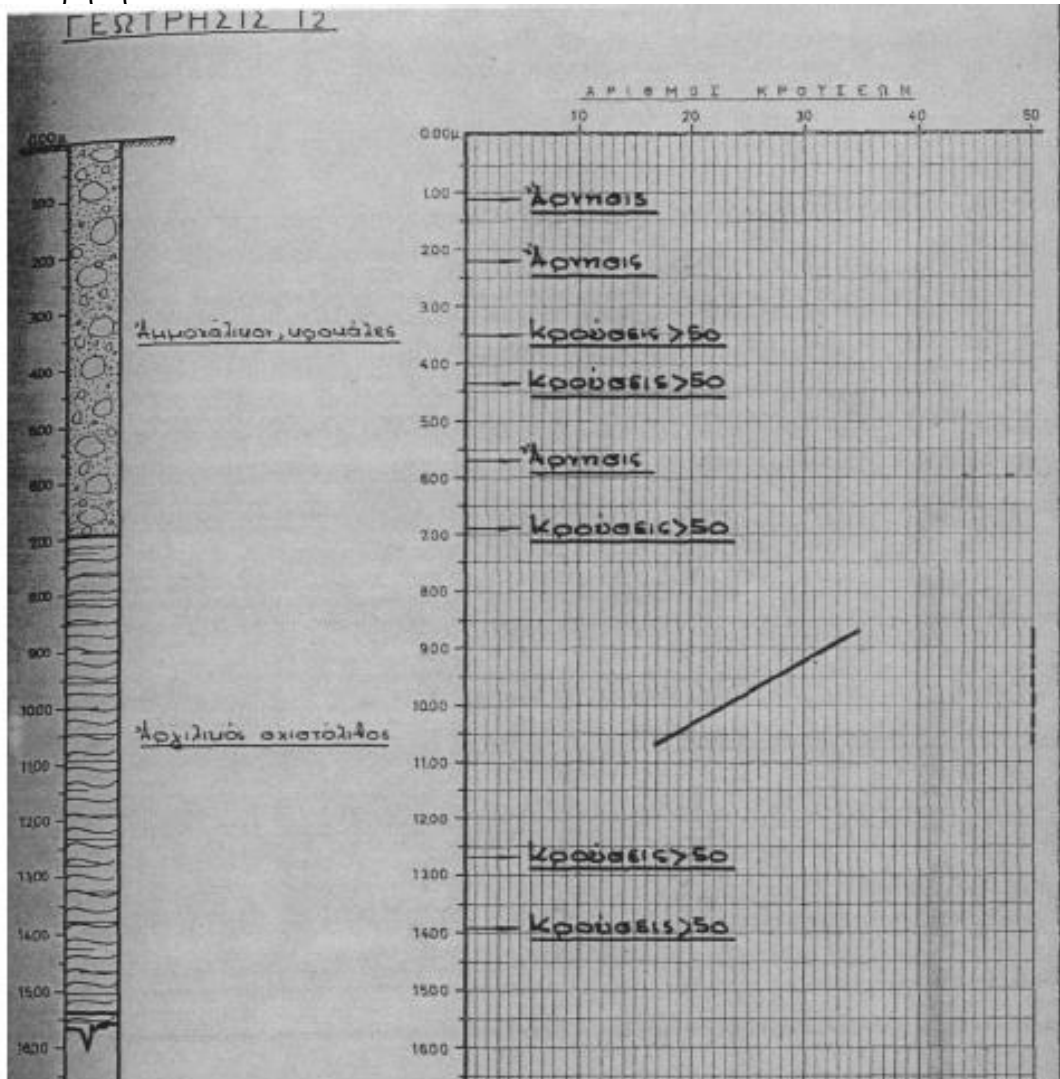
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ ΥΠΕ ΧΩ ΔΕ ΓΕΝ ΓΡΗΜ ΔΗΜΕΡΤΩΝ Δ/ΚΗΜ		ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΣ																				
		Γ4				Πελοπόννησος				Ζωγράφου												
ΜΗΚΟΣ ΣΤΡΩΤΗΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΔΟΚΙΜΩΣΗΝ ΣΦΕΡΔΕΙΩΣ %				ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΚΑΤΑΚΤΗ ΑΡΙΘ. ΔΕ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΣΗ ΑΠΟ ΚΑΥΣΗΣ ΑΥΣΙΩΣ	ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΠΛΗΤΥΣΕΩΣ W. Αριθμ. κρούσεων για διάφορα W <sub>L</sub> S.P.T						ΑΡΙΘΜΟΙ ΛΕ ΑΝΕΜ ΠΡΟΣΕΤΕ ΜΕΤΡΩ		ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΣΗ ΑΠΟ ΚΑΥΣΗΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΡΟΥΣΕΩΝ ΓΙΑ W <sub>L</sub> 25	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΡΟΥΣΕΩΝ ΓΙΑ W <sub>L</sub> 50	
		W <sub>L</sub>	W <sub>p</sub>	W <sub>u</sub>	W <sub>L</sub> - W <sub>p</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>p</sub>	W <sub>u</sub>		10	20	30	40	50	60	70	80					
0-20	Χαλίκια με κρούσεις με άσκακη αργαλιώδη																					
20-30	Μακροκρυστάλλινα αργαλιώδη αμμοκάλιο																					
30-40	Κακοκρυστάλλινα αργαλιώδη αμμοκάλιο με χαλίκια με κρούσεις κρούσεις																					
40-50	Χαλίκια κρούσεις																					
50-60	Κακοκρυστάλλινα αργαλιώδη αμμοκάλιο με χαλίκια με κρούσεις κρούσεις	100	97	89	74	36.7	18.0	38.7	CM													
60-80	Κακοκρυστάλλινα αργαλιώδη αμμοκάλιο με χαλίκια με κρούσεις κρούσεις																					
80-100	Κακοκρυστάλλινα αργαλιώδη αμμοκάλιο με χαλίκια με κρούσεις κρούσεις	100	97	89	75	36.9	18.0	39.9	CM							3.57	7.52	18.2			2.012	0.53
100-120	Κακοκρυστάλλινα αργαλιώδη αμμοκάλιο με χαλίκια με κρούσεις κρούσεις																					
120-140	Κακοκρυστάλλινα αργαλιώδη αμμοκάλιο με χαλίκια με κρούσεις κρούσεις																					
140-160	Υποπράσινα μετρία αμμοκρυστάλλινα ΣΚΙΣΤΟΛΙΘΟΣ																					
160-180	Από 14 20-18 20: Χαλίκια- θραύσματα θραύσματα ελαστικά με υποπράσινα αμμοκάλιο																					
180-200	Υποπράσινα μετρία αμμοκρυστάλλινα ΣΚΙΣΤΟΛΙΘΟΣ																					

Τοποθεσία: Αστυνομικό Μέγαρο Καισαριανής (G13)

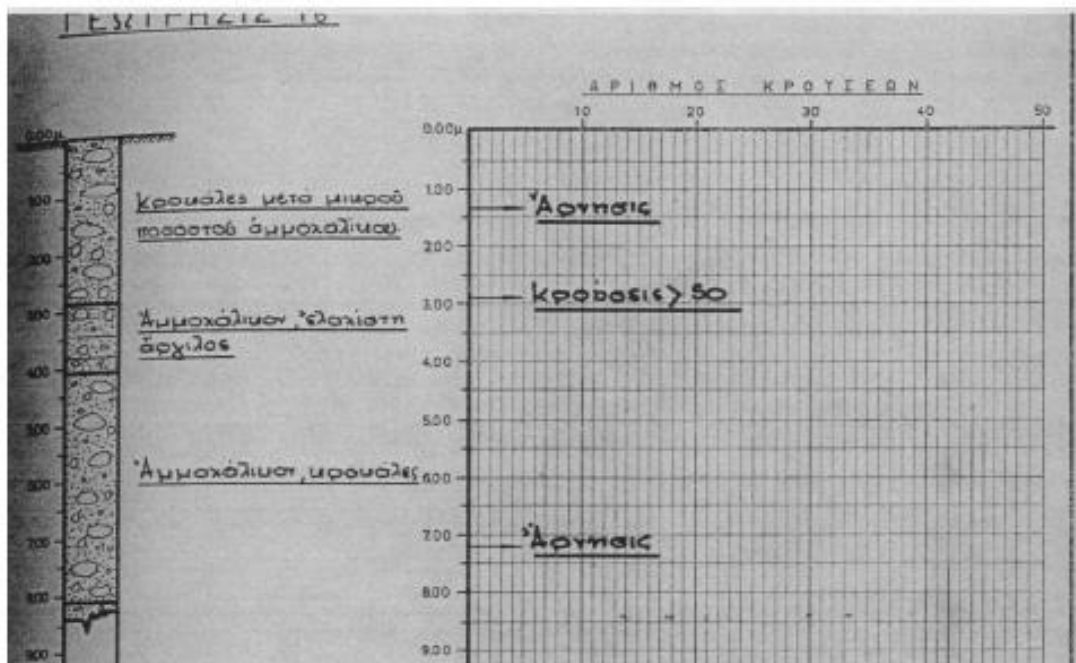
Γεώτρηση Γ1



Γεώτρηση Γ2

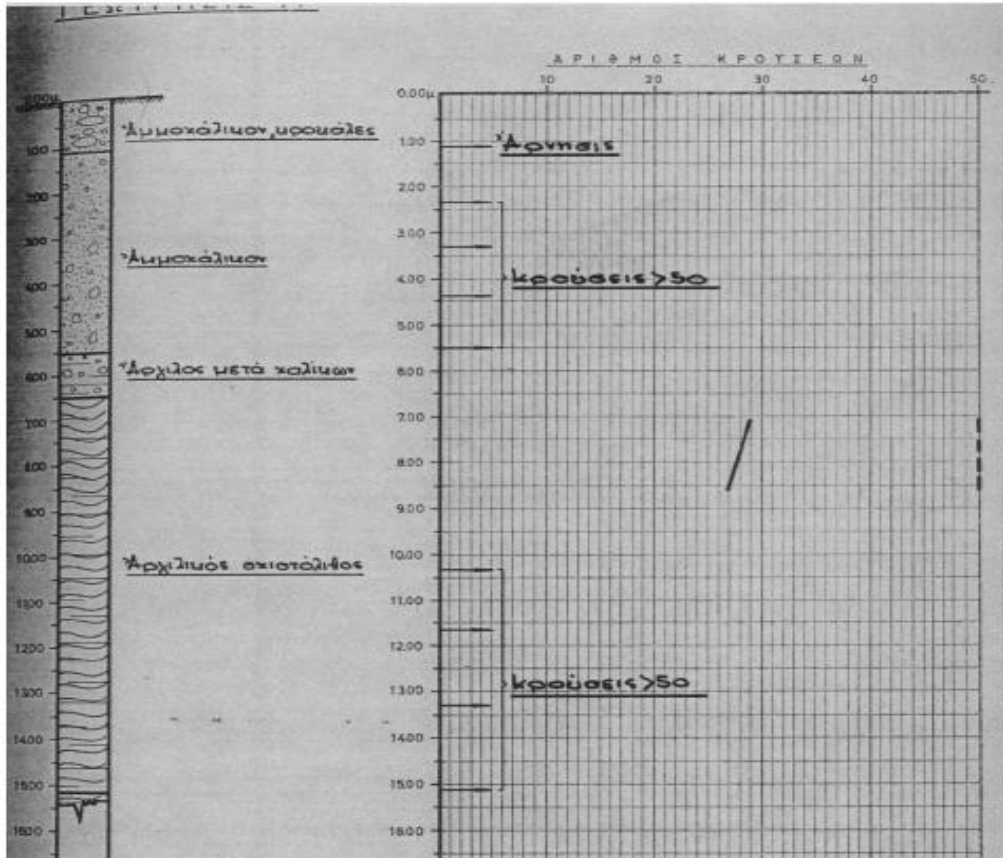


Γεώτρηση Γ6

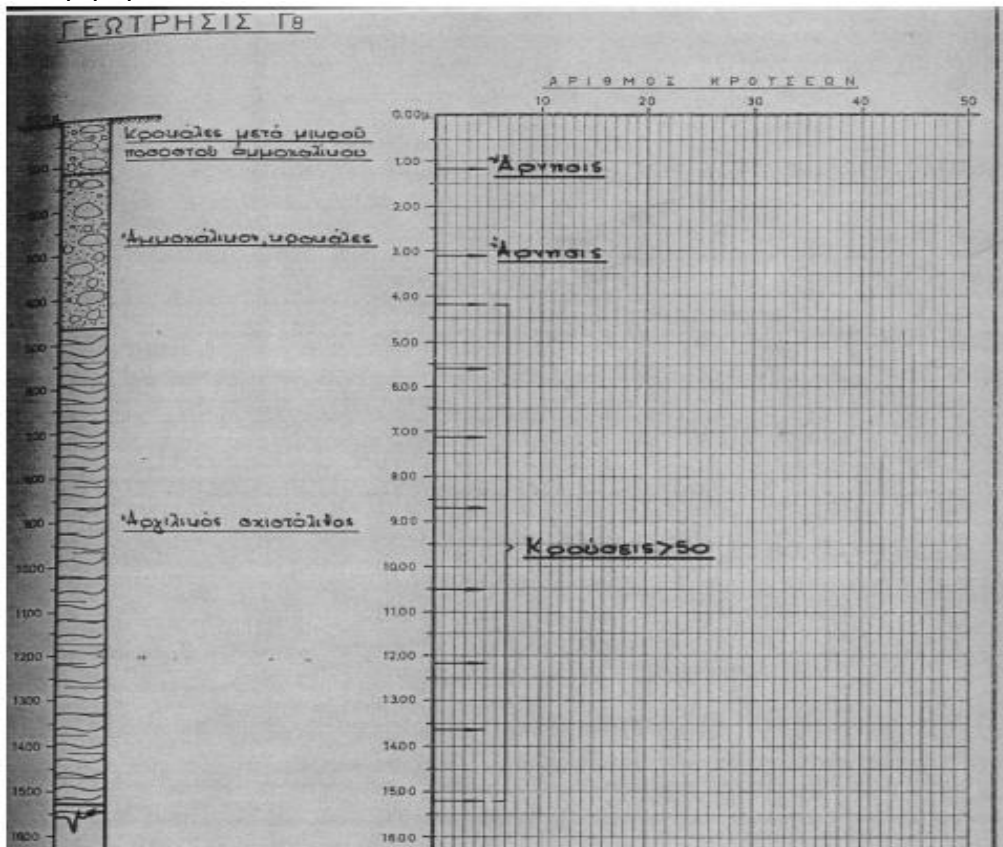




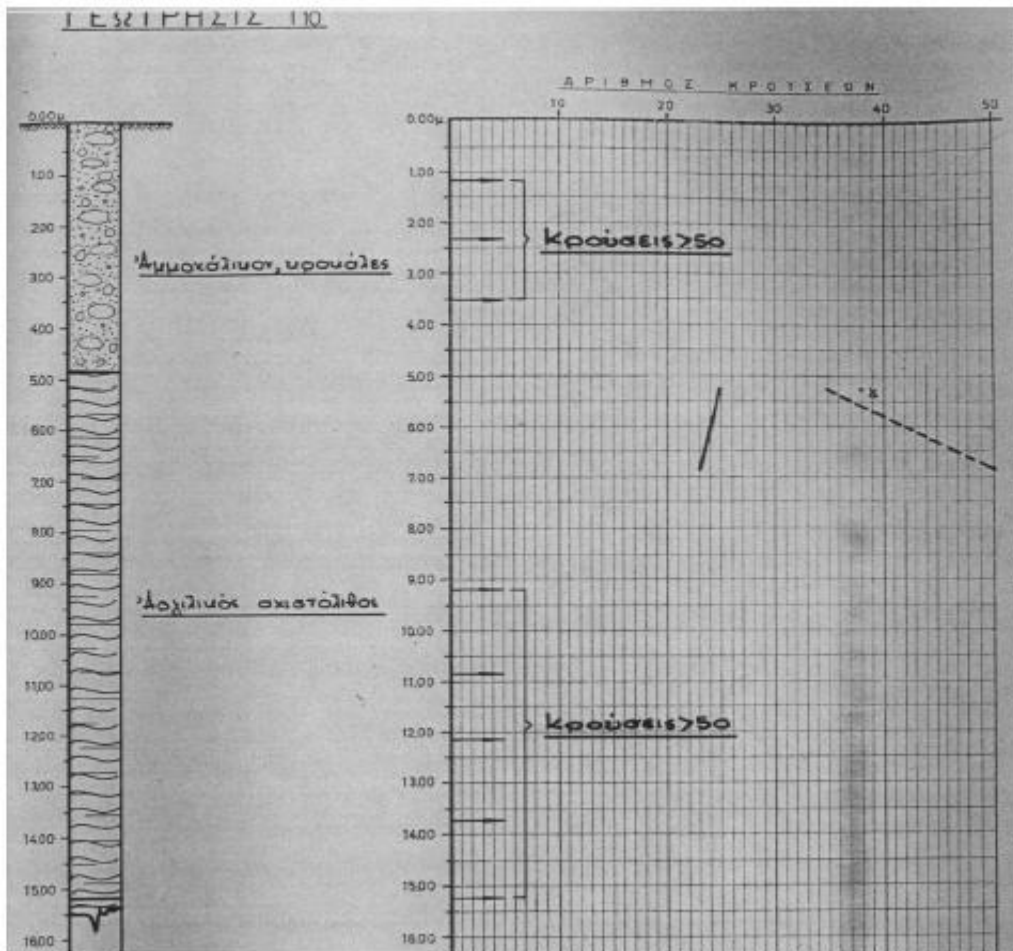
Γεώτρηση Γ7



Γεώτρηση Γ8

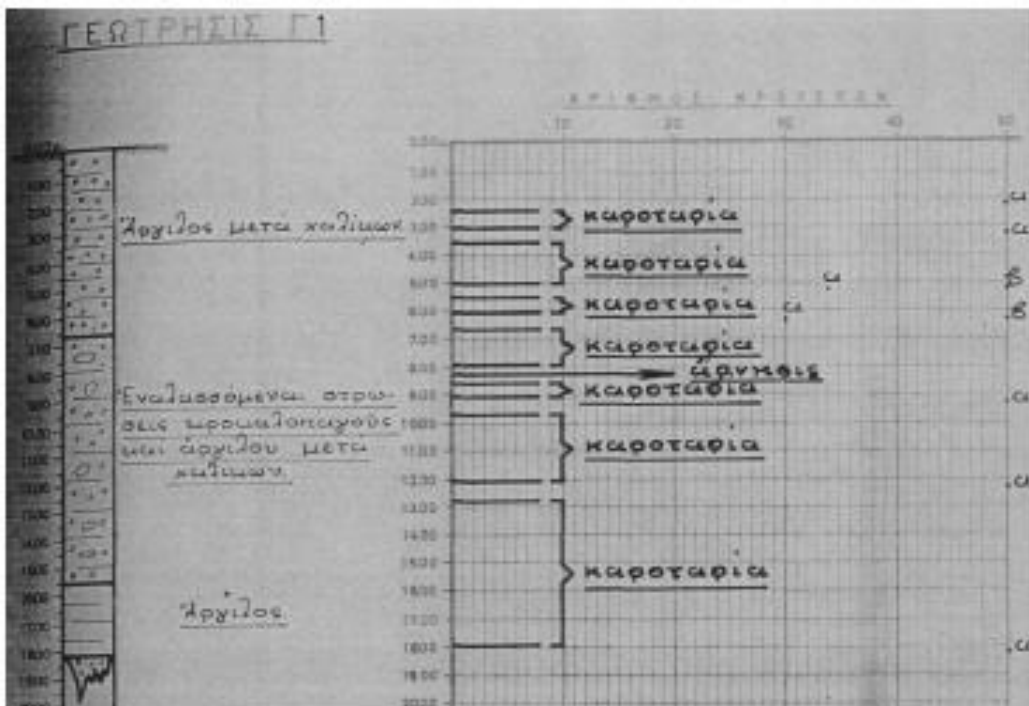


Γεώτρηση Γ10

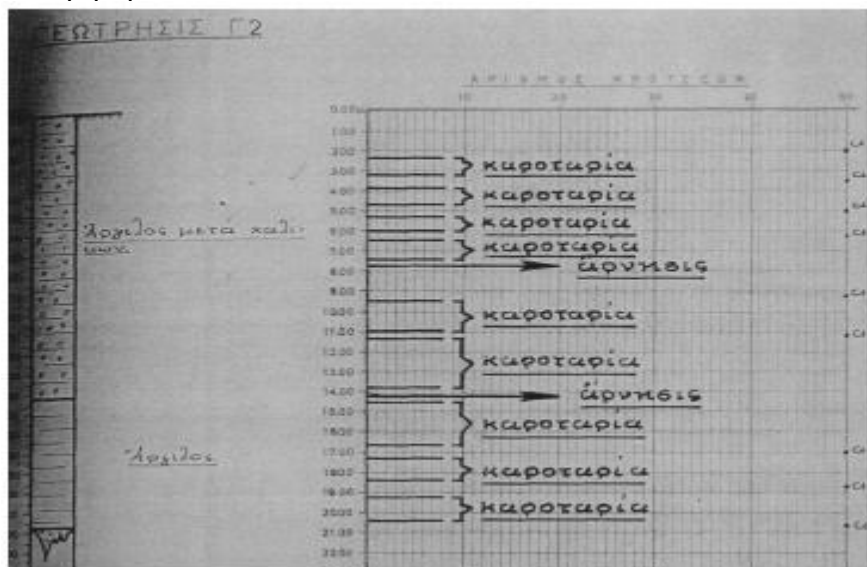


Τοποθεσία	Αστυνομικό τμήμα Ζωγράφου (G14)
-----------	---------------------------------

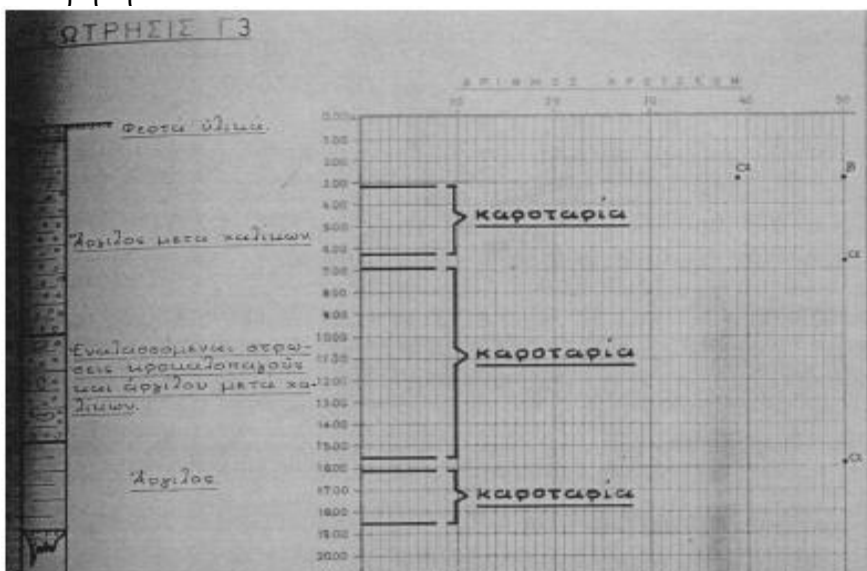
Γεώτρηση Γ1



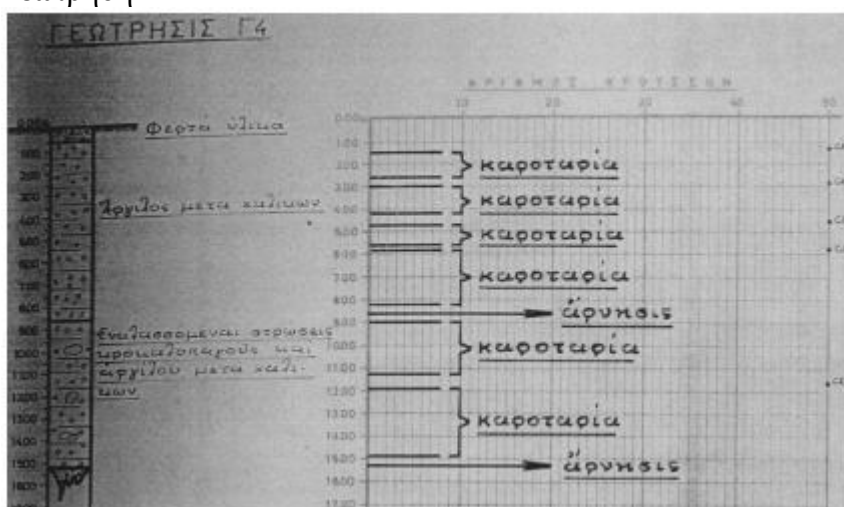
Γεώτρηση Γ2



Γεώτρηση Γ3



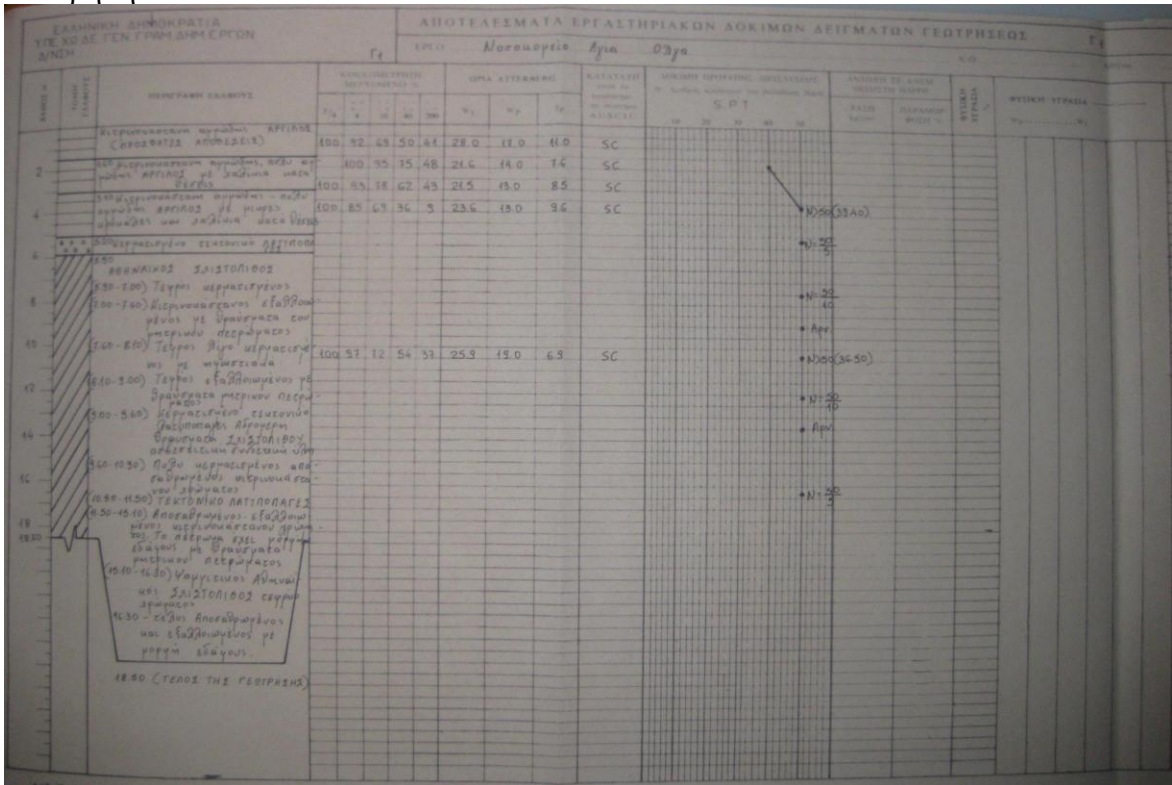
Γεώτρηση Γ4



Βόρειος κλάδος

Τοποθεσία	Νοσοκομείο "ΑΓΙΑ ΟΛΓΑ" (G7)
-----------	-----------------------------

Γεώτρηση Γ1



Τοποθεσία Πολυκατοικία Χρυσολωρά & Ψυχάρη στη Μεταμόρφωση (G11)

Γεώτρηση Γ1

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Γ1 ΕΡΓΟΥ: ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΑ ΧΡΥΣΟΛΩΡΑ ΚΑΙ ΨΥΧΑΡΗ, ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗ

ΒΑΘΟΣ ΤΩΜΗ ΕΔΑΦ.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ %				ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΚΑΤΑΤΑΞΗ A.U.S.C.S	ΔΟΚΙΜΗ S.P.T.	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΑΝΕΜΠΛΩΝΗ qu (kPa)	ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ε %	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ γ <sub>s</sub> t/m <sup>3</sup>	ΥΓΡΟ Φ.ΒΑΡΟΣ γ <sub>w</sub> t/m <sup>3</sup>	ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	ΤΡΙΑΣΟΝΙΚΗ ΟΛΙΚΕΣ cu (kPa)	ΑΜΕΣΗ ΔΙΑΤΗΡΙΧΗ φ <sup>o</sup> c[1]kPa φ <sup>o</sup>	ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ		
		3/4	4	10	40	200	WL	WP										IP	Cc	es
1	ΥΛΙΚΑ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΕΠΙΧΥΤΩΣΗΣ 0.30	100	99	87	76	63	27	14	13	CL										
2	Σιφρή, καστανόκτρινη αμμώδης ΜΑΡΓΑ με λεπτά χαλίκια	100	96	83	74	64	28	16	12	CL										
3		3.20	100	98	90	83	71	24	14	10	CL									
4	Κασίτρινη λίγο χαλικώδης ΑΜΜΟΣ	100	80	70	53	34	22	14	8	SC										
5	Σιφρή, καστανόκτρινη λίγο αμμώδης ΜΑΡΓΑ	3.70	100	93	89	85	25	14	11	CL										
6		7.00	100	98	88	67	29	15	14	CL										
7	Καστανή αργιλωδής ΑΜΜΟΣ - με ενσπρώσεις ΑΜΜΟΧΑΛΙΚΟΥ 8.20-9.00μ αργιλ. ΑΜΜΟΧΑΛΙΚΟ με κροκάλες	9.40	100	99	98	95	56	ΜΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟ	ML											
8		11.34	91	70	64	54	33	20	12	8	SC									
9	Πολύ σιφρή, καστανέρυθρη αργιλική ΜΑΡΓΑ	13.70	100	99	94	87	73	30	13	17	CL									
10		11.34	100	99	99	91	36	16	20	CL										
11	Ανοιχτόκασιανος ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΣ	13.70	100	99	95	92	83	35	17	18	CL									
12		16.50	100	96	93	83	37	21	16	CL										
13	Σκληρή, καστανόκτρινη αργιλική ΜΑΡΓΑ. Παρατηρήθηκαν λίγες λείες ασυνέχειες	16.50	100	99	99	91	36	16	20	CL										
14		17.50	100	99	95	92	83	35	17	18	CL									
15	Καστανόκτρινη ΨΑΜΜΙΤΟΜΑΡΓΑ με χαλίκια κατά θέσεις	17.50	100	98	86	54	31	16	15	CL										
16		19.30-20.10μ χονδρόκοκκος φαμίτης																		
17	Χαλαρό ΚΡΟΚΑΛΟΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ 22.80-23.10μ: σκόλιθος μαρμάρου	19.30-20.10μ χονδρόκοκκος φαμίτης																		
18		22.80-23.10μ: σκόλιθος μαρμάρου																		
19	Η ΓΕΩΤΡΗΣΗ Γ1 ΣΥΝΕΧΙΖΕΤΑΙ	23.10																		
20		23.10																		

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Γ1 ΕΡΓΟΥ: ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΑ ΧΡΥΣΟΛΩΡΑ ΚΑΙ ΨΥΧΑΡΗ, ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗ

ΒΑΘΟΣ ΤΩΜΗ ΕΔΑΦ.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ %				ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΚΑΤΑΤΑΞΗ A.U.S.C.S	ΔΟΚΙΜΗ S.P.T.	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΑΝΕΜΠΛΩΝΗ qu (kPa)	ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ε %	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ γ <sub>s</sub> t/m <sup>3</sup>	ΥΓΡΟ Φ.ΒΑΡΟΣ γ <sub>w</sub> t/m <sup>3</sup>	ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	ΤΡΙΑΣΟΝΙΚΗ ΟΛΙΚΕΣ cu (kPa)	ΑΜΕΣΗ ΔΙΑΤΗΡΙΧΗ φ <sup>o</sup> c[1]kPa φ <sup>o</sup>	ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ	
		3/4	4	10	40	200	WL	WP										IP	Cc
24	Χαλαρό ΚΡΟΚΑΛΟΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ Από 23.00μ αποτελείται από υπογλυκύδη και στρογγυλεμένα χαλίκια, κροκάλες και αργιλοαμμώδεις ενδιάμεσο υλικό	26.10	100	99	97	94	88	48	24	24	CL								
25		26.10																	
26	Καστανόκτρινη σκληρή ΜΑΡΓΑ - ΜΑΡΓΟΛΙΘΟΣ με λεπτές ενσπρώσεις λεπτόκοκκου ως μεσόκοκου εύθρυπτου ως καλά συγκολλημένο ΨΑΜΜΙΤΗ ως τα 31.50μ	31.50	100	99	98	93	88	48	24	24	CL								
27		31.50																	
28	Από 33.60 ως 34.80μ πολύ αμμώδης, χαλικώδης μάργα	33.60	100	97	93	90	52	24	28	CH									
29		33.60																	
30	Από 33.60 ως 34.80μ πολύ αμμώδης, χαλικώδης μάργα	34.80	100	99	96	66	28	16	12	CL									
31		34.80																	
32	ΤΕΛΟΣ ΓΕΩΤΗΣΕΩΣ Γ1	34.80	90	87	85	73	54	34	17	17	CL								
33		34.80																	
34																			
35																			
36																			
37																			
38																			
39																			
40																			
41																			
42																			
43																			
44																			
45																			
46																			

Γεώτρηση Γ2

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Γ2 ΕΡΓΟΥ "ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΚΙΑ ΧΡΥΣΟΛΔΡΑ ΚΑΙ ΨΥΧΑΡΗ, ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗ"

ΒΑΘΟΣ m	ΤΟΜΗ ΕΔΑΦ.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΥΧΟΜΕΝΟ %				ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΚΑΤΑΣΤΗ Α.Υ.Δ.Σ.Σ	ΔΟΚΙΜΗ S.P.T.	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΑΝΕΜΠΛΩΣΗ qu (kPa)	ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ε %	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ γ <sub>s</sub> t/m <sup>3</sup>	ΥΠΟ Φ.ΒΑΡΟΣ γ <sub>υ</sub> t/m <sup>3</sup>	ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	ΤΡΙΑΣΟΝΙΚΗ ΟΛΙΚΗΣ cu (kPa)	ΑΜΕΣΗ ΔΙΑΤΗΚΗ φ <sup>o</sup>	ΕΤΕΡΟΣΟΝΙΚΗ Cc	eo
			3μ	4	10	40	200	WL	WP											
1		ΜΠΑΖΑ 0.40 Καστανή αμμώδης ΑΡΓΙΛΙΟΣ	100	97	85	75	65	30	16	14	CL									
2		1,00 Καστανόκτρινη ΜΑΡΓΑ με μικρό ποσο- στο χαλκικών	100	99	87	79	72	27	16	11	CL		8.7	2.07	0.42					
3		4,00	100	98	93	88	74	35	13	22	CL		2.06							
4			100	98	95	88	72	25	15	10	CL									
5		Καστανέρυθρη σκληρή, πολύ αμμώδης ΑΡΓΙΛΙΟΥΣ με ενσπρώσεις αργιλώδους ΑΜΜΟΥ σε βάθος 6.60 ως 7.80μ	100	96	85	67	40	20	14	6	SC-SM		11.4	2.20						
6																				
7																				
8		7,80																		
9		ΨΑΜΜΙΤΟΥΦΗΔΟΠΑΓΕΣ χρώματος ανοιχτού καστανού	100	99	97	93	82	37	16	21	CL									
10		8,90 Καστανέρυθρη, πολύ σιερρή, ΑΡΓΙΛΙΟΣ με λίγα χαλκία	100	97	88	81	72	37	15	22	CL	210	8.4	22.2	2.12				0.140	0.514
11		10,60 Τεφροκίτρινο-ερυθρωτός αμμώδης ΜΑΡΓΟΛΙΟΣ	100	97	88	77	67	26	13	13	CL									
12		12,10 ΨΑΜΜΙΤΟΥΦΗΔΟΠΑΓΕΣ με αργίλιο ενδιάμεσο υλικό	100	99	97	93	82	37	16	21	CL									
13		12,90	100	98	92	86	79	39	20	19	CL									
14																				
15			100	99	95	91	85	42	22	20	CL									
16		Καστανόκτρινη (τοπικά καστανόερυθρη) σκληρή ΜΑΡΓΑ - ΜΑΡΓΟΛΙΟΣ με λεπτές ενσπρώσεις πυκνής αμμώδους καθώς και ψαμμιτικούς πάγκους (17.45 και 20.00-21.00 μ)	100	99	70	31	17	14			CL									
17			100	99	98	82	41	19	22		CL									
18																				
19			100	98	92	83	50	37	17	20	CL/SC									
20																				
21		21,00	100	99	94	87	59	30	16	14	CL									
22		Χαλαρό ΨΑΜΜΙΤΟΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ	100	96	81	63	38	28	13	15	SC									
23		Η ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΣΥΝΕΧΙΖΕΤΑΙ																		

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Γ2 ΕΡΓΟΥ "ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΚΙΑ ΧΡΥΣΟΛΔΡΑ ΚΑΙ ΨΥΧΑΡΗ, ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗ"

ΒΑΘΟΣ m	ΤΟΜΗ ΕΔΑΦ.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΥΧΟΜΕΝΟ %				ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΚΑΤΑΣΤΗ Α.Υ.Δ.Σ.Σ	ΔΟΚΙΜΗ S.P.T.	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΑΝΕΜΠΛΩΣΗ qu (kPa)	ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ε %	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ γ <sub>s</sub> t/m <sup>3</sup>	ΥΠΟ Φ.ΒΑΡΟΣ γ <sub>υ</sub> t/m <sup>3</sup>	ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ e	ΤΡΙΑΣΟΝΙΚΗ ΟΛΙΚΗΣ cu (kPa)	ΑΜΕΣΗ ΔΙΑΤΗΚΗ φ <sup>o</sup>	ΕΤΕΡΟΣΟΝΙΚΗ Cc	eo
			3μ	4	10	40	200	WL	WP											
24		όπως προαναφέρθηκες 24,20	93	86	74	58	35	28	15	13	SC									
25		Χαλαρό μαργακό ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ 25,60																		
26			100	96	90	87	69	43	19	24	CL		16.2	2.17	0.44					
27		Καστανόκτρινη αμμώδης ΜΑΡΓΑ - ΜΑΡΓΟΛΙΟΣ με ενσπρώσεις σκληρές αργίλης ΜΑΡΓΑΣ Κατά θέσας περιέχει μεγαλύτερο ποσοστό κοκκιδούς υλικού (χαλκία και άμμος)	100	98	94	67	22	45			CH	329	4.4	18	2.12					
28			100	99	93	75	42	19	23		CL									
29			100	99	92	72	35	18	17		CL									
30																				
31																				
32			100	99	95	87	57	30	16	14	CL									
33			100	98	90	82	76	49	22	17	CL									
34																				
35		35,00	100	99	83	35	18	17			CL									
36		ΤΕΛΟΣ ΓΕΩΤΗΣΕΩΣ Γ2						29	27	32	CH									
37																				
38																				
39																				
40																				
41																				
42																				
43																				
44																				
45																				
46																				

Τοποθεσία

Οικία στην Οδό Τατοίου στη Μεταμόρφωση (G12)

Γεώτρηση Γ1

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Γ1 ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ: ΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΟΔΟ ΤΑΤΟΙΟΥ και ΚΩ ΣΤΗ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗ.

ΒΑΘΟΣ ΤΟΜΗ m ΕΔΑΦ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ %				ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΚΑΤΑΣΤΗ A.U.S.C.S	ΔΟΚΙΜΗ S.P.T. 0 10 20 30 40 50 60	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΑΝΕΜΠΛΩΣΗ qu (kPa)	ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ε %	ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ %	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ γm3	ΥΓΡΟ Φ.ΒΑΡΟΣ γm3	ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	ΤΡΙΑΣΟΙΚΗ ΟΛΙΚΕΣ cu (kPa)	ΑΜΕΣΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ φ°	ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ Cc	so	
		3/4	4	10	40	200	WL	WP													IP
1	Τεχνητές προσαχύσεις (Μπαζο)																				
2		1.60	100	99	97	90	40	22	18	CL											
3																					
4																					
5	Καστανή, καστανόκρηνη, μισοαμμώδης ΑΡΓΙΛΙΟΣ με πολλά κατά θέσεις χαλίκια		100	93	86	71	36	18	18	CL											
6			100	98	87	39	15	24	CL												
7			100	99	95	86	41	20	21	CL											
8			100	96	86	65	42	21	21	CL											
9			100	95	81	63	52	24	28	CH	412	11.1	16.5		2.12						
10			100	94	81	58	45	21	24	CL	425	8.0	16.7		2.23						
11	Καστανόκρηνη αργιλώδης ΑΜΜΟΣ με πολλά αββατολιθικά χαλίκια	8.80	100	89	66	43	34	15	19	BC											
12	Ανοχότερη ελαστική ΑΜΜΟΛΥΣ με αββατολιθικές συγκεντρώσεις	10.70	100	96	84	72	55	23	22	MH											
13		12.60	100	99	96	92	51	30	21	MH											
14																					
15																					
16	Υπόλευκη - κηρίνλευκη, αργιλώδης, κατά θέσεις αμμώδης, ΜΑΡΓΑ με πολλά κατά τόπους αββατολιθικά θραύσματα και πυρήνες μαργαλιθών. Κηρίνλευκος πολύ χαλαρός χονδρό- κοκκος ΨΑΜΜΙΤΗΣ με μαργαλιθό συ- γκολλητικό υλικό εμφανίζεται στα παρακάτω βάθη: 14.90 - 15.40μ 19.00 - 19.90μ 21.30 - 22.70μ		100	97	89	74	40	20	20	CL											
17			100	99	89	84	78	50	28	22	CL/CH										
18			100	99	98	93	54	26	28	CH	291	5.9	20.2		2.29						
19				100	99	94	76	44	24	20	CL										
20				100	99	88	71	60	46	21	25	CL									
21																					
22																					
23	Η ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΣΥΝΕΧΙΖΕΤΑΙ																				

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Γ1 ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ: ΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΟΔΟ ΤΑΤΟΙΟΥ και ΚΩ ΣΤΗ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗ.

ΒΑΘΟΣ ΤΟΜΗ m ΕΔΑΦ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ %				ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΚΑΤΑΣΤΗ A.U.S.C.S	ΔΟΚΙΜΗ S.P.T. 0 10 20 30 40 50 60	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΑΝΕΜΠΛΩΣΗ qu (kPa)	ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ε %	ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ %	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ γm3	ΥΓΡΟ Φ.ΒΑΡΟΣ γm3	ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	ΤΡΙΑΣΟΙΚΗ ΟΛΙΚΕΣ cu (kPa)	ΑΜΕΣΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ φ°	ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ Cc	so	
		3/4	4	10	40	200	WL	WP													IP
24			100	96	91	61	36	20	16	CL											
25																					
26	Υπόλευκη - κηρίνλευκη αργιλώδη ΜΑΡΓΑ με ενσπρίσσεις μαργαλιθών καθώς και ψαμμίτων στα βάθη: 24.30 - 25.00μ 25.80 - 26.10μ 27.10 - 27.80μ		100	93	88	75	56	28	28	CH											
27			100	97	93	86	56	25	31	CH											
28																					
29																					
30				100	99	97	74	41	23	18	CL										
31																					
32																					
33			100	97	92	78	44	25	19	CL											
34	ΤΕΛΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Γ1	33.60																			
35																					
36																					
37																					
38																					
39																					
40																					
41																					
42																					
43																					
44																					
45																					
46																					

Τοποθεσία

Νηπιαγωγείο Λυκόβρυσης (G15)

Γεώτρηση Γ1

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Γ 1 ΕΡΓΟΥ "ΝΗΠΙΑΓΩΓΕΙΟ ΛΥΚΟΒΡΥΣΗΣ"**

ΒΑΘΟΣΤΟΜΗ m	ΕΔΑΦ.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ %				ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΚΑΤΑΤΑΞΗ A.U.S.C.S	ΔΟΚΙΜΗ S.P.T.	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΑΝΕΜΠΛΩΡΝΗ qu (kPa)	ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ε %	ΕΙΔΙΚΟ ΥΓΡΑΣΙΑ % w	ΥΠΟ Φ.ΒΑΡΟΣ lim3	ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ lim3	ΤΡΙΑΣΟΝΙΚΗ ΟΛΙΚΕΣ cu (kPa)	ΑΜΕΣΗ ΔΙΑΤΗΝΗ φ0	ΕΤΕΡΟΡΟΠΙΣΗ	
			3/4	4	10	40	200	WL	WP										IP	Cc
1		Καστανόκτρινη (μετά τα 1,70μ καστανή) πολύ αμμώδης <b>ΑΡΓΙΛΟΣ</b> με μικρό ποσοστό λεπτιών χαλικιών και σποραδικές λατιπές																		
2			100	98	90	76	58	28,7	16,0	12,7	CL									
3																				
4			4.15	100	98	95	84	53	26,7	16,0	10,7	CL								
5		Ανοιχτόκαστανη-ανοιχτή καστανέρυθρη σκληρή πολύ αμμώδης <b>ΜΑΡΓΑ</b> με λεπτές ενστρώσεις πυκνής αργιλλώδους <b>ΑΜΜΟΥ</b> και μαργαλικού <b>ΨΑΜΜΙΤΗ</b>  Σε βάθος 9,50-9,70μ παρατηρούνται συγκεντρώσεις χαλικιών	100	99	97	92	77	33,2	17,0	16,2	CL									
6																				
7																				
8				100	97	92	60	30,2	17,0	13,2	CL									
9																				
10																				
11		11.50																		
12		ΛΑΤΥΠΕΣ και ΧΑΛΙΚΙΑ ελαφρά στρωγυλι με αμμοαργιλλώδες ενδιάμεσο υλικό																		
13			13.05																	
14		Καστανή λίγο αμμώδης <b>ΜΑΡΓΑ</b> με λεπτές ενστρώσεις αμμου	100	89	85	74	36,8	20,0	16,8	CL										
15			15.00	100	91	73	50	31	28,3	16,0	12,3	SC	348	6,3	16,7	2,19				
16		Χαλαρά <b>ΜΙΚΡΟΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ</b> από τελομένο από χαλίκι και λατιπές σιτισο-λίθου, μαργαρί και ασβεστολίθου																		
17			16.50																	
18		Καστανόκτρινη - καστανή λεπτόκοκκη αργι-λλώδης <b>ΑΜΜΟΣ</b> ως πολύ αμμώδης <b>ΑΡΓΙΛΟΣ</b>																		
19		18.70	100	96	91	68	31,7	15,0	16,7	CL										
20		ΤΕΛΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Γ1																		
21																				
22																				
23																				

Γεώτρηση Γ2

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Γ 2 ΕΡΓΟΥ "ΝΗΠΙΑΓΩΓΕΙΟ ΛΥΚΟΒΡΥΣΗΣ"**

ΒΑΘΟΣΤΟΜΗ m	ΕΔΑΦ.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ %				ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΚΑΤΑΤΑΞΗ A.U.S.C.S	ΔΟΚΙΜΗ S.P.T.	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΑΝΕΜΠΛΩΡΝΗ qu (kPa)	ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ε %	ΕΙΔΙΚΟ ΥΓΡΑΣΙΑ % w	ΥΠΟ Φ.ΒΑΡΟΣ lim3	ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ lim3	ΤΡΙΑΣΟΝΙΚΗ ΟΛΙΚΕΣ cu (kPa)	ΑΜΕΣΗ ΔΙΑΤΗΝΗ φ0	ΕΤΕΡΟΡΟΠΙΣΗ	
			3/4	4	10	40	200	WL	WP										IP	Cc
1		Καστανόκτρινη πολύ αμμώδης <b>ΑΡΓΙΛΟΣ</b> με λίγο λεπτά χαλίκια																		
2			3.00	100	97	89	74	55	26,2	16,0	10,2	CL								
3		Καστανή αργιλλώδης <b>ΑΜΜΟΣ</b> ως πολύ αμμώδης <b>ΑΡΓΙΛΟΣ</b> με πολλά χαλίκια																		
4			4.15	69	54	42	28	18	20,5	15,0	5,5	GC-GM								
5		ΑΜΜΟΧΑΛΙΚΟ αποτελούμενο από ελαφρά στρωγυλιεμένα μέσου μεγέθους και χοντρά χαλίκια																		
6			6.00																	
7		Καστανόκτρινη σκληρή αμμώδης <b>ΜΑΡΓΑ</b> με διάσπαρτα ψαμμίτικα χαλίκια																		
8				100	98	96	76	32,7	18,0	14,7	CL									
9		8.90																		
10		ΑΜΜΟΧΑΛΙΚΟ λίγο αργιλλώδες	92	48	38	30	21	26,6	18,0	8,5	GC									
11		Καστανόκτρινη λίγο αμμώδης <b>ΜΑΡΓΑ</b>																		
12			11.60	100	94	83	59	32,2	16,0	16,2	CL									
13		ΑΜΜΟΧΑΛΙΚΟ λίγο αργιλλώδες με λατιπές ψαμμιτικής σύστασης έως 10εκ συνιστώμενο κυρίως από γυνιώδη χοντρά χαλίκια ασβεστολιθικής και χαλαζιακής σύστασης																		
14				84	51	42	30	20	25,7	15,0	10,7	GC								
15		15.40	100	99	96	70	31,4	18,0	13,4	CL										
16		Καστανόκτρινη σκληρή πολύ αμμώδης <b>ΑΡΓΙΛΟΣ</b> με λεπτές ενστρώσεις ψαμμίτη																		
17				100	89	55	28	16,0	12,1	CL										
18		18.10																		
19		ΤΕΛΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Γ2																		
20																				
21																				
22																				
23																				



## Βιβλιογραφία

- Αττικό Μετρό. Ιανουάριος 2000. *Μελέτη Ανάπτυξης Μετρό. Έκθεση 1. Εισαγωγή στη μελέτη ανάπτυξης του μετρό*, Αθήνα.
- Αττικό Μετρό. Ιανουάριος 2000. *Μελέτη Ανάπτυξης Μετρό. Έκθεση 2. Η υπάρχουσα κατάσταση των μεταφορών στο νομό Αττικής*, Αθήνα.
- Αττικό Μετρό. Ιανουάριος 2000. *Μελέτη Ανάπτυξης Μετρό. Έκθεση 3. Ο μακροπρόθεσμος σχεδιασμός των μεταφορικών συστημάτων του νόμου Αττικής*, Αθήνα.
- Αττικό Μετρό. Ιανουάριος 2000. *Μελέτη Ανάπτυξης Μετρό. Έκθεση 4. Το σχέδιο μεταφορών του νομού Αττικής*, Αθήνα.
- Αττικό Μετρό. Ιούλιος 2005. *Επέκταση της γραμμής 2 Άγιος Δημήτριος – Ελληνικό, Γενικές προδιαγραφές, Τόμος 2*, Αθήνα.
- Αττικό Μετρό. Ιούλιος 2005. *Επέκταση της γραμμής 2 Άγιος Δημήτριος – Ελληνικό, Προδιαγραφές υλικών και εργασιών έργων πολιτικού μηχανικού*, Αθήνα.
- Αττικό Μετρό, 2011, <http://www.ametro.gr/page/>
- Καββαδάς Μ., Μάρτιος 2005, *Σημειώσεις σχεδιασμού υπογείων έργων*, Ε.Μ.Π.
- Καρλαύτης Μ. Γ. και Λυμπέρης Κ. Π., 2009, *Συστήματα αστικών συγκοινωνιών: σχεδιασμός, κατασκευή, λειτουργία*, Αθήνα.
- Κ.Ε.Δ.Ε., Σεπτέμβριος 1970, «*Γεώτρησης εις οικόπεδον αστυνομικού μεγάρου επί των οδών Αλ. Παπάγου – Χίου εις Καισαριανήν*», Αθήνα.
- Κ.Ε.Δ.Ε., Ιούνιος 1973, «*Γεωτρήσεις ΛΑ Αστυνομικού Τμήματος Ζωγράφου*», Αθήνα.
- Κ.Ε.Δ.Ε., Οκτώβριος 1976, *Γεωτεχνική έρευνα: Νοσοκομείο Παίδων «ΑΓΙΑ ΣΟΦΙΑ*», Αθήνα.
- Κ.Ε.Δ.Ε., Ιανουάριος 1983, *Γεωτεχνική έρευνα: Α.Δ. Μεσογείων – Κατεχάκη*, Αθήνα.
- Κ.Ε.Δ.Ε., Ιανουάριος 1987, *Γεωτεχνική έρευνα: Πεζογέφυρα στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου*, Αθήνα.
- Κ.Ε.Δ.Ε., Δεκέμβριος 1987, *Γεωτεχνική έρευνα: Νοσοκομείο «ΑΓΙΑ ΟΛΓΑ*», Αθήνα.

Κ.Ε.Δ.Ε., Ιανουάριος 2000, *Γεωτεχνική έρευνα: Πολυκατοικία Χρυσολωρά & Ψυχάρη στη Μεταμόρφωση*, Αθήνα.

Κ.Ε.Δ.Ε., Ιούνιος 2000, *Γεωτεχνική έρευνα: Οικία στην Οδό Τατοίου στη Μεταμόρφωση*, Αθήνα.

Κ.Ε.Δ.Ε., Νοέμβριος 2003, *Γεωτεχνική έρευνα: Νηπιαγωγείο Λυκόβρυσης*, Αθήνα.

Κουκουτάς Στ., Ιούνιος 2001. Το ΜΕΤΡΟ της Αθήνας: Μέθοδοι κατασκευής και τα σχετικά τεχνικά προβλήματα, Ενημερωτικό δελτίο ΤΕΕ, τεύχος 2156, 129-137

Κουκουτάς Στ., Ιούνιος 2002. *Επέκταση γραμμής 3, Η επιλογή του «Μηχανήματος ολομέτωπης κοπής με ασπίδα»*, Ενημερωτικό δελτίο ΤΕΕ, τεύχος 2202, 140-144

Κουμαντάκης Ι., 1997, *Έρευνα υδρογεωλογικών συνθηκών και καθεστώτος εκμετάλλευσης υπόγειων νερών λεκανοπεδίου Αθηνών*, Αθήνα.

Λορτζιέ Κ., Μανουκιάν Μ., 2010, *Διπλωματική εργασία: Χάραξη γραμμής ΜΕΤΡΟ στη Λευκωσία*, Ε.Μ.Π.

Ομάδα έρευνας της ιστορίας της Αθηναϊκής συγκοινωνίας, 2007, *Από τα παμφορεία στο Μετρό*, Αθήνα.

Παπαδέας Γεώργιος, 2002, *Γεωλογικές έρευνες στην Αττική*, Αθήνα.

Ροζος Δ., 2007, *«Μέθοδοι βελτίωσης - αντιστήριξης εδάφους - υπεδάφους»*, Ε.Μ.Π.

Σαμπατακάκης Νικόλαος, 1991. *Τεχνικογεωλογική έρευνα λεκανοπεδίου Αθηνών*, Πάτρα.

Σοφιανός Α., Αθήνα, 2010, *Τεχνικές διάνοιξης Σηράγγων*, Ε.Μ.Π.

Σοφιανός Α., Αθήνα, 2010, *Υποστήριξη υπογείων έργων*, Ε.Μ.Π.

Τζούμας Α., Αγραπίδη Σ.Μ., 2004, *Διπλωματική εργασία: Διάνοιξη σήραγγας για τη σύνδεση του μετρό με την Πολυτεχνειούπολη*, Ε.Μ.Π.

Anagnostou G., Kovári K. (1996), *Face stability in slurry and EPB shield tunneling*, Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, London, 453-458

Flyvbjerg Bent, Nils Bruzelius, Bert van Wee, *Comparison of Capital Costs per Route Kilometre in Urban Rail*

Flyvbjerg, B. (2007). *Cost Overruns and Demand Shortfalls in Urban Rail and Other Infrastructure. Transportation Planning and Technology*, vol. 30, no. 1, pp. 9-30.

Guglielmetti Vittorio, Grasso Piergiorgio, Ashraf Mahtab, Shulin Xu. London 2008.  
*Mechanized tunnelling in urban areas, design methodology and construction control.*

Lekkas S. and Lozios S., 2000, *Tectonic structure of Mt. Hymittos*, Athens.

Neufert, 1992, *Οικοδομική και αρχιτεκτονική σύνθεση*

Pickrell, D. (1985). *Estimates of Rail Transit Construction Costs*. Transportation Research Record, no. 1006.

Rohde M., *Metro Rings and Loops*, (<http://mic-ro.com/metro/metrorings.html#list>, τελευταία πρόσβαση στις 28 Ιουνίου 2010)