

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ  
ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ ΤΗΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ  
ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 3 ΧΑΪΔΑΡΙ – ΠΕΙΡΑΙΑΣ ΤΗΣ  
ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ  
ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΥ  
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ  
ΔΟΜΗΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ (Γ.Δ.Π)

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2021

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Ε.Μ.Π.

Επιβλέπων: ΚΑΒΒΑΔΑΣ ΜΙΧΑΗΛ,  
Καθηγητής και Δ/ντής Τομέα  
Γεωτεχνικής Πολ. Μηχανικών  
Ε.Μ.Π.

**ABSTRACT**

This diploma thesis deals with the study of excavation and construction of the subway station Ag. Barbara for the Expansion of Line 3 Chaidari - Piraeus of Attiko Metro, which is located in the square of church Ag. Eleousis. The length of its platform is 110 m, and two ventilation wells are part of it. The aim of the research is to study the excavation and construction of the Station through the geomechanical monitoring data. In the context of this work are included the techniques of temporary support and permanent lining of the station, as well as the responsibilities and tasks undertaken by the part of the geomechanical monitoring.

**ΜΑΡΙΑ – ΑΝΝΑ ΤΖΑΡΙΑ**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Καββαδά Μιχαήλ για την καθοδήγηση που έλαβα κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στην εταιρεία J&P Anax, ανάδοχο κατασκευής του έργου «ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 3 ΧΑΪΔΑΡΙ – ΠΕΙΡΑΙΑΣ» ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ για την μακροχρόνια εποικοδομητική συνεργασία μας στον τομέα της Γ.Δ.Π., στον διευθυντή του τμήματος Γ.Δ.Π. κ. Κλάδο Ιωάννη και στην κ. Παντελιάδου Μαργαρίτα για την πολύτιμη και καθοριστική συμβολή τους στην διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας, όπως και στον προϊστάμενο του τοπογραφικού τμήματος κ. Κουκόπουλο Πέτρο και σε όλους τους συνεργάτες μου που συμμετείχαν στην παροχή των τοπογραφικών υπηρεσιών του τμήματος και με την πολύτιμη συνεργασία μας διεκπεραιώθηκαν οι μετρήσεις με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο αυτής της εργασίας αποτελεί η μελέτη εκσκαφής και κατασκευής του Σταθμού Αγ. Βαρβάρα της Επέκτασης της Γραμμής 3 Χαϊδάρη – Πειραιάς της Αττικό Μετρό. Στόχος της εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της εκσκαφής και κατασκευής του Σταθμού μέσω των στοιχείων παρακολούθησης συμπεριφοράς του τμήματος Γεωμηχανικής και Δομητικής Παρακολούθησης (Γ.Δ.Π.). Επιπρόσθετα, στο πλαίσιο της εργασίας αυτής, παρουσιάζονται οι τεχνικές προσωρινής αντιστήριξης και μόνιμης επένδυσης του σταθμού καθώς και οι αρμοδιότητες και εργασίες που υλοποιούνται από το Γ.Δ.Π.

Ο σταθμός Αγ. Βαρβάρα, βρίσκεται στην πλατεία, μπροστά από την εκκλησία της Αγ. Ελεούσης και έχει μήκος αποβαθρών 110 m, και ενσωματώνονται σε αυτόν δύο φρεάτια εκτόνωσης αερισμού.

Προκειμένου να υλοποιηθεί η κατασκευή του έργου πραγματοποιήθηκε η γεωτεχνική και γεωλογική μελέτη στην ευρύτερη περιοχή της ζώνης επιρροής με στόχο την παρουσίαση των γεωτεχνικών σχηματισμών και τον προσδιορισμό των γεωτεχνικών παραμέτρων σχεδιασμού και των υδρογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν εντός αυτής, πιο συγκεκριμένα της υδρολιθολογίας και των γεωχημικών παραμέτρων.

Από την αξιολόγηση όλων των ανωτέρω και κατόπιν στατικών μελετών προσδιορίστηκαν οι μέθοδοι και οι τεχνικές της προσωρινής αντιστήριξης και της μόνιμης επένδυσης του έργου, καθώς και ο καθοριστικής σημασίας τρόπος της σταδιακής εκσκαφής του.

Σε τελική φάση, κατόπιν της περιγραφής του έργου, των αρμοδιοτήτων και των εργασιών του τμήματος Γεωμηχανικής και Δομητικής Παρακολούθησης, αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων όλων των υπό εξέταση δομικών και εδαφικών στοιχείων και επιβεβαιώθηκε η επιτυχής έκβαση όλων των εργασιών εκσκαφής, προσωρινής αντιστήριξης, μόνιμης επένδυσης και ολοκλήρωσης της κατασκευής του έργου.

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with the study of excavation and construction of the subway station Ag. Barbara for the Expansion of Line 3 Chaidari - Piraeus of Attiko Metro, which is located in the square of church Ag. Eleousis. The length of its platform is 110 m, and two ventilation wells are part of it. The aim of the research is to study the excavation and construction of the Station through the geomechanical monitoring data. In the context of this work are included the techniques of temporary support and permanent lining of the station, as well as the responsibilities and tasks undertaken by the part of the geomechanical monitoring.

The geotechnical and geological study in the influence zone, accomplished before the excavation works, presented the geotechnical formations, the geotechnical design parameters and hydrological conditions within it, more specifically hydrology and geochemical parameters. The evaluation of these results and the static studies, delineated the methods and techniques of the temporary support, the permanent lining of the project and the way of its gradual excavation.

Finally, after the technical description of the project, and the presentation of the tasks and the services of the Geomechanical and Structural Monitoring department, the evaluation of the monitoring measurements of all the structural and soil elements took place, and came to the conclusion of the successful outcome of all excavation, temporary and permanent support works and complete construction of the project.

<b>Ευχαριστίες</b> .....	1
❖ Περίληψη.....	2
❖ Abstract.....	3
❖ Περιεχόμενα.....	4
❖ Ευρετήριο σχημάτων.....	6
❖ Ευρετήριο υπομνημάτων.....	8
❖ Ευρετήριο εικόνων.....	9
❖ Ευρετήριο διαγραμμάτων.....	11
❖ Ευρετήριο πινάκων.....	13
❖ ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	14
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΥ</b> .....	16
<b>1.1 ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΥ</b> .....	16
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ</b> .....	19
<b>2.1 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ</b> .....	19
<b>2.2 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ</b> .....	22
<b>2.3 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ</b> .....	32
2.3.1 Υδρολιθολογία – Διαπερατότητα Γεωτεχνικών Σχηματισμών.....	32
2.3.2 Αξιολόγηση γεωχημικών παραμέτρων.....	33
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΙΔΡΥΣΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΥ &amp; ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ &amp; ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ</b> .....	34
<b>3.1 ΙΔΡΥΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ</b> .....	34
<b>3.2 ΙΔΡΥΣΗ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ</b> .....	35
<b>3.3 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ</b> .....	37
<b>3.4 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΤΗΣ Γ.Δ.Π.</b> .....	44
<b>3.5 ΟΡΙΑ ΕΠΙΦΥΛΑΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ</b> .....	45
<b>3.6 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ</b> .....	47
3.6.1 Σύστημα Τρισδιάστατων Τοπογραφικών Μετρήσεων.....	47
3.6.2 Σύστημα Χωροσταθμικών Μετρήσεων.....	47
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΤΡΟΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑΣ</b> .....	48
<b>4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b> .....	48
<b>4.2 ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΚΑΙ ΜΟΝΙΜΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ</b> .....	51
4.2.1 ΕΚΣΚΑΦΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗ.....	51
4.2.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΙΜΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ.....	72

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>94</b>
<b>5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....</b>	<b>94</b>
<b>5.2 ΟΡΙΑ ΕΠΙΦΥΛΑΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ.....</b>	<b>122</b>
<b>5.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΚΒΑΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.....</b>	<b>126</b>
5.3.1 Αξιολόγηση μεθόδων προσωρινής αντιστήριξης και μόνιμης επένδυσης.....	126
5.3.2 Αξιολόγηση του έργου της Γ.Δ.Π.....	126
5.3.3 Συμπεράσματα – Γενικές παρατηρήσεις.....	127
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>129</b>

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<b>Σχήμα 2.1</b> Σχηματική αναπαράσταση θέσεων ιδεατών γεωτεχνικών τομών σχεδιασμού σε οριζοντιογραφία και επιφανειών επιρροής τους, του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).....	23
<b>Σχήμα 2.2</b> Σχηματική αναπαράσταση θέσεων γεωτεχνικών τομών σχεδιασμού και γεωτρήσεων σε οριζοντιογραφία του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓΙΑ ΒΑΡΑΒΑΡΑ, ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΜΗΚΟΤΟΜΗ της Αττικό Μετρό).....	24
<b>Σχήμα 2.3</b> Σχηματική αναπαράσταση θέσεων γεωτρήσεων σε γεωτεχνική μηκοτομή του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓΙΑ ΒΑΡΑΒΑΡΑ, ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΜΗΚΟΤΟΜΗ της Αττικό Μετρό).....	25
<b>Σχήμα 2.4</b> Σχηματική αναπαράσταση στρωματογραφίας της Γεωτεχνικής Τομής Σχεδιασμού 1 και οι γεωτεχνικές παράμετροι αυτής του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).....	27
<b>Σχήμα 2.5</b> Σχηματική αναπαράσταση στρωματογραφίας της Γεωτεχνικής Τομής Σχεδιασμού 2 και οι γεωτεχνικές παράμετροι αυτής του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).....	28
<b>Σχήμα 2.6</b> Σχηματική αναπαράσταση στρωματογραφίας της Γεωτεχνικής Τομής Σχεδιασμού 3 και οι γεωτεχνικές παράμετροι αυτής του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).....	29
<b>Σχήμα 2.7</b> Οριζοντιογραφία απεικόνισης προτεινόμενων δύο επιπλέον γεωτρήσεων στην περιοχή του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Πρόγραμμα Συμπληρωματικής Γεωτεχνικής Έρευνας της Αττικό Μετρό).....	30
<b>Σχήμα 2.8</b> Γεωτεχνικές Τομές όπως προκύπτουν από την οριζοντιογραφία, Τομή 1 & 2 (πηγή: Πρόγραμμα Συμπληρωματικής Γεωτεχνικής Έρευνας της Αττικό Μετρό).....	31
<b>Σχήμα 2.9</b> Γεωτεχνικές Τομές όπως προκύπτουν από την οριζοντιογραφία, Τομή 3 & 4 (πηγή: Πρόγραμμα Συμπληρωματικής Γεωτεχνικής Έρευνας της Αττικό Μετρό).....	31
<b>Σχήμα 3.1</b> Οριζοντιογραφία ιδρυθέντος οριζοντιογραφικού και υψομετρικού δικτύου Γ.Δ.Π. και μετρήσεων αυτών, του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Δικτύων Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	36
<b>Σχήματα 3.2 και 3.3</b> Τεχνικογεωλογικές χαρτογραφήσεις τμήματος τοιχείων του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	39
<b>Σχήματα 3.4 και 3.5</b> Τεχνικογεωλογικές χαρτογραφήσεις τμήματος τοιχείων του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	40
<b>Σχήμα 4.1</b> Σχηματική ομαδοποίηση των πασσαλότοιχων σε Κάτοψη κυρίως σκάμματος (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).54	
<b>Σχήμα 4.2</b> Σχηματική αναπαράσταση διάταξης αγκυρίων σε κάτοψη (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).....	55
<b>Σχήμα 4.3</b> Σχηματική αναπαράσταση αναπτύγματος όψης E πασσαλοτοιχίας (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).....	56
<b>Σχήμα 4.4</b> Σχηματική αναπαράσταση αναπτύγματος όψης G πασσαλοτοιχίας (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).....	57

<b>Σχήμα 4.5</b> Σχηματική αναπαράσταση αναπτύγματος όψης D πασσαλοτοιχίας (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).....	58
<b>Σχήμα 4.6</b> Σχηματική αναπαράσταση αναπτύγματος όψης Α πασσαλοτοιχίας (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).....	59
<b>Σχήμα 4.7</b> Τομή 4-4, Ομάδες πασσάλων 10, 24 και 19 (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).....	60
<b>Σχήμα 4.8</b> Τομή 5-5, Ομάδες πασσάλων 4 και 2 (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).....	61
<b>Σχήμα 4.9</b> Τομή 13-13, Ομάδες πασσάλων 5 και 22 (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).....	62
<b>Σχήμα 4.10</b> Κάτοψη 1 <sup>ης</sup> Φάσης Εκσκαφής (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).....	64
<b>Σχήμα 4.11</b> Κάτοψη 2 <sup>ης</sup> Φάσης Εκσκαφής (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).....	65
<b>Σχήμα 4.12</b> Κάτοψη 3 <sup>ης</sup> Φάσης Εκσκαφής (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).....	66
<b>Σχήμα 4.13</b> Κάτοψη 4 <sup>ης</sup> Φάσης Εκσκαφής (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).....	67
<b>Σχήμα 4.14</b> Κάτοψη 5 <sup>ης</sup> Φάσης Εκσκαφής (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).....	68
<b>Σχήμα 4.15</b> Κάτοψη 6 <sup>ης</sup> Φάσης Εκσκαφής (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).....	69
<b>Σχήμα 4.16</b> Κάτοψη 7 <sup>ης</sup> Φάσης Εκσκαφής (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).....	70
<b>Σχήμα 4.17</b> Κάτοψη 8 <sup>ης</sup> Φάσης Εκσκαφής (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).....	71
<b>Σχήμα 4.18</b> Σχεδιαστική Αναπαράσταση Οριζοντιογραφίας Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).....	73
<b>Σχήμα 4.19</b> Σχεδιαστική Αναπαράσταση Γεωτεχνικής Μηκοτομής Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).....	75
<b>Σχήμα 4.20</b> Σχηματική αναπαράσταση – Κάτοψη Πλάκας θεμελίωσης Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).....	76
<b>Σχήμα 4.21</b> Σχηματική αναπαράσταση – Κάτοψη Επιπέδου αποβάθρων Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).....	77
<b>Σχήμα 4.22</b> Σχηματική αναπαράσταση – Κάτοψη Επιπέδου Έκδοσης εισιτηρίων Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).....	77
<b>Σχήμα 4.23</b> Σχηματική αναπαράσταση – Κάτοψη Μηχανολογικού ορόφου Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).....	78



<b>Σχήμα 4.24</b> Σχηματική αναπαράσταση – Κάτοψη Οροφής Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).....	78
<b>Σχήμα 4.25</b> Σχηματική αναπαράσταση Τυπικής μηκοτομής Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).....	79
<b>Σχήμα 4.26</b> Σχηματική αναπαράσταση Εγκάρσιων τομών Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).....	79

## **ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΥΠΟΜΝΗΜΑΤΩΝ**

<b>Υπόμνημα 2.1</b> Υπομνήματα γεωτεχνικών σχηματισμών και οριζοντιογραφίας του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓΙΑ ΒΑΡΑΒΑΡΑ, ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΜΗΚΟΤΟΜΗ της Αττικό Μετρό).....	23
<b>Υπόμνημα 2.2</b> Υπομνήματα τεχνικογεωλογικών ενοτήτων και τομών γεωτρήσεων του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓΙΑ ΒΑΡΑΒΑΡΑ, ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΜΗΚΟΤΟΜΗ της Αττικό Μετρό).....	26
<b>Υπόμνημα 3.1</b> Υπόμνημα Οριζοντιογραφίας Οριζοντιογραφικού και Υψομετρικού Δικτύου Γ.Δ.Π. του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Δικτύων Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	35
<b>Υπόμνημα 5.1</b> Υπόμνημα οριζοντιογραφίας απεικόνισης των θέσεων των τοπογραφικών μαρτύρων του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	94

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Εικόνα 1.1</b> Αρχαιολογικά ευρήματα κατά τη διάρκεια ανασκαφών του έργου της Αττικό Μετρό «Επέκταση Γραμμής 3 Τμήμα Χαϊδάρι – Πειραιάς» (πηγή: m.naftemporiki.gr/)	18
<b>Εικόνα 3.1</b> Φωτογραφική τεκμηρίωση εκτασιόμετρου ράβδων του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου)	37
<b>Εικόνα 3.2</b> Φωτογραφική τεκμηρίωση κυψέλης φορτίου σε προεντεταμένο αγκύριο (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου)	38
<b>Εικόνα 3.3</b> Φωτογραφική τεκμηρίωση τεχνικογεωλογικών χαρτογραφήσεων τοιχείων του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου)	42
<b>Εικόνα 3.4</b> Φωτογραφική τεκμηρίωση τεχνικογεωλογικών χαρτογραφήσεων τοιχείων του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου)	43
<b>Εικόνα 4.1</b> Πρώτο στάδιο περίφραξης εργοταξίου για την έκβαση εργασιών εκσκαφής, 27/08/2012 (πηγή: πρόγραμμα Google earth)	49
<b>Εικόνα 4.2</b> Τελικό στάδιο περίφραξης εργοταξίου για την έκβαση εργασιών εκσκαφής - κατασκευής, 13/04/2013 (πηγή: πρόγραμμα Google earth)	50
<b>Εικόνα 4.3</b> Πρόοδος εργασιών μόνιμης στήριξης – επένδυσης σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: πρόγραμμα Google earth)	51
<b>Εικόνα 4.4</b> Πρόοδος εργασιών εκσκαφής – προσωρινής αντιστήριξης σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: φωτογραφικό υλικό Αναδόχου)	72
<b>Εικόνα 4.5</b> Συνολικό προσομοίωμα σταθμού Αγ. Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό)	85
<b>Εικόνα 4.6</b> Προσομοίωμα πλάκας θεμελίωσης σταθμού Αγ. Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό)	86
<b>Εικόνα 4.7</b> Προσομοίωμα πλακών αποβάθρων και κλιμακοστασίων σταθμού Αγ. Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό)	86
<b>Εικόνα 4.8</b> Προσομοίωμα πλάκας έκδοσης εισιτηρίων σταθμού Αγ. Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό)	87
<b>Εικόνα 4.9</b> Προσομοίωμα πλάκας μηχανολογικού ορόφου σταθμού Αγ. Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό)	87
<b>Εικόνα 4.10</b> Προσομοίωμα πλάκας οροφής σταθμού Αγ. Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό)	88
<b>Εικόνα 4.11</b> Προσομοίωμα περιμετρικών τοιχωμάτων σταθμού Αγ. Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό)	88
<b>Εικόνα 4.12</b> Προσομοίωμα κατασκευής εξόδου επί λεωφόρου Ελ. Βενιζέλου (νότια) σταθμού Αγ. Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό)	89
<b>Εικόνα 5.1</b> Οριζοντιογραφία απεικόνισης των θέσεων των τοπογραφικών μαρτύρων του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου)	95
<b>Εικόνα 5.2</b> Οριζοντιογραφία θέσεων πρώτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου)	98

<b>Εικόνα 5.3</b> Οριζοντιογραφία θέσεων δεύτερης ομάδας τρισδιάστατων στόχων, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	99
<b>Εικόνα 5.4</b> Οριζοντιογραφία θέσεων τρίτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	101
<b>Εικόνα 5.5</b> Οριζοντιογραφία θέσεων τέταρτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	103
<b>Εικόνα 5.6</b> Οριζοντιογραφία θέσεων πέμπτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	105
<b>Εικόνα 5.7</b> Οριζοντιογραφία θέσεων έκτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	107
<b>Εικόνα 5.8</b> Οριζοντιογραφία θέσεων έβδομης ομάδας τρισδιάστατων στόχων, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	109
<b>Εικόνα 5.9</b> Οριζοντιογραφία θέσεων όγδοης ομάδας τρισδιάστατων στόχων, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	111
<b>Εικόνα 5.10</b> Οριζοντιογραφία θέσεων ένατης ομάδας τρισδιάστατων στόχων, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	113
<b>Εικόνα 5.11</b> Οριζοντιογραφία διανυσμάτων μετακίνησης θέσεων τρισδιάστατων στόχων (κλ.διανυσμάτων: 0.5m/mm) στη ζώνη επιρροής, στο τμήμα του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	114
<b>Εικόνα 5.12</b> Οριζοντιογραφία διανυσμάτων μετακίνησης θέσεων τρισδιάστατων στόχων στη ζώνη επιρροής, στο τμήμα των κτηρίων βόρεια του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, κλ: 1:500 (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	115
<b>Εικόνα 5.13</b> Οριζοντιογραφία ισοϋψών μετακινήσεων χωροσταθμικών ακίδων στη ζώνη επιρροής του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, κλ: 1:750 (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	116



<b>Διάγραμμα 5.21</b>	Διάγραμμα μετακίνησης όγδοης ομάδας τρισδιάστατων στόχων υψομετρικά (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	110
<b>Διάγραμμα 5.22</b>	Διάγραμμα μετακίνησης όγδοης ομάδας τρισδιάστατων στόχων από Χ.Θ. έργου (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	110
<b>Διάγραμμα 5.23</b>	Διάγραμμα μετακίνησης ένατης ομάδας τρισδιάστατων στόχων από άξονα έργου (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	111
<b>Διάγραμμα 5.24</b>	Διάγραμμα μετακίνησης ένατης ομάδας τρισδιάστατων στόχων υψομετρικά (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	112
<b>Διάγραμμα 5.25</b>	Διάγραμμα μετακίνησης ένατης ομάδας τρισδιάστατων στόχων από Χ.Θ. έργου (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	112
<b>Διάγραμμα 5.26</b>	Διάγραμμα μετακίνησης αποκλισίου μετρου παράλληλα και κάθετα από τον άξονα αναφοράς του (mm), σε σχέση με το βάθος και την εξέλιξη των εργασιών εκσκαφής και τοποθέτησης πασσάλων και αγκυριών του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	117
<b>Διάγραμμα 5.27</b>	Διάγραμμα μετακίνησης αποκλισίου μετρου παράλληλα και κάθετα από τον άξονα αναφοράς του (mm) σε κάτοψη και οριζοντιογραφία απεικόνισης της θέσης του, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	118
<b>Διάγραμμα 5.28</b>	Διάγραμμα σχετικής μετακίνησης ράβδων εκτασιόμετρων (mm), σε σχέση με την εξέλιξη των εργασιών εκσκαφής και οριζοντιογραφία απεικόνισης των θέσεων τους, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	119
<b>Διάγραμμα 5.29</b>	Διάγραμμα ενδείξεων στάθμης υπόγειου νερού πιεζόμετρων (απόλυτα υψόμετρα σε m) σε σχέση με την εξέλιξη των εργασιών εκσκαφής και οριζοντιογραφία απεικόνισης των θέσεων τους, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	120
<b>Διάγραμμα 5.30</b>	Διάγραμμα μετρήσεων κυψελών φορτίου (KN) σε σχέση με την εξέλιξη των εργασιών εκσκαφής και οριζοντιογραφία απεικόνισης των θέσεων τους, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	121

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 2.1</b> Γεωτεχνικές παράμετροι εδαφικών υλικών του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).....	26
<b>Πίνακας 2.2</b> Στοιχεία συναξιολογούμενων γεωτρήσεων (πηγή: Πρόγραμμα Συμπληρωματικής Γεωτεχνικής Έρευνας της Αττικό Μετρό).....	30
<b>Πίνακας 2.3</b> Κατηγορίες συντελεστών διαπερατότητας κατά Terzaghi και Peck (πηγή: Πρόγραμμα Συμπληρωματικής Γεωτεχνικής Έρευνας της Αττικό Μετρό).....	32
<b>Πίνακας 3.1</b> Πίνακας ταξινόμησης βραχομάζας κατά GSI τοιχείων του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	41
<b>Πίνακας 3.2</b> Πίνακας ορίων επιφυλακής (πηγή: Προδιαγραφές Μελετών Έργων Πολιτικού Μηχανικού της Α.Μ.).....	45
<b>Πίνακας 3.3</b> Πίνακας ορίων συναγερού (πηγή: Προδιαγραφές Μελετών Έργων Πολιτικού Μηχανικού της Α.Μ.).....	46
<b>Πίνακας 4.1</b> Προδιαγραφές επικαλύψεων οπλισμών (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).....	81
<b>Πίνακας 4.2</b> Κατηγοριοποίηση επιφανειακών και ραβδωτών στοιχείων του φορέα του σταθμού Αγ. Βαρβάρας σε group (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).....	82
<b>Πίνακας 4.3</b> Κατηγοριοποίηση επιφανειακών και ραβδωτών στοιχείων του φορέα του σταθμού Αγ. Βαρβάρας σε group (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).....	83
<b>Πίνακας 4.4</b> Συνδυασμοί φορτίσεων αστοχίας – στατική επάρκεια (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).....	91
<b>Πίνακας 4.5</b> Συνδυασμοί φορτίσεων αστοχίας – στατική επάρκεια (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).....	92
<b>Πίνακας 4.6</b> Συνδυασμοί φορτίσεων – έλεγχος ρηγμάτωσης (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).....	93
<b>Πίνακας 5.1.α.</b> Όρια επιφυλακής και συναγερού για τα κτηριακά δομικά στοιχεία εντός της ζώνης επιρροής του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	123
<b>Πίνακας 5.1.β.</b> Όρια επιφυλακής και συναγερού για τα κτηριακά δομικά στοιχεία εντός της ζώνης επιρροής του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	123
<b>Πίνακας 5.2.</b> Όρια επιφυλακής και συναγερού για τα δομικά στοιχεία στην φάση της προσωρινής αντιστήριξης του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	124
<b>Πίνακας 5.3.</b> Όρια επιφυλακής και συναγερού για τα δομικά στοιχεία του ελεύθερου πεδίου εντός της ζώνης επιρροής του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).....	125

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Η κατασκευή μεγάλων τεχνικών έργων προϋποθέτει μία σειρά μελετών για την υλοποίησή τους και παρακολούθηση των δομικών και αλληλεπιδρόντων στοιχείων όσο αυτή εξελίσσεται. Ειδικά στα μεγάλης κλίμακας υπόγεια έργα όπου ο παράγοντας εκσκαφής του εδάφους σε μεγάλα βάθη και η συμπεριφορά του ανάλογη της γεωλογικής του φύσης, σε συνδυασμό με την αλληλεπίδραση του με γειτονικές κατασκευές, καθιστά επιτακτική την ανάγκη για εκτενή γεωλογική και γεωτεχνική μελέτη μιας μεγάλης έκτασης περιοχής και σε μεγάλα βάθη. Για τον ίδιο λόγο κρίνεται απαραίτητη και η συχνή και τακτική παρακολούθηση συμπεριφοράς της ίδιας κατασκευής όσο εξελίσσεται το έργο και όλων των κατασκευών εντός της ζώνης επιρροής του. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται ο έλεγχος για το αν επαληθεύονται όλες οι παράμετροι μελέτης, σχεδιασμού, μέθοδοι προσωρινής αντιστήριξης και αν υλοποιήθηκε η κατασκευή μέσα στα αποδεκτά όρια ανοχής.

Η εμπειρία από κατασκευές υπόγειων έργων, σηράγγων και σταθμών Μετρό, έχει επιφέρει νέες προτάσεις βελτίωσης μεθόδων κατασκευής μελλοντικών παρόμοιων έργων, αντιμετώπισης ενδεχόμενων δυσκολιών και απρόβλεπτων παραγόντων που αφορούν είτε κατασκευαστικές τεχνικές είτε σε ακολουθίες ανταπόκρισης σε απρόβλεπτες συμπεριφορές εδάφους και αλληλεπίδρασης του με κατασκευές που γειτνιάζει και επηρεάζει και πρόληψης αστοχιών. Η ανάλυση της μελέτης και των πορισμάτων της για τμήμα του Έργου κατασκευής Μετρό σε σύγκριση με την υλοποίηση του «ως κατασκευάσθη» πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας. Η δομή της εργασίας είναι η εξής:

Στο Πρώτο Κεφάλαιο γίνεται μία συνοπτική περιγραφή του συνόλου του Έργου «ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ 3, ΤΜΗΜΑ ΧΑΪΔΑΡΙ – ΠΕΙΡΑΙΑΣ» καθώς και των μεθόδων εκσκαφής των σηράγγων και των σταθμών του Έργου, οι οποίες διαφοροποιούνται ανάλογα με την δυνατότητα υλοποίησής τους και όπως προτάσσουν οι γεωτεχνικές – γεωλογικές μελέτες.

Το Δεύτερο Κεφάλαιο αναφέρεται στην υλοποίηση και τα πορίσματα της Γεωλογικής Μελέτης του Σταθμού της Αγ. Βαρβάρας, το οποίο είναι επί μέρους έργο της επέκτασης της γραμμής 3 του Μετρό και αποτελεί αντικείμενο μελέτης της διπλωματικής. Καθοριστικής σημασίας αποτελεί η Τεχνική Έκθεση αυτής της μελέτης και συγκεκριμένα οι γεωτεχνικοί σχηματισμοί που αποτελούν την περιοχή μελέτης και οι γεωτεχνικοί παράμετροι, σε συνδυασμό και με τις υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν, για τον σχεδιασμό κατασκευής του Έργου, την πρόβλεψη και αντιμετώπιση ενδεχόμενων δυσκολιών που θα προκύψουν στην πραγμάτωσή του.

Στο Τρίτο Κεφάλαιο περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο υλοποιήθηκε και πραγματοποιήθηκε η παρακολούθηση του Έργου τόσο γεωλογικά όσο και τοπογραφικά. Επιπρόσθετα πριν την έναρξη οποιαδήποτε εργασίας εκσκαφής και κατασκευής, προσδιορίζονται οι απαραίτητες εργασίες για την ίδρυση του οριζοντιογραφικού, υψομετρικού και γεωτεχνικού δικτύου. Ακόμα γίνεται αναφορά στον ρόλο που έχει η Γεωμηχανική και Δομητική Παρακολούθηση στην εξέλιξη των εργασιών κατασκευής του Έργου και στα όρια επιφυλακής και συναγερμού κάτω από τα οποία είναι ασφαλής η πρόοδος εργασιών του Έργου.

Το Τέταρτο Κεφάλαιο περιλαμβάνει την περιγραφή του τρόπου κατασκευής του Σταθμού Αγ. Βαρβάρας. Συγκεκριμένα αναλύεται η μέθοδος και οι τεχνικές εκσκαφής, υλοποίησης της προσωρινής αντιστήριξης και μόνιμης επένδυσης του Έργου σύμφωνα με τα οριζόμενα από τις μελέτες και προδιαγραφές.

Τέλος, στο Πέμπτο Κεφάλαιο παρατίθενται συνολικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων, τοπογραφικών και γεωλογικών, συγκρίνονται με τα ανεκτά όρια όπως προέκυψαν από τις μελέτες, αξιολογούνται και γίνεται εκτίμηση βάση των συμπερασμάτων για την επιτυχή έκβαση της κατασκευής του Έργου. Ακόμα διερευνάται ο βαθμός στον οποίο οι αρχικές μελέτες επιβεβαιώνουν το γεωλογικό μοντέλο που προηγουμένως θεωρήθηκε και τα μέτρα προσωρινής αντιστήριξης διασφάλισαν την ασφάλεια του Έργου, σε συνδυασμό με τον τρόπο μόνιμης επένδυσης, από φυσικούς, γεωλογικούς, τεχνικούς και κατασκευαστικούς κινδύνους.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΥ

### 1.1 ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΥ

Το Έργο «ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ 3 ΤΜΗΜΑ ΧΑΪΔΑΡΙ – ΠΕΙΡΑΙΑΣ» της ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., αποτελεί το τελευταίο τμήμα της Επέκτασης της Γραμμής 3 και θα εκτείνεται νότια του Σταθμού Χαϊδάρει έως το λιμάνι Πειραιά και ανατολικά ως τον Σταθμό Δημοτικό Θέατρο. Η γραμμή θα καταλήγει σε επίσταθμο μετά τον τερματικό Σταθμό Δημοτικό Θέατρο.

Η δυτική αυτή επέκταση της Γραμμής 3 από το Χαϊδάρει έως το Δημοτικό Θέατρο θα αποτελέσει τον συνδετήριο συγκοινωνιακό άξονα του κέντρου της πρωτεύουσας με το κεντρικό λιμάνι του Λεκανοπεδίου, διαμέσου των δυτικών προαστίων. Η Γραμμή 3 σήμερα εκτείνεται από τον Σταθμό του αεροδρομίου Ελευθέριος Βενιζέλος έως τον Σταθμό Δουκίσσης Πλακεντίας και στη συνέχεια μέχρι τον Σταθμό Αιγάλεω. Σε φάση κατασκευής είναι και το τμήμα Αιγάλεω – Χαϊδάρει. Τα αμαξοστάσια του Ελαιώνα και αυτό της περιοχής του Σταυρού θα εξυπηρετούν τις απαιτούμενες ανάγκες λειτουργίας της Γραμμής 3.

Το συνολικό μήκος της χάραξης της εν λόγω επέκτασης από τον επίσταθμο του Χαϊδαρίου μέχρι τον επίσταθμο του Δημοτικού Θεάτρου είναι περίπου 7,55 km και διέρχεται από έξι νέους σταθμούς. Η αρχή της χάραξης βρίσκεται στην Χ.Θ. 1 + 418,552 και το τέλος της στη Χ.Θ. 8 + 968,954. Το έργο επιμερίζεται στα εξής κάτωθι επί μέρους έργα:

- Σταθμός Αγ. Βαρβάρας, κατασκευασμένος με τη μέθοδο ανοικτού ορύγματος.
- Σταθμός Κορυδαλλός, κατασκευασμένος με τη μέθοδο ανοικτού ορύγματος.
- Σταθμός Νίκαια, κατασκευασμένος εν μέρει με τη μέθοδο ανοικτού ορύγματος και εν μέρει με υπόγεια εκσκαφή.
- Σταθμός Μανιάτικα, κατασκευασμένος με τη μέθοδο υπόγειας εκσκαφής.
- Σταθμός Πειραιά, κατασκευασμένος με τη μέθοδο με τη μέθοδο καλυμμένης εκσκαφής με τη χρήση διαφραγματικών τοίχων.
- Σταθμός Δημοτικό Θέατρο, κατασκευασμένος εν μέρει με τη μέθοδο ανοικτού ορύγματος και εν μέρει με υπόγεια εκσκαφή.
- Σήραγγα διπλής τροχιάς μήκους 127 μ. η οποία κατασκευάζεται με υπόγεια διάνοιξη και συνδέει το φρέαρ εισόδου TBM με το τέλος της κατασκευασμένης σήραγγας του επίσταθμου του σταθμού Χαϊδαρίου.
- Σήραγγα μήκους 6.505,522μ. διπλής τροχιάς η οποία κατασκευάζεται με τη χρήση TBM από το φρέαρ TBM στη Χ.Θ. 1+582,74 έως τη Χ.Θ. 8+ 748,262.
- Σήραγγα μήκους 220,70μ. τριπλής τροχιάς που κατασκευάζεται με υπόγεια διάνοιξη από τη Χ.Θ. 8+ 748,262 έως την Χ.Θ. 8+968,954.

Τέλος στα επί μέρους έργα συμπεριλαμβάνεται και η κατασκευή φρεάτων με την μέθοδο ανοικτού ορύγματος, και αυτά είναι τα: Φρέαρ Εισόδου TBM, Φρέαρ Κομνηνού, Φρέαρ Μεγάλου Αλεξάνδρου, Φρέαρ Ταξιαρχών, Φρέαρ Πισιδίας Νίκαιας, Φρέαρ Βλαχάκου Μανιάτικα, Φρέαρ Μελά, Φρέαρ Ρολόι, Φρέαρ Δεληγιάννη και Φρέαρ Πανεπιστημίου. Τα φρέατα αυτά εξυπηρετούν σκοπούς εκκίνησης και απόσυρσης του TBM, αερισμού, εγκατάστασης ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και εξόδου έκτακτης ανάγκης.

Πέραν των κατασκευαστικών για την πραγματοποίηση των ως άνω περιγραφόμενων επί μέρους έργων, για την υλοποίηση του έργου πραγματοποιήθηκαν οι απαιτούμενες έρευνες και μελέτες από την Αναθέτουσα Αρχή και τον Ανάδοχο του έργου και οι προκαταρκτικές εργασίες – ίδρυση δικτύων τοπογραφικών και γεωλογικών, έρευνες και τροποποιήσεις δικτύων Ο.Κ.Ω., εργοστασιακές εγκαταστάσεις, κυκλοφοριακές παρακάμψεις και ρυθμίσεις της οδικής κυκλοφορίας. Σημαντικό κομμάτι της εκτέλεσης του έργου αποτέλεσαν και οι αρχαιολογικές εργασίες οι οποίες ανέδειξαν κατά την διάρκεια των εκσκαφών σημαντικά αρχαιολογικά ευρήματα τα οποία θα είναι στην διάθεση του κοινού σε διάφορα εκθέματα. Επίσης οι εργασίες που συμπεριλαμβάνονται στην Γεωμηχανική και Δομητική Παρακολούθηση του έργου είναι καθοριστικής σημασίας καθ' όλη την διάρκεια των εργασιών υλοποίησης του. Τέλος, η ίδρυση των ηλεκτρομηχανολογικών και σιδηροδρομικών συστημάτων, η δημιουργία του Μητρώου του έργου και οι αρχιτεκτονικές εργασίες αποτελούν μεγάλα τμήματα της έκβασης του έργου.



**Εικόνα 1.1** Αρχαιολογικά ευρήματα κατά τη διάρκεια ανασκαφών του έργου της Αττικό Μετρό «Επέκταση Γραμμής 3 Τμήμα Χαϊδάρι – Πειραιάς» (πηγή: [m.naftemporiki.gr/](http://m.naftemporiki.gr/)).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

### 2.1 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Η σήραγγα η οποία κατασκευάστηκε για να ενώσει τον σταθμό Αγ. Μαρίνας με τον τερματικό σταθμό του Δημοτικού Θεάτρου, διανοίχτηκε σε σχηματισμούς της ενότητας των Αθηναϊκών Σχιστολίθων, σε σερπεντινίτες, σε ασβεστόλιθους και σε Νεογενείς και Τεταρτογενείς σχηματισμούς. Συχνή είναι και η παρουσία τεκτονισμένων και διατμημένων ζωνών κατά μήκος της χάραξης της γραμμής επέκτασης. Συγκεκριμένα, στην θέση όπου πραγματοποιήθηκε η εκσκαφή και κατασκευή του Σταθμού Αγ. Βαρβάρας επικρατεί η παρουσία λιμναίων μαργαϊκών αποθέσεων (NG) του Νεογενούς, με υπόβαθρο την κατώτερη κυρίως γεωλογική ενότητα των αθηναϊκών σχιστολίθων (AS). Στα πλαίσια διερεύνησης του έργου πραγματοποιήθηκαν ερευνητικές γεωτρήσεις, στην περιοχή όπου κατασκευάστηκε ο Σταθμός της Αγ. Βαρβάρας, από τις οποίες προέκυψε ότι η γεωλογία της αποτελείται από τους εξής παρακάτω γεωτεχνικούς σχηματισμούς, όπως αυτοί συναντώνται στην περιοχή και περιγράφονται στην έκθεση αξιολόγησης αποτελεσμάτων γεωτεχνικών ερευνών:

➤ «Γεωτεχνικός Σχηματισμός 1.1: Τεχνητές Αποθέσεις/Αλλουβιακές Αποθέσεις

Οι τεχνητές αποθέσεις συναντώνται επιφανειακά σε όλο το υπό μελέτη τμήμα. Πρόκειται για σύγχρονες και πιθανά ιστορικές επιχώσεις χαλαρών εδαφικών υλικών στον πολεοδομικό ιστό της Αθήνας. Το πάχος τους κυμαίνεται από 1.50 έως 3.70 m.

Οι τεχνητές αποθέσεις συνίστανται κυρίως από καστανή ιλυώδη/αργιλώδη ΑΜΜΟ και ΧΑΛΙΚΙΑ έως καστανή αμμώδη, χαλικώδη ΑΡΓΙΛΟ. Στην στρώση αυτή συναντώνται συχνά υλικά από ανθρωπογενείς αποθέσεις και κατασκευές όπως άσφαλτος, μπάζα και κεραμικά.

➤ Γεωτεχνικός Σχηματισμός 3.1: Κροκαλοπαγές, λατυποπαγές χαλαρό ή ασθενώς συγκολλημένο

Στην περιοχή του Σταθμού επιφανειακά ή σε σχετικά μικρό βάθος κάτω από τις τεχνητές αποθέσεις αναμένεται η παρουσία κορηματικών υλικών. Πρόκειται για χαλαρά έως ασθενώς συγκολλημένα κροκαλοπαγή και λατυποπαγή που στην συγκεκριμένη περιοχή συναντώνται υπό μορφή κυρίως ιλυωδών/αργιλωδών ΧΑΛΙΚΩΝ με άμμο καστανού έως καστανοκόκκινου χρώματος, και τα οποία εκτείνονται έως το μέγιστο βάθος των 5.00 m περίπου.

➤ Γεωτεχνικός Σχηματισμός 5.1: Λιμναίες Μαργαϊκές Αποθέσεις/Μανδύας Αποσάθρωσης Λιμναίων Μαργαϊκών Αποθέσεων

Ο σχηματισμός αυτός αποτελεί το μανδύα αποσάθρωσης των υποκείμενων Λιμναίων Νεογενών Ιζημάτων, τα οποία συνίστανται κυρίως από ασβεστιτικούς αργιολίθους/ιλυολίθους (μάργες), με ενστρώσεις και ορίζοντες μαργαϊκών ασβεστολίθων, ψαμμιτών και κατά θέσεις κροκαλοπαγών.

Ο σχηματισμός αυτός συνίσταται κυρίως από πολύ στιφρή κιτρινοκαστανή ιλυώδη/αργιλώδη ΑΜΜΟ με χαλίκια έως ερυθροκαστανή χαλικώδη, αμμώδη ΑΡΓΙΛΟ.

➤ Γεωτεχνικός Σχεδιασμός 5.2: Λιμναίες Μαργαϊκές Αποθέσεις/Μαργαϊκός Ασβεστόλιθος

Ο σχηματισμός του Μαργαϊκού Ασβεστόλιθου ανήκει στην ενότητα των Λιμναίων Μαργαϊκών Αποθέσεων και συναντάται στην περιοχή του σταθμού 'Αγία Βαρβάρα' σε περιορισμένη έκταση σε διάφορα βάθη και πάχη τα οποία κατά κανόνα δεν ξεπερνούν τα 2.5 m. Κυρίως εμφανίζεται σε ορίζοντες ως ένστρωση ή σε εναλλαγές με τον σχηματισμό των ιλυολίθων και των ασβεστικών αργιολίθων.

Πρόκειται για μετρίως ισχυρό έως ισχυρό, υγιή, τεφρόλευκο έως υπόλευκο τοπικά πορτοκαλοκίτρινο, μαργαϊκό ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟ. Η στρώση είναι μέσης απόστασης, με ομαλές και κλιμακωτές επιφάνειες. Οι διακλάσεις είναι τραχείες, κυματοειδείς, μέσης απόστασης με έντονη παρουσία οξειδίων μαγγανίου.

➤ Γεωτεχνικός Σχεδιασμός 5.3: Λιμναίες Μαργαϊκές Αποθέσεις/Μάργα (Αργιόλιθος ασβεστιτικός)

Ο σχηματισμός του ασβεστιτικού Αργιολίθου ανήκει στην ενότητα των Λιμναίων Μαργαϊκών Αποθέσεων και συναντάται στην περιοχή του έργου στο ανώτερο τμήμα τους έως το μέγιστο βάθος των 30.0 m σε διάφορα πάχη. Κυρίως εμφανίζεται σε εναλλαγές με τον σχηματισμό των ιλυολίθων και τοπικά σε εναλλαγές με τους μαργαϊκούς ασβεστολίθους. Πρόκειται για εξαιρετικά ασθενή έως πολύ ασθενή, άστρωτο και τοπικά στρωματώδη, υποκίτρινο έως κιτρινόλευκο και τοπικά καστανοκίτρινο, ασβεστιτικό ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟ. Οι επιφάνειες στρώσης του σχηματισμού είναι μέσης απόστασης, με οξείδια μαγγανίου, σιδήρου και διαποτισμούς υδροξειδίων. Οι ασυνέχειες εμφανίζονται κλιμακωτές, τοπικά παρακατακόρυφες, ενώ οι διακλάσεις αραιές, τραχείες κυματοειδείς. Τοπικά ο σχηματισμός εναλλάσσεται με ενστρώσεις μαργαϊκού ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΥ και ασβεστιτικού ΙΛΥΟΛΙΘΟΥ (ΛΙΜΝΑΙΕΣ ΜΑΡΓΑΪΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ).

➤ Γεωτεχνικός Σχηματισμός 5.4: Λιμναίες Μαργαϊκές Αποθέσεις/Ιλυόλιθος

Ο σχηματισμός του Ιλυολίθου ανήκει στην ενότητα των Λιμναίων Μαργαϊκών Αποθέσεων και είναι ο επικρατούς σχηματισμός στην περιοχή του έργου. Συναντάται στο ανώτερο

τμήμα των Λιμναίων Μαργαϊκών Αποθέσεων σε εναλλαγές με τους σχηματισμούς των ασβεστιτικών αργιλολίθων και τοπικά με τους σχηματισμούς των μαργαϊκών ασβεστολίθων ενώ αποτελεί αποκλειστικά το κατώτερο τμήμα τους μέχρι και το τέλος των γεωτρήσεων (βάθη έως και 40 m) με εξαίρεση μία γεώτρηση. Ο σχηματισμός εμφανίζεται σε όλες τις γεωτρήσεις της περιοχής.

Πρόκειται για ασθενή έως πολύ ασθενή και τοπικά εξαιρετικά ασθενή, λεπτοστρωματώδη έως παχυστρωματώδη, τέφρο έως τεφρόπράσινο και κυανότεφρο, υγιή τοπικά αποχρωματισμένο ιλυόλιθο και τοπικά ασβεστιτικό ιλυόλιθο. Οι επιφάνειες στρώσης του σχηματισμού είναι οριζόντιες από αραιές έως μέσης απόστασης, κλιμακωτές έως κυματοειδείς τραχείες τοπικά κατακόρυφες ενώ οι επιφάνειες διάτμησης λείες, κυματοειδείς ομαλές, εξαιρετικά πυκνές έως πυκνές με γραμμές ολίσθησης. Τοπικά ο σχηματισμός εναλλάσσεται με ενστρώσεις, μαργαϊκού ασβεστόλιθου και Ψαμμίτη (Λιμναίες Μαργαϊκές Αποθέσεις).

➤ Γεωτεχνικός Σχηματισμός 8.1: Αθηναϊκός Σχιστόλιθος – Κατώτερη Ενότητα/Τεφρός Μεταϊλυόλιθος, Μελανός Αργιλικός Σχίστης

Ο σχηματισμός του Τεφρού Μεταϊλυολίθου, Μελανού Αργιλικού Σχίστη ανήκει στην Κατώτερη ενότητα του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου. Συναντάται στο βορειοδυτικό τμήμα του σταθμού και έως τη Χ.Θ. 2 + 200 περίπου και σε βάθος μεγαλύτερο των 28.00 m, αναμένεται πιθανότητα να συναντηθεί οριακά στο δάπεδο και στα κατώτερα τμήματα των εκσκαφών, και αφορά κυρίως σε τεφρούς μεταϊλυολίθους (AS – PH), κατά θέσεις με ενστρώσεις τεφρού μεταψαμμίτη.

Γενικά η εμφάνιση του σχηματισμού αυτού δεν είναι ομοιογενής αλλά στις περισσότερες θέσεις αποτελείται από εναλλαγές Τεφρού Μεταϊλυολίθου και Μελανού Αργιλικού Σχίστη με τα ποσοστά συμμετοχής τους να μεταβάλλονται κατά θέσεις. Συχνά συναντώνται με παρεμβολές λεπτών στρώσεων ικανότερων σχηματισμών όπως Χλωριτικού Σχιστολίθου ή Μεταψαμμίτη.»

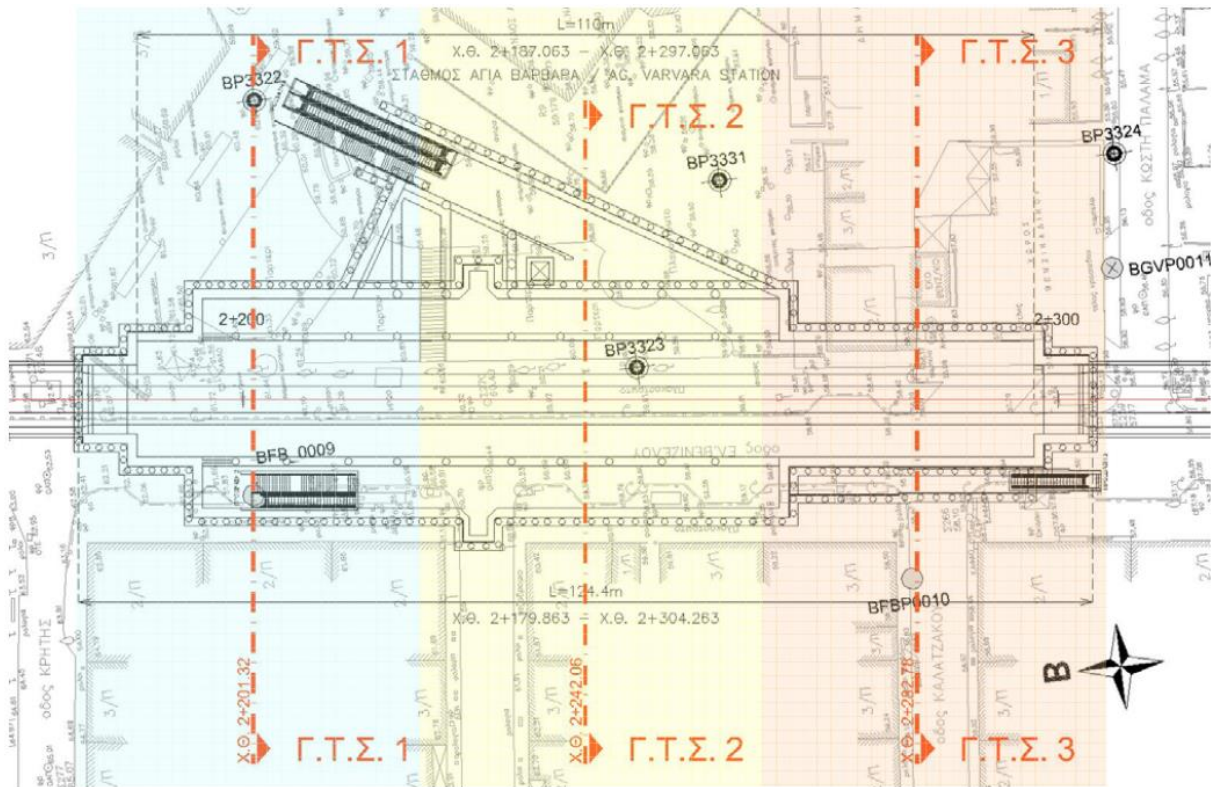
Από την έκθεση αξιολόγησης αποτελεσμάτων γεωτεχνικών ερευνών πραγματοποιήθηκε άλλη μία ομαδοποίηση των επιμέρους γεωτεχνικών σχηματισμών που διαχωρίστηκαν από τις γεωτρήσεις σε ευρύτερες τεχνικογεωλογικές ενότητες. Τα κριτήρια στην ομαδοποίηση αυτή αποτέλεσαν η προέλευση, η επικρατούσα λιθολογική σύσταση, τα φυσικά - μηχανικά χαρακτηριστικά των γεωτεχνικών σχηματισμών και η ποιότητα της βραχομάζας για τους βραχώδεις σχηματισμούς. Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που προέκυψαν στη θέση του εξεταζόμενου έργου είναι οι εξής:

- «**(AL)** Τεχνικές Αποθέσεις/Αλλουβιακές Αποθέσεις
- **(CS)** Κορήματα/Κώνοι Κορημάτων
- **(NG-w)** Μανδύας Αποσάθρωσης Λιμναίων Μαργαϊκών Αποθέσεων
- **(NG-MK)** Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι
- **(NG-ML)** Ασβεστιτικοί Ιλυόλιθοι και Αργιλόλιθοι (Μάργες) με ενστρώσεις/εναλλαγές Μαργαϊκών Ασβεστολίθων
- **(NG-MS)** Ασβεστιτικοί Ιλυόλιθοι και Αργιλόλιθοι (Μάργες)
- **(AS-PH)** Τεφροί Μεταίλυοίλιθοι – Αργιλικοί Σχίστες.»

## 2.2 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Καθοριστική παράμετρος, η οποία προσδιορίζει και τις γεωτεχνικές συνθήκες της περιοχής όπου κατασκευάστηκε ο Σταθμός της Αγ. Βαρβάρας, για τον σχεδιασμό και την κατασκευή των έργων, αποτέλεσαν οι κυρίαρχοι σχηματισμοί των Λιμναίων Μαργαϊκών Ιζημάτων, οι οποίοι δομούνται από τους γεωτεχνικούς σχηματισμούς των ασβεστιτικών αργιλόλιθων και των ιλυολίθων. Οι ασβεστιτικοί ιλυόλιθοι και αργιλόλιθοι βρίσκονται μέχρι τα 25 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, σε εναλλαγές κατά τόπους, με οριζόντες και στρώσεις μαργαϊκών ασβεστολίθων. Ακόμα όπως προκύπτει από την «Έκθεση Γεωτεχνικής Αξιολόγησης Παραμέτρων Σχεδιασμού Σταθμού Αγίας Βαρβάρας» αναμένεται η εμφάνιση της Κατώτερης Ενότητας των Αθηναϊκών Σχιστολίθων, η οποία συνίσταται κυρίως από τεφρούς μεταίλυοίλιθων, κατά θέσεις με ενστρώσεις τεφρού μεταψαμμίτη, στο βορειοδυτικό τμήμα του Σταθμού και έως την Χ.Θ. 2 + 200 km περίπου, σε μεγαλύτερο βάθος των 28 m οριακά στο δάπεδο και στα κατώτερα τμήματα των εκσκαφών. Ενώ ένα κανονικό ρήγμα διακόπτει την συνέχεια της κατώτερης ενότητας των αθηναϊκών σχιστολίθων προς νότο.

Η γεωτεχνική αξιολόγηση των παραμέτρων σχεδιασμού έφερε ως αποτέλεσμα και την σύνταξη τριών ιδεατών Γεωτεχνικών Τομών Σχεδιασμού (Τ.Σ.1, Τ.Σ.2 & Τ.Σ.3), οι οποίες είναι ικανές να καλύψουν όλο το φάσμα των αναμενόμενων γεωτεχνικών συνθηκών κατά μήκος του Σταθμού. Πιο συγκεκριμένα οι Γεωτεχνικές Τομές Σχεδιασμού συντάχθηκαν η κάθε μία με καθοριστική παράμετρο τα στρωματογραφικά στοιχεία του βόρειου, κεντρικού και νότιου τμήματος του Σταθμού αντίστοιχα για την πρώτη, δεύτερη και τρίτη τομή αντίστοιχα. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται σε απόσπασμα οριζοντιογραφίας, οι θέσεις των γεωτεχνικών τομών σχεδιασμού όπως επίσης και οι επιφάνειες επιρροής κάθε μίας στη διαστασιολόγηση του έργου ανοικτού ορύγματος.



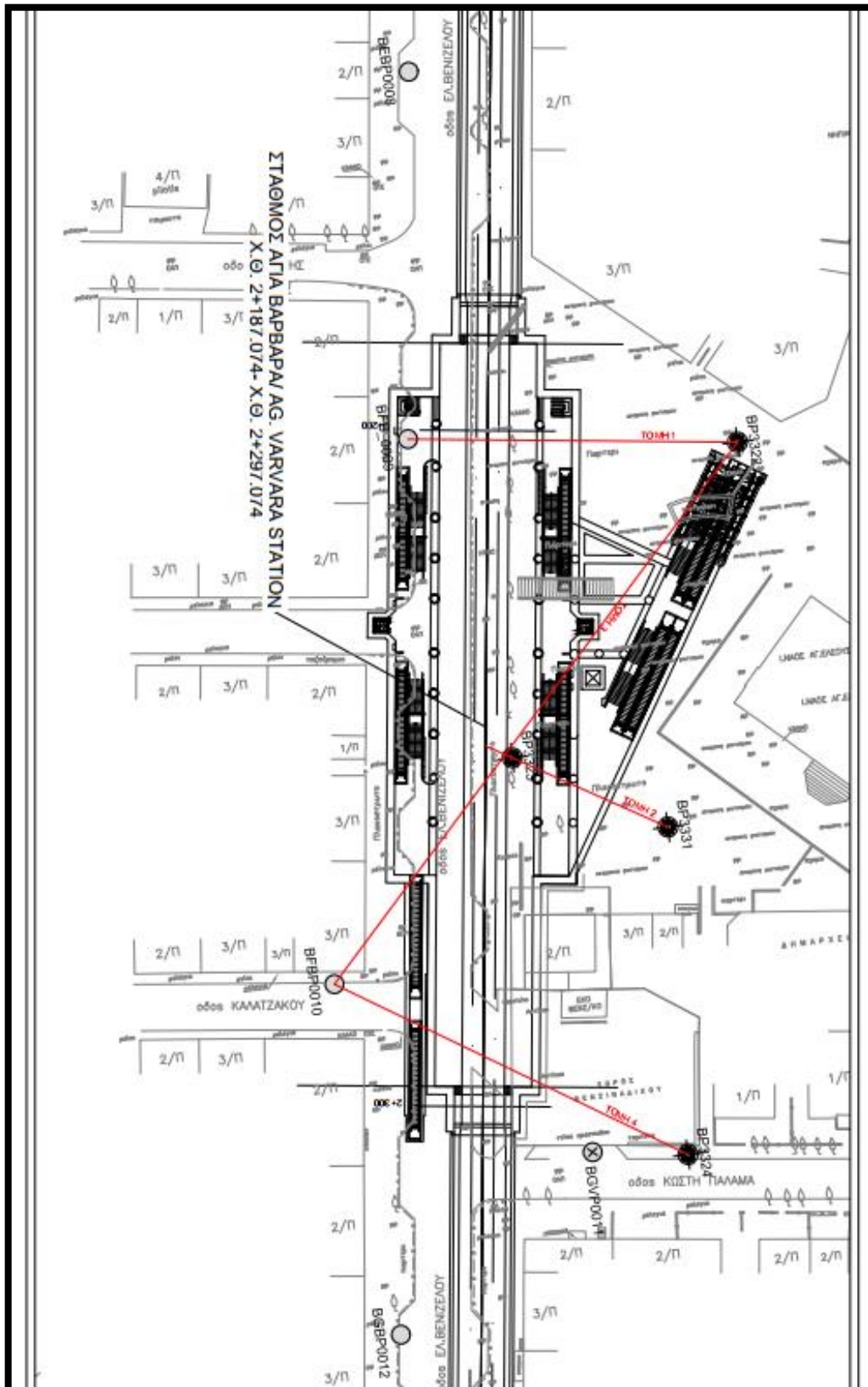
**Σχήμα 2.1** Σχηματική αναπαράσταση θέσεων ιδεατών γεωτεχνικών τομών σχεδιασμού σε οριζοντιογραφία και επιφανειών επιρροής τους, του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	
BP3322	BP= Υφιστάμενη δειγματοληπτική γεώτρηση με πιεζόμετρο.
BFB_0009	Δειγματοληπτική γεώτρηση της Συμπληρωματικής Γεωτεχνικής Έρευνας (ΣΓΕ).
BGV0011	Δειγματοληπτική γεώτρηση της Συμπληρωματικής Γεωτεχνικής Έρευνας (ΣΓΕ) ελέγχου ρύπανσης υδρογονανθράκων (στη γειτονία των πρατηρίων βενζίνης).
ΤΟΜΗ 1	Θέση σύνταξης γεωτεχνικής τομής.

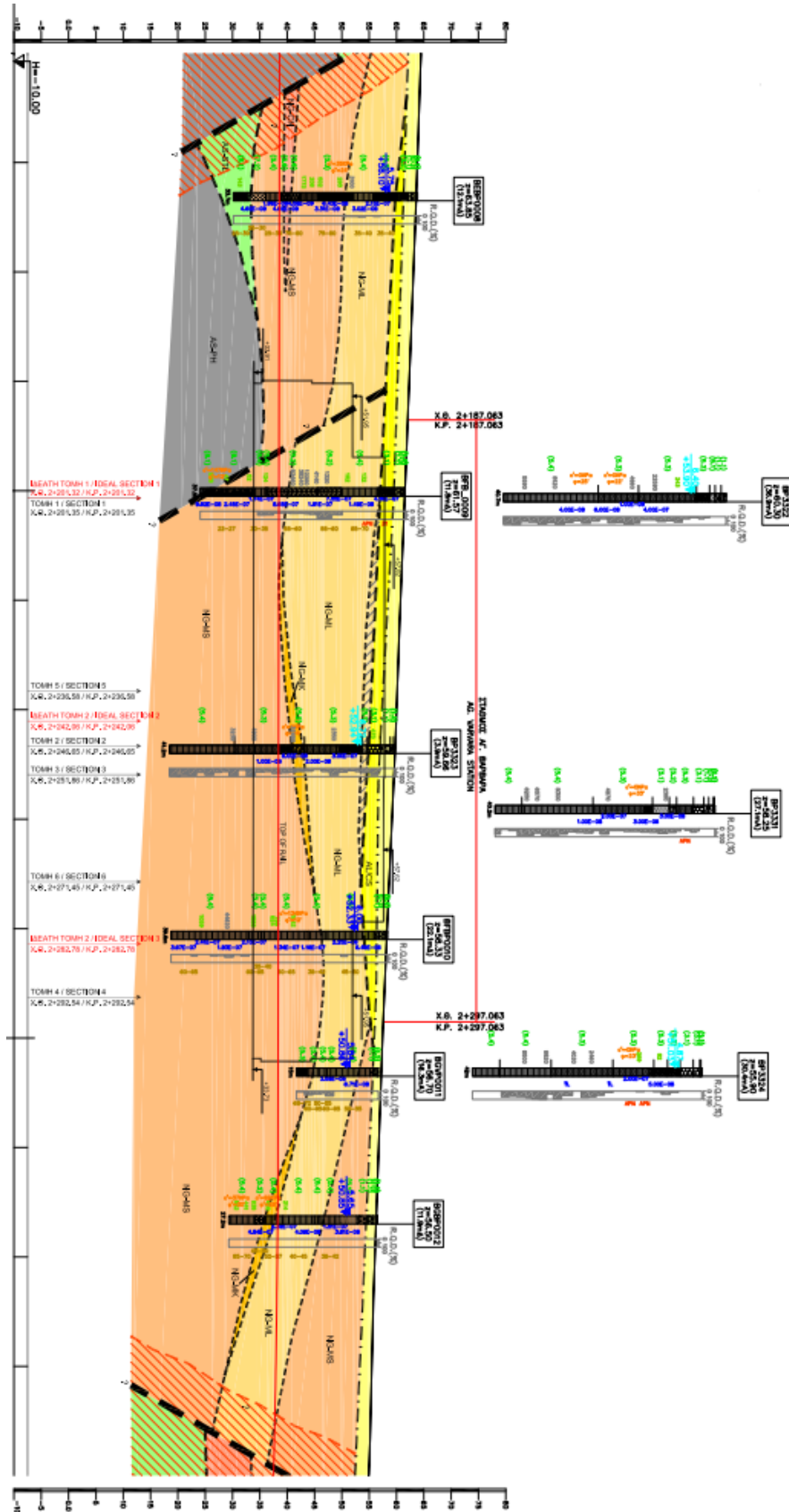
ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ			
Κωδ.	ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	Κωδ.	ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ
1	ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ - ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	1.1	Ποκίλης προέλευσης υλικά (αβιάρετα)
3	ΚΟΡΗΜΑΤΑ	3.1.	Κροκαλοπαγές, λατυποπαγές χαλαρό ή ασθενώς συσκαλλημένο
		3.2.	Κροκαλοπαγές, λατυποπαγές συσκαλλημένο
5	ΛΙΜΝΑΙΕΣ ΜΑΡΓΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	5.1.	Μανδιάς αποσάθρωσης μαργών, εξαλλοιωμένες ζώνες μαργών
		5.2.	Μαργακός ασβεστόλιθος
		5.3.	Μάργα (αργιλόλιθος ασβεστικός)
		5.4.	Λιούλιθος
		5.5.	Αργιλόλιθος
		5.6.	Κροκαλοπαγές, λατυποπαγές, ψηφιδωπαγές, χαλαρό ή ασθενώς συσκαλλημένο
		5.7.	Κροκαλοπαγές, λατυποπαγές, ψηφιδωπαγές, συσκαλλημένο
7	ΑΘΗΝΑΪΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ - ΑΝΩΤΕΡΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	7.1.	Μανδιάς αποσάθρωσης αθηναϊκού σχιστόλιθου
		7.2.	Μεταλιούλιθος
		7.3.	Μεταφωμίτης
		7.4.	Ασβεστικός μεταφωμίτης, ασβεστικός / ψαμμίτικος σχιστόλιθος
		7.5.	Εναλλαγές μεταφωμίτη, μεταλιούλιθου
		7.6.	Επιδοτικός, χλωριτικός, σερικτικός σχιστόλιθος
		7.7.	Ταλκικός σχιστόλιθος
8	ΑΘΗΝΑΪΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ - ΚΑΤΩΤΕΡΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	8.1.	Τεφρός μεταλιούλιθος, μελανός αργιλικός σχίστης
		8.2.	Εναλλαγές τεφρού μεταλιούλιθου και μελανού αργιλικού σχίστη με τεφρό μεταφωμίτη

**Υπόμνημα 2.1** Υπομνήματα γεωτεχνικών σχηματισμών και οριζοντιογραφίας του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓΙΑ ΒΑΡΑΒΑΡΑ, ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΜΗΚΟΤΟΜΗ της Αττικό Μετρό).

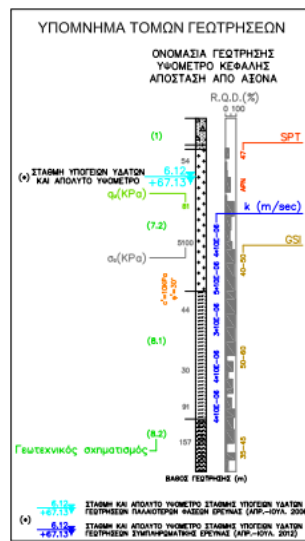




**Σχήμα 2.2** Σχηματική αναπαράσταση θέσεων γεωτεχνικών τομών σχεδιασμού και γεωτρήσεων σε οριζοντιογραφία του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓΙΑ ΒΑΡΒΑΡΑ, ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΜΗΚΟΤΟΜΗ της Αττικό Μετρό).



**Σχήμα 2.3** Σχηματική αναπαράσταση θέσεων γεωτρήσεων σε γεωτεχνική μηκοτομή του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓΙΑ ΒΑΡΑΒΑΡΑ, ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΜΗΚΟΤΟΜΗ της Αττικό Μετρό).

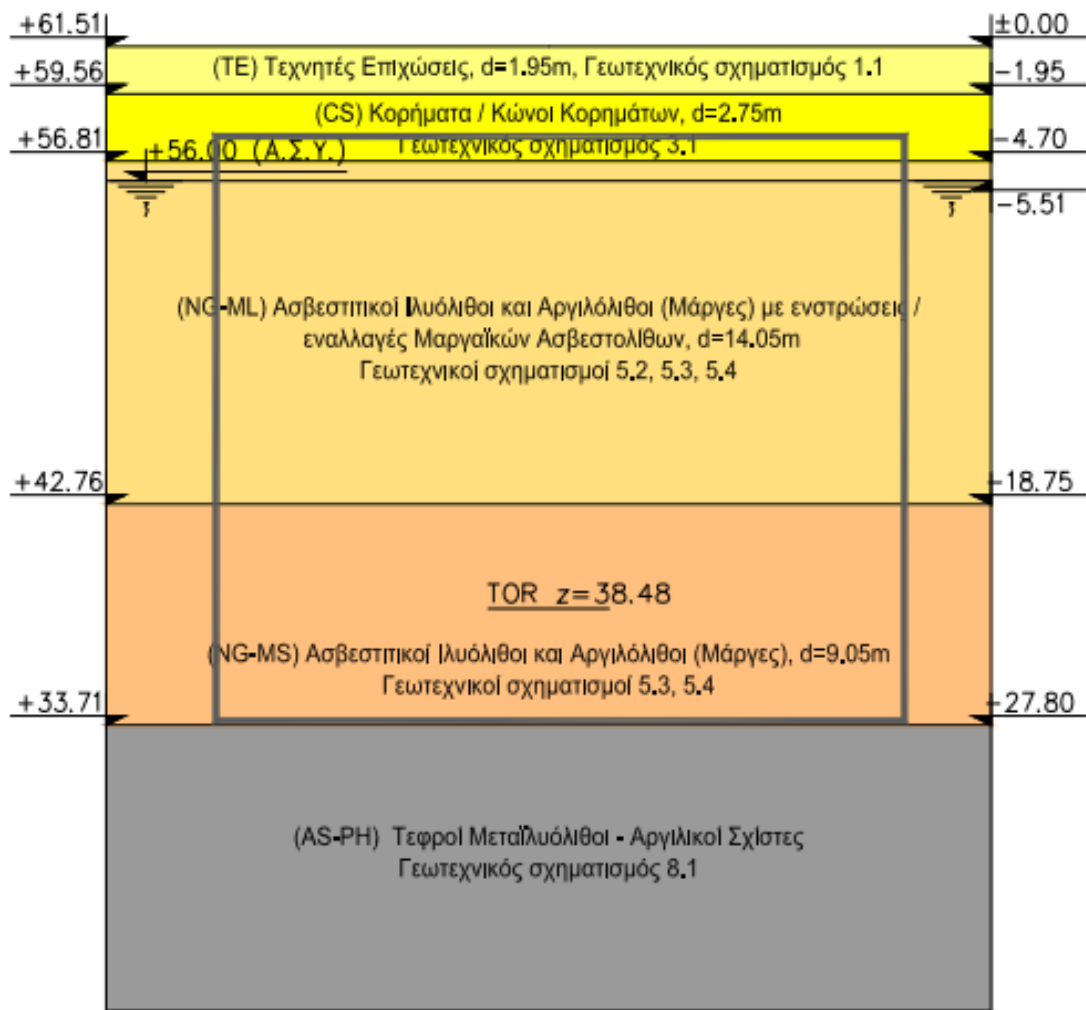


**Υπόμνημα 2.2** Υπομνήματα τεχνικογεωλογικών ενοτήτων και τομών γεωτρήσεων του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓΙΑ ΒΑΡΒΑΡΑ, ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΜΗΚΟΤΟΜΗ της Αττικό Μετρό).

Συνοπτικά παρατίθενται στα παρακάτω σχήματα οι Γεωτεχνικές Παράμετροι Σχεδιασμού ( $c'$ ,  $\phi'$ ,  $E$ ,  $k$ ,  $k_0$ ) όπως προέκυψαν από τις γεωτρήσεις και τις τρεις γεωτεχνικές τομές, και η ανώτερη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα.

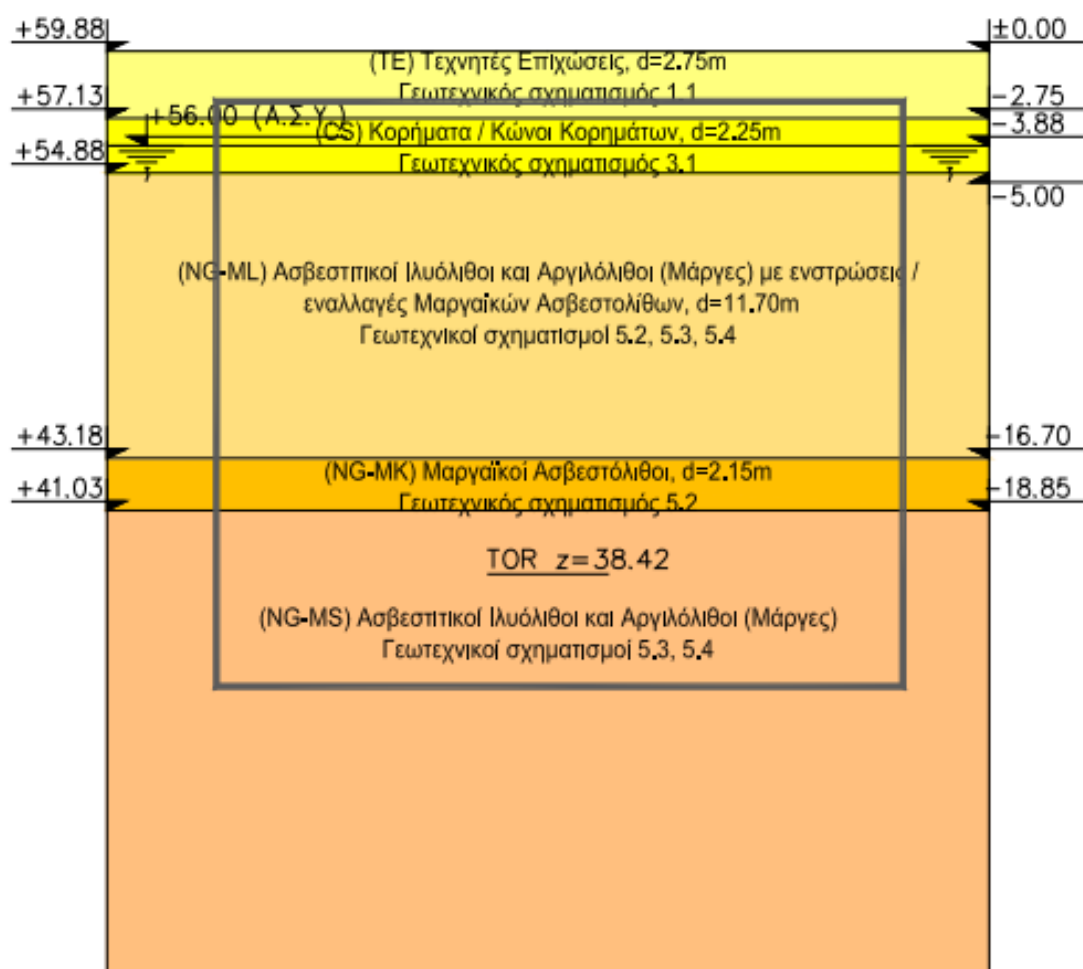
		$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$E$ (Mpa)	$E$ (μακροχρόνιο) (Mpa)	$\nu$	$K_0$
Τεχνητές Επιχώσεις	TE	21	10	30	40	32	0.30	0.45
Κορήματα	CS	21	20	30	50	40	0.30	0.45
Ασβεστικοί Ιλυόλιθοι και Αργιλόλιθοι (Μάργες) με ενστρώσεις/εναλλαγές Μαρμαϊκών Ασβεστολιθών	NG-ML	22	80	36	600	480	0.30	0.45
Ασβεστικοί Ιλυόλιθοι και Αργιλόλιθοι (Μάργες)	NG-MS	22	100	33	400	320	0.35	0.45
Μαρμαϊκοί Ασβεστόλιθοι	NG-MK	26	250	40	1885	1500	0.35	0.45
Τεφροί Μεταίλυοιλιθοί - Αργιλικό Σχίστες	AS-PH	21	40	30	250	200	0.30	0.45

**Πίνακας 2.1** Γεωτεχνικές παράμετροι εδαφικών υλικών του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).



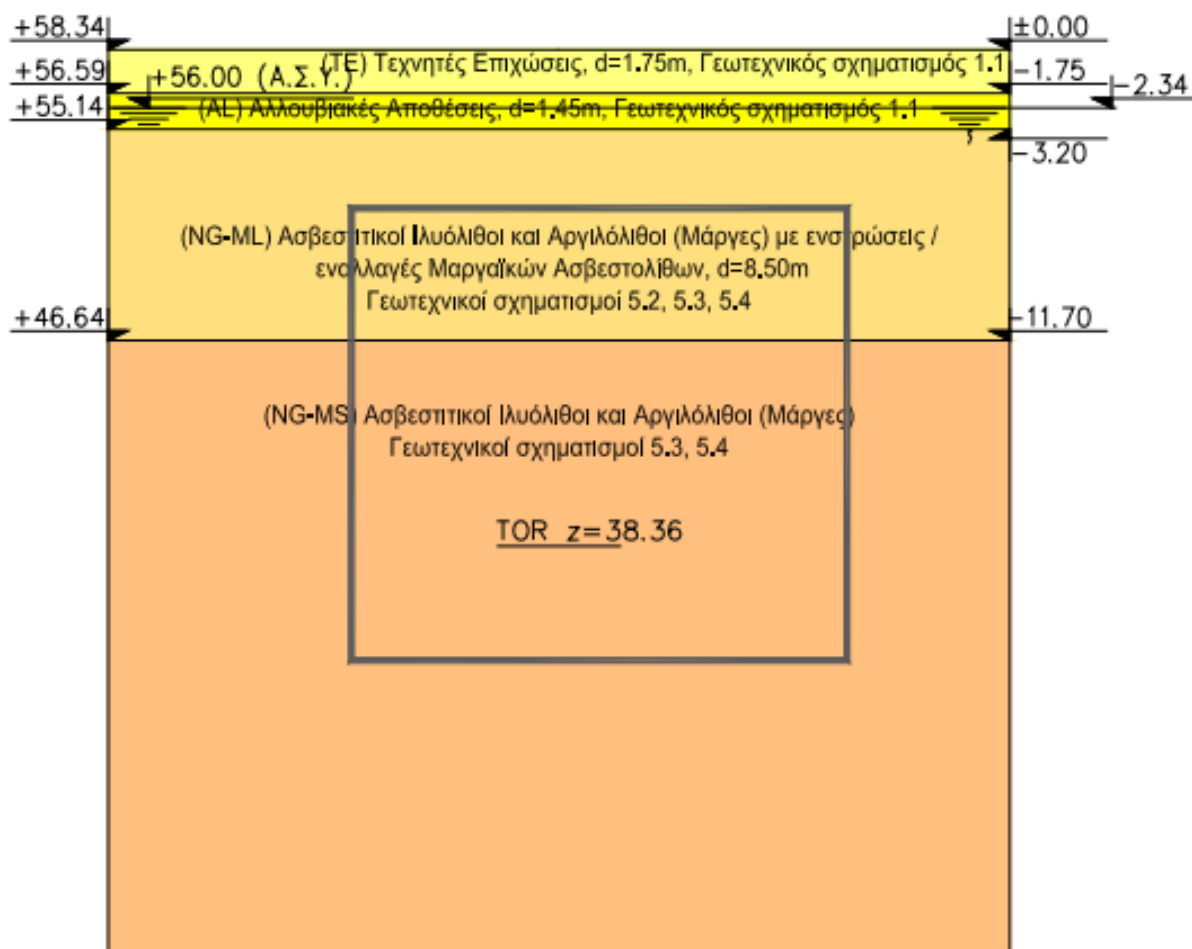
TE	CS	NG-ML	NG-MS	AS-PH
$\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$
$c' = 10 \text{ kPa}$	$c' = 20 \text{ kPa}$	$c' = 80 \text{ kPa}$	$c' = 100 \text{ kPa}$	$c' = 40 \text{ kPa}$
$\phi' = 30^\circ$	$\phi' = 30^\circ$	$\phi' = 36^\circ$	$\phi' = 33^\circ$	$\phi' = 30^\circ$
$E = 40 \text{ MPa}$	$E = 50 \text{ MPa}$	$E = 600 \text{ MPa}$	$E = 400 \text{ MPa}$	$E = 250 \text{ MPa}$
$\nu = 0.30$	$\nu = 0.30$	$\nu = 0.30$	$\nu = 0.35$	$\nu = 0.30$
$K_\alpha = 0.45 (0.35-0.50)$	$K_\alpha = 0.45 (0.35-0.50)$	$K_\alpha = 0.45 (0.35-0.50)$	$K_\alpha = 0.45 (0.35-0.50)$	$K_\alpha = 0.45 (0.35-0.50)$

**Σχήμα 2.4** Σχηματική αναπαράσταση στρωματογραφίας της Γεωτεχνικής Τομής Σχεδιασμού 1 και οι γεωτεχνικές παράμετροι αυτής του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).



TE	CS	NG-ML	NG-MK	NG-MS
$\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$
$c' = 10 \text{ kPa}$	$c' = 20 \text{ kPa}$	$c' = 80 \text{ kPa}$	$c' = 250 \text{ kPa}$	$c' = 100 \text{ kPa}$
$\Phi' = 30^\circ$	$\Phi' = 30^\circ$	$\Phi' = 36^\circ$	$\Phi' = 40^\circ$	$\Phi' = 33^\circ$
$E = 40 \text{ MPa}$	$E = 50 \text{ MPa}$	$E = 600 \text{ MPa}$	$E = 1885 \text{ MPa}$	$E = 400 \text{ MPa}$
$\nu = 0.30$	$\nu = 0.30$	$\nu = 0.30$	$\nu = 0.35$	$\nu = 0.35$
$K_o = 0.45 (0.35-0.50)$	$K_o = 0.45 (0.35-0.50)$	$K_o = 0.45 (0.35-0.50)$	$K_o = 0.45 (0.35-0.50)$	$K_o = 0.45 (0.35-0.50)$

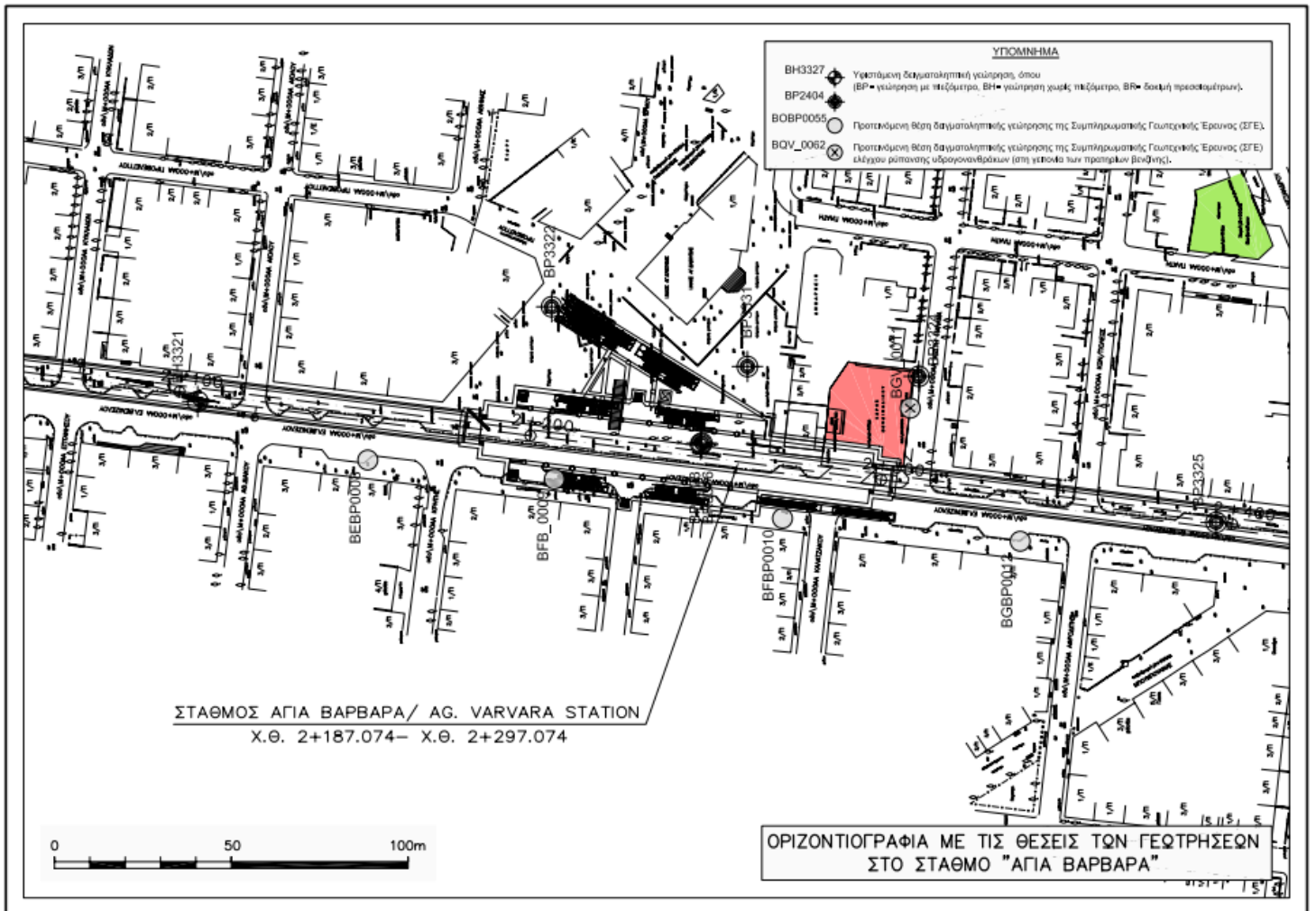
**Σχήμα 2.5** Σχηματική αναπαράσταση στρωματογραφίας της Γεωτεχνικής Τομής Σχεδιασμού 2 και οι γεωτεχνικές παράμετροι αυτής του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).



TE	CS	NG-ML	NG-MS
$\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$
$c' = 10 \text{ kPa}$	$c' = 20 \text{ kPa}$	$c' = 80 \text{ kPa}$	$c' = 100 \text{ kPa}$
$\phi' = 30^\circ$	$\phi' = 30^\circ$	$\phi' = 36^\circ$	$\phi' = 33^\circ$
$E = 40 \text{ MPa}$	$E = 50 \text{ MPa}$	$E = 600 \text{ MPa}$	$E = 400 \text{ MPa}$
$\nu = 0.30$	$\nu = 0.30$	$\nu = 0.30$	$\nu = 0.35$
$K_0 = 0.45 (0.35-0.50)$	$K_0 = 0.45 (0.35-0.50)$	$K_0 = 0.45 (0.35-0.50)$	$K_0 = 0.45 (0.35-0.50)$

**Σχήμα 2.6** Σχηματική αναπαράσταση στρωματογραφίας της Γεωτεχνικής Τομής Σχεδιασμού 3 και οι γεωτεχνικές παράμετροι αυτής του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).

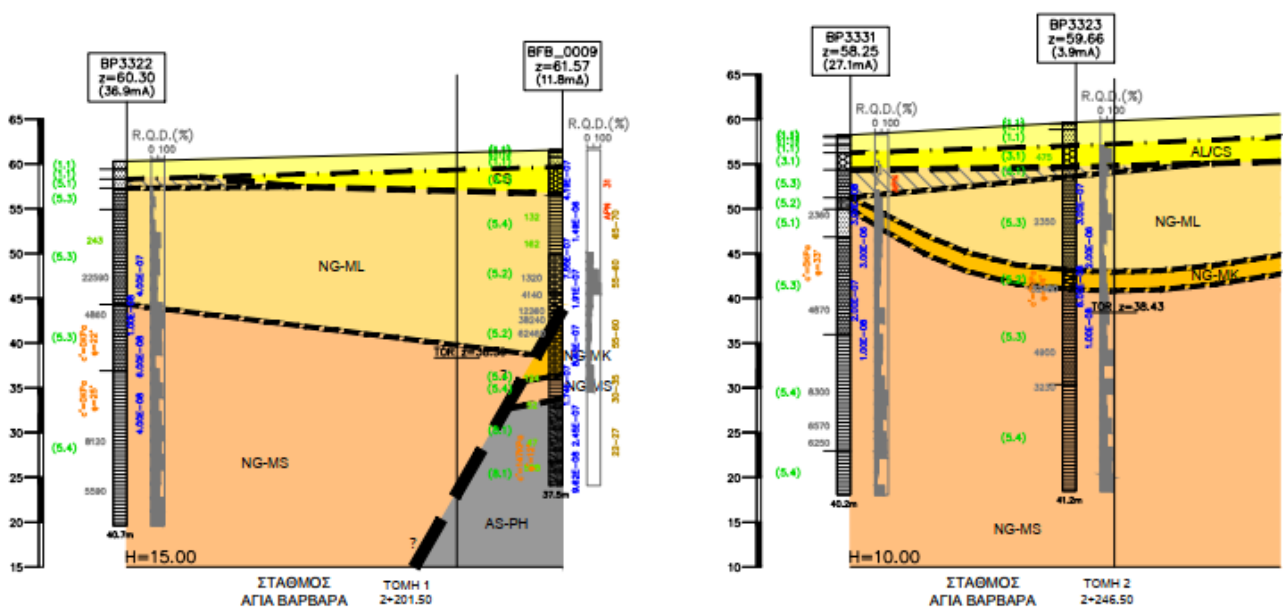
Πλέον των πέντε (5) γεωτρήσεων, εκ των οποίων η μία ήταν πρεσσιομετρική, στα πλαίσια σχεδιασμού της αντιστήριξης του σταθμού και λόγω ελλιπούς γεωτεχνικής πληροφορίας στο δυτικό τμήμα του σταθμού, πραγματοποιήθηκαν δύο (2) επιπλέον γεωτρήσεις εντός του σταθμού, δύο (2) κατά μήκος της σήραγγας πριν και μετά τον σταθμό και μία (1) πλησίον του σταθμού στα όρια του περιγράμματος πρατηρίου καυσίμων, στις θέσεις όπως παρουσιάζονται στην παρακάτω οριζοντιογραφία.



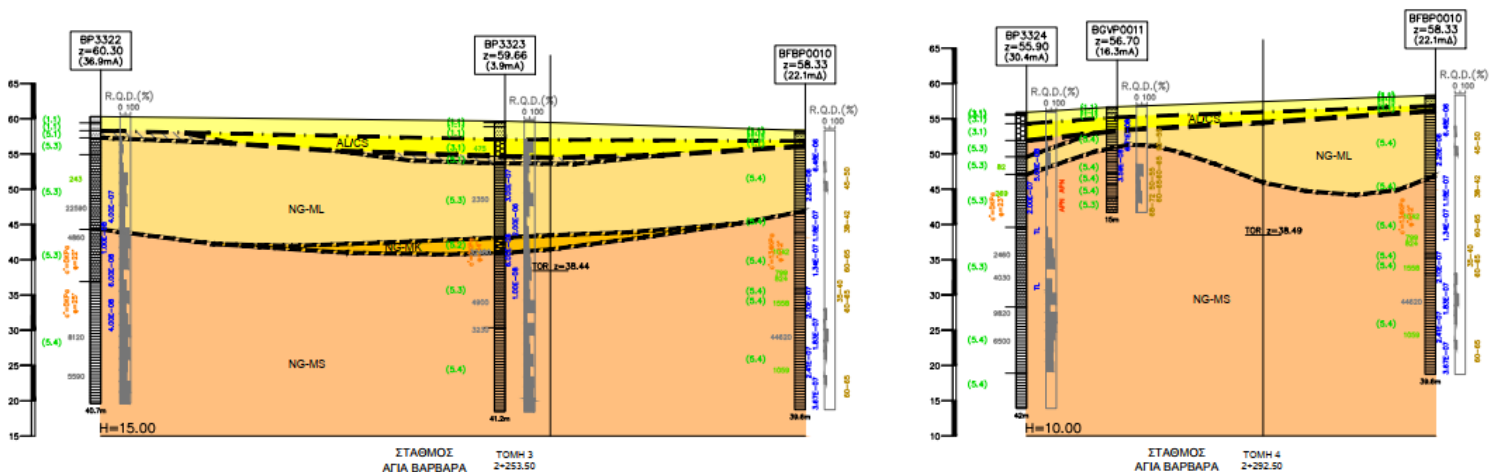
**Σχήμα 2.7** Οριζοντιογραφία απεικόνισης προτεινόμενων δύο επιπλέον γεωτρήσεων στην περιοχή του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Πρόγραμμα Συμπληρωματικής Γεωτεχνικής Έρευνας της Αττικό Μετρό).

Κωδικός Γεώτρησης	Χιλιομετρική Θέση	Βάθος Γεώτρησης (m)	Εγκατάσταση Οργάνου
BEBP0008	2+147,062	33,70	Πιεζόμετρο
BFB_0009	2+201,402	37,50	---
BFBP0010	2+282,153	39,60	Πιεζόμετρο
BGVF0011	2+306,726	15,00	Πιεζόμετρο
BGBP0012	2+333,937	27,20	Πιεζόμετρο
BP3322	2+201,513	40,70	Πιεζόμετρο
BP3323	2+248,450	41,20	Πιεζόμετρο
BP3324	2+306,976	42,00	Πιεζόμετρο
BP3331	2+258,541	40,20	Πιεζόμετρο

**Πίνακας 2.2** Στοιχεία συναξιολογούμενων γεωτρήσεων (πηγή: Πρόγραμμα Συμπληρωματικής Γεωτεχνικής Έρευνας της Αττικό Μετρό).



**Σχήμα 2.8** Γεωτεχνικές Τομές όπως προκύπτουν από την οριζοντιογραφία, Τομή 1 & 2 (πηγή: Πρόγραμμα Συμπληρωματικής Γεωτεχνικής Έρευνας της Αττικό Μετρό).



**Σχήμα 2.9** Γεωτεχνικές Τομές όπως προκύπτουν από την οριζοντιογραφία, Τομή 3 & 4 (πηγή: Πρόγραμμα Συμπληρωματικής Γεωτεχνικής Έρευνας της Αττικό Μετρό).

Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι η περιοχή ενδιαφέροντος όσο αναφορά την σεισμική επικινδυνότητα, ακολουθώντας το χάρτη ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΕΑΚ 2003), ανήκει στην ζώνη Ι, με σεισμική επιτάχυνση σχεδιασμού  $\alpha=0,16$  g.



## 2.3 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

### 2.3.1 Υδρολιθολογία – Διαπερατότητα Γεωτεχνικών Σχηματισμών

Τα δεδομένα επί τόπου δοκιμών διαπερατότητας που πραγματοποιήθηκαν (47 δοκιμές σε όλες τις φάσεις έρευνας), οι βιβλιογραφικές αναφορές και η εμπειρία από αντίστοιχες μελέτες που έγιναν στο παρελθόν σε άλλα τμήματα του Μετρό Αθήνας σε αντίστοιχες γεωλογικές συνθήκες, αξιοποιήθηκαν για τον σχολιασμό των υδρολιθολογικών χαρακτηριστικών των γεωλογικών ενοτήτων και γεωτεχνικών σχηματισμών και παρατίθενται παρακάτω.

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ $k$ (m/sec)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
$10^{-3} \leq k$	ΥΨΗΛΗ
$10^{-5} \leq k < 10^{-3}$	ΜΕΤΡΙΑ
$10^{-7} \leq k < 10^{-5}$	ΧΑΜΗΛΗ
$10^{-9} \leq k < 10^{-7}$	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ
$k < 10^{-9}$	ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ

**Πίνακας 2.3** Κατηγορίες συντελεστών διαπερατότητας κατά Terzaghi και Peck (πηγή: Πρόγραμμα Συμπληρωματικής Γεωτεχνικής Έρευνας της Αττικό Μετρό).

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή του έργου κατασκευής του Σταθμού Αγ. Βαρβάρας το κύριο γνώρισμα που παρουσιάζουν είναι η ετερογένεια όσο αναφορά την υδρογεωλογική συμπεριφορά των γεωλογικών ενοτήτων και σχηματισμών που υπάρχουν. Ο λόγος για τον οποίο εμφανίζεται αυτή η συμπεριφορά είναι η συμμετοχή σε κάθε γεωλογική ενότητα ποικίλων λιθολογικών φάσεων, οι οποίες παρουσιάζουν διαφορετικά υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά (αλληλουχία διαπερατών – αδιαπέρατων φάσεων) και διακύμανση αθροιστικού πάχους. Επιπλέον στους βραχώδεις σχηματισμούς καθοριστικό ρόλο έχει και ο βαθμός κερματισμού και αποσάθρωσης της βραχομάζας.

Συμπερασματικά, οι σχηματισμοί σε επίπεδο γεωλογικής ενότητας, εμφανίζουν υδραυλική ανισοτροπία και πιθανολογείται η διακύμανση της διαπερατότητας σε οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση από θέση σε θέση.

Συγκεκριμένα στα μαργαϊκά ιζήματα συναντώνται ποικίλες λιθολογικές φάσεις με διαφορετικά υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά. Η διαπερατότητα που αναμένεται να εμφανιστεί είναι χαμηλή έως πολύ χαμηλή ( $10^{-8} \leq k \leq 10^{-6}$  m/sec), μειούμενη σε σχέση με τις ασβεστολιθικές, κροκαλοπαγείς και ψαμμιτικές φάσεις ( $10^{-7} \leq k \leq 10^{-6}$  m/sec), προς αυτές των ασβεστολιθικών ιλυολίθων και αργιολίθων ( $10^{-8} \leq k \leq 10^{-7}$  m/sec) που επικρατούν. Η χαμηλότερη διαπερατότητα που εμφανίστηκε σε συμπαγείς αργιολίθους είναι της τάξης του  $10^{-9}$  m/sec και η μεγαλύτερη σε διακλασμένους μαργαϊκούς ασβεστολίθους και είναι της τάξης  $10^{-4}$  m/sec.

Στην ενότητα του αθηναϊκού σχιστολίθου και ιδίως στην κατώτερη ενότητα αυτού, όπου συναντώνται τεφροί μεταϊλύολιθοι – μελανοί αργιλικοί σχίστες, παρουσιάζεται επίσης πολύ χαμηλή διαπερατότητα ( $10^{-8} \leq k \leq 10^{-7}$  m/sec) και συναντήθηκε σε θέσεις, σε βάθος, στην προβλεπόμενη εκσκαφή του Σταθμού.

Τέλος, στους επιφανειακούς εδαφικούς σχηματισμούς των αλλουβιακών αποθέσεων και κώνων κορημάτων, η διαπερατότητα χαρακτηρίζεται χαμηλή, έως τοπικά μέτρια, σε συνάρτηση με το ποσοστό συμμετοχής του λεπτομερούς κλάσματος. Λόγω των υλικών αυτών και του αποσαθρωμένου μανδύα των μαργαϊκών σχηματισμών υπάρχει μικρή διαφοροποίηση στη διαπερατότητα με το βάθος, η οποία μειώνεται ελαφρώς και τελικά σταθεροποιείται τελικά σε βάθη μεγαλύτερα των 8 – 10 m.

Συνολικά θεωρείται στο σύνολο του έργου περιορισμένη κυκλοφορία του υπόγειου νερού.

### **2.3.2 Αξιολόγηση γεωχημικών παραμέτρων**

Για την αξιολόγηση των γεωχημικών παραμέτρων προκειμένου να εξεταστεί η ενδεχόμενη γεωχημική ρύπανση στην έκταση εκσκαφής της υπόγειας σήραγγας και σταθμού, πραγματοποιήθηκε δειγματοληπτική γεώτρηση, η οποία γειτνιάζει με πρατήριο καυσίμων, για να γίνει εκτίμηση της ύπαρξης περιβαλλοντικού κινδύνου.

Συγκεκριμένα οι συγκεντρώσεις πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs), από τις επί τόπου μετρήσεις σε τρεις άλλες δειγματοληπτικές γεωτρήσεις παρουσίασαν μηδενικές τιμές, ενώ σε αυτή πλησίον του πρατηρίου σε βάθος 5,85 m και όχι σε μικρότερα ή μεγαλύτερα βάθη, καταγράφηκε υψηλή τιμή συγκέντρωσης VOCs (370ppm) τοπικά όπως ήταν αναμενόμενο.

Οι τιμές Ολικών Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων (TPH) σε δείγματα υπόγειων νερών από την δειγματοληπτική γεώτρηση στα όρια του πρατηρίου κρίθηκαν σχετικά υψηλές ενώ εκ νέου δειγματοληψία από ανάπτυξη του πιεζόμετρου προσδιόρισε την τελική τιμή των 6,6 mg/lit (χαμηλότερη της προδιαγεγραμμένης οριακής τιμής). Οι αντίστοιχες τιμές TPH στα δείγματα εδάφους ήταν μικρότερες επίσης από την οριακή τιμή που προσδιορίζεται από την 33/2003/ΕΚ για τα αδρανή απόβλητα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΙΔΡΥΣΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΥ & ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ & ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

### 3.1 ΙΔΡΥΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

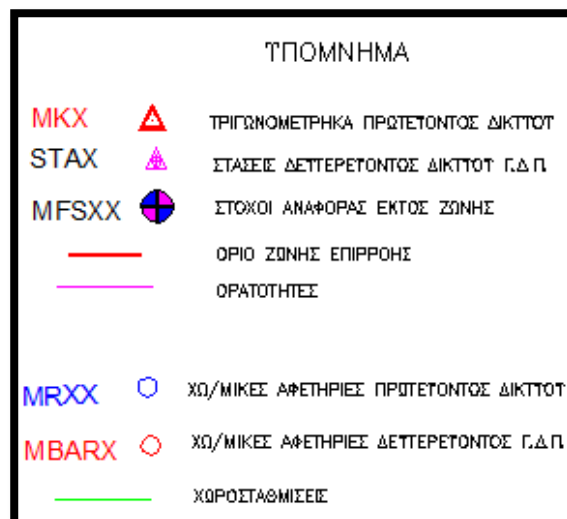
Για την ίδρυση του οριζοντιογραφικού δικτύου ελέγχου Γ.Δ.Π. (REFERENCES) στην περιοχή του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας, η οποία πραγματοποιήθηκε πριν την έναρξη οποιασδήποτε εργασίας εκσκαφής ή άλλης, χρησιμοποιήθηκαν σαν δεδομένα τα τριγωνομετρικά σημεία που προέκυψαν από την ίδρυση του βασικού (πρωτεύοντος) οριζοντιογραφικού και χωροσταθμικού δικτύου. Το πρωτεύον δίκτυο πραγματοποιήθηκε για την ανάδοχο κατασκευαστική εταιρεία όπως ορίζεται στα σχετικά άρθρα των Προδιαγραφών Μελετών Έργων Πολιτικού Μηχανικού. Ως γνωστά και σταθερά σημεία για την πύκνωση του πρωτεύοντος δικτύου χρησιμοποιήθηκαν τριγωνομετρικά σημεία και χωροσταθμικές αφετηρίες. Όσο αναφορά τα τριγωνομετρικά σημεία, έγινε χρήση γεωδαιτικών GPS για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων στις τρεις διαστάσεις. Με την καταγραφή συντεταγμένων θέσης διάρκειας μία ώρας και για το ίδιο χρονικό διάστημα αξιοποιώντας την καταγραφή θέσης σταθερών σταθμών αναφοράς του κρατικού δικτύου συστήματος αναφοράς πραγματοποιήθηκε εκ των υστέρων επίλυση (στατικός εντοπισμός). Από τα αποτελέσματα αυτής της επίλυσης, με την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων, προέκυψαν τριγωνομετρικά σημεία με ακρίβεια  $\pm 1$  mm οριζοντιογραφικά και  $\pm 2$  mm υψομετρικά. Οι θέσεις των references επιλέχθηκαν με κριτήριο την θέση της ζώνης επιρροής του έργου, την αμοιβαία ορατότητα, την μεγαλύτερη δυνατή σε εύρος ορατότητα των περιμετρικών της ζώνης επιρροής κτηριακών υποδομών και εγκαταστάσεων για την καλύτερη και ακριβέστερη παρακολούθηση των 3D μαρτύρων, και τέλος την καλύτερη δυνατή κατανομή τους σε όλη την έκταση του έργου. Όπως φαίνεται και στην οριζοντιογραφία με τις θέσεις των τριγωνομετρικών σημείων και αυτών που προέκυψαν από την πύκνωση του πρωτεύοντος δικτύου για την δημιουργία του δευτερεύοντος οριζοντιογραφικού δικτύου, αυτά βρίσκονται συνηθέστερα στα ψηλότερα κτήρια της περιοχής κατά μήκος και περιμετρικά της ζώνης επιρροής του έργου κατασκευής του Σταθμού.

Για την πύκνωση του πρωτεύοντος δικτύου έγινε, με την χρήση ρομποτικού γεωδαιτικού σταθμού ακρίβειας 1'' και  $\pm 1$ mm  $\pm 1$ ppm., χρήση 3 τριγωνομετρικών (MK03, MK04, MΔ01) του εγκεκριμένου (1ης και 2ης τάξης) δικτύου και η ίδρυση μίας στάσης, η STAG3, η οποία βρίσκεται εκτός ζώνης επιρροής. Συμπληρωματικά, με τη μέθοδο του Free Station, ιδρύθηκαν δύο βοηθητικές στάσεις (STAG1, STAG2) προκειμένου να τηρηθούν οι προδιαγραφές των μετρήσεων. Με χρήση των τριγωνομετρικών αλλά και των ιδρυμένων στάσεων μετρήθηκαν τα References ανάλογα με τις ορατότητες σε κάθε σημείο. Ιδρύθηκαν συνολικά εννιά σημεία αναφοράς και συγκεκριμένα τα (BFSA0001), (BFSA0002), (BFSA0003), (BFSA0004), (BFSA0005), (BFSA0006), (BFSA0007), (BFSA0008), (BFSA0009), και ακολούθησε η επίλυσή τους με την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων

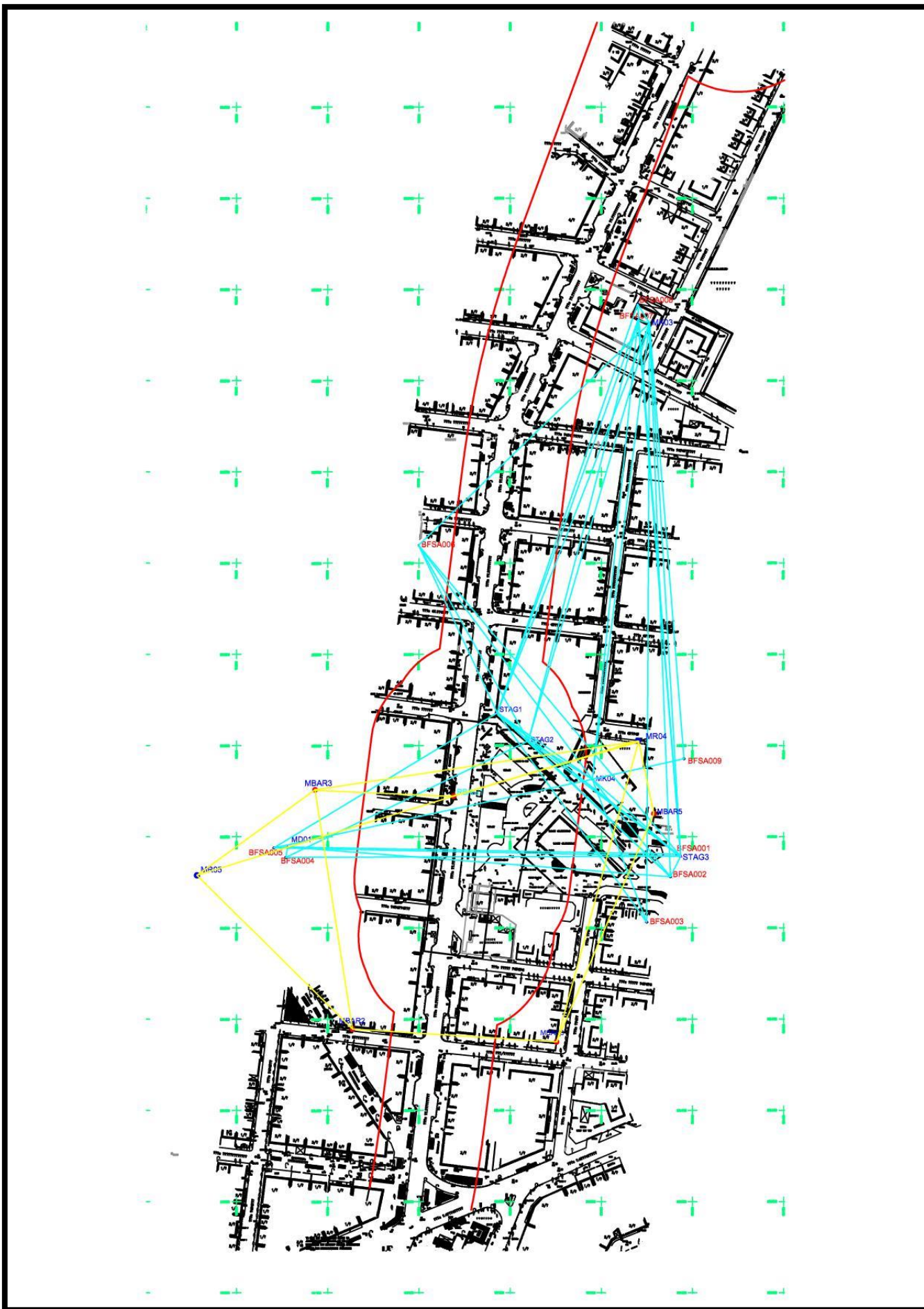
(Μ.Ε.Τ.) στο σύστημα OMA. Για όλες τις μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τέσσερις διαδοχικοί κύκλοι μετρήσεων εντός της ακρίβειας των 2 mm για τον προσδιορισμό της στάσης/θέσης του οργάνου η οποία γίνεται με τη μέθοδο της οπισθοτομίας. Τέλος προκειμένου να αποδοθεί η μέγιστη δυνατή ακρίβεια στο οριζοντιογραφικό δίκτυο και υψομετρικά έγινε εξάρτηση από ιδρυμένη βοηθητική υψομετρική αφετηρία (RBAG1) που προέκυψε από την πύκνωση του κύριου υψομετρικού δικτύου.

### 3.2 ΙΔΡΥΣΗ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η ίδρυση του υψομετρικού δικτύου Γ.Δ.Π. της περιοχή του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας πραγματοποιήθηκε με πύκνωση του πρωτεύοντος /δευτερεύοντος εγκεκριμένου υψομετρικού δικτύου (MR04-MR05) σε θέσεις εκτός ζώνης επιρροής και σε καίριες θέσεις εξυπηρέτησης των μετρήσεων των ακίδων παρακολούθησης, μέσω των χωροσταθμικών οδεύσεων. Το βασικό υψομετρικό δίκτυο προέκυψε με γεωμετρικές χωροσταθμίσεις σε μετάβαση και επιστροφή (ανοικτώς πλήρως εξαρτημένες στα δύο άκρα) με ακρίβεια  $\pm 1 \text{ mm/km}$ . Συνολικά ιδρύθηκαν, για το υψομετρικό δίκτυο της Γ.Δ.Π., τέσσερις υψομετρικές αφετηρίες (reper) (M2, M3, M5, M6) και μία βοηθητική (R1) για την εξάρτηση του δικτύου των 3D References. Όλα τα reper μετρήθηκαν με γεωμετρικές χωροσταθμίσεις (aller – retour), πλήρως εξαρτημένες από χωροσταθμικές αφετηρίες του βασικού υψομετρικού δικτύου και επιλύθηκαν με τη Μ.Ε.Τ.



**Υπόμνημα 3.1** Υπόμνημα Οριζοντιογραφίας Οριζοντιογραφικού και Υψομετρικού Δικτύου Γ.Δ..Π. του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Δικτύων Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).



**Σχήμα 3.1** Οριζοντιογραφία ιδρυθέντος οριζοντιογραφικού και υψομετρικού δικτύου Γ.Δ.Π. και μετρήσεων αυτών, του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Δικτύων Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

### 3.3 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ

Στον Σταθμό της Αγ. Βαρβάρας τοποθετήθηκαν έξι οριζόντια εκτασιόμετρα δύο ράβδων και τρία κατακόρυφα τριών έως πέντε ράβδων, οχτώ πιεζόμετρα ανοικτού τύπου, εννιά ρωγμόμετρα, σαράντα πέντε κυψέλες φορτίου, επτά αποκλισιόμετρα, δύο κλισιόμετρα και πραγματοποιούνταν χαρτογραφήσεις στα μέτωπα εκσκαφής όπως περιγράφονται στις ανάλογες προδιαγραφές. Οι θέσεις στις οποίες εγκαταστάθηκαν και πραγματοποιούνταν οι καταγραφές και οι μετρήσεις, ήταν καίριες για την όσο δυνατή καλύτερη παρακολούθηση της γεωλογίας της ζώνης επιρροής του Έργου. Το κάθε όργανο χρησιμοποιούταν για τις εξής λειτουργίες:

- Τα εκτασιόμετρα - οριζόντια και κατακόρυφα - τοποθετήθηκαν οριζόντια ή σε κατακόρυφες γεωτρήσεις προκειμένου να μετρηθούν οριζόντιες ή κάθετες σχετικές μετακινήσεις αντίστοιχα κατά μήκος των αγκυρίων ή των γεωτρήσεων.



**Εικόνα 3.1** Φωτογραφική τεκμηρίωση εκτασιόμετρου ράβδων του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

- Το πιεζόμετρο δίνει ένδειξη της μεταβολής της στάθμης του υπόγειου ύδατος σε σχέση με την στάθμη αναφοράς, η οποία έχει προσδιοριστεί από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν πριν την έναρξη οποιαδήποτε εργασίας.
- Το ρωγμόμετρο χρησιμοποιείται για την μέτρηση του ανοίγματος των ρωγμών, των αποκολλήσεων και των μεταθέσεων σε δομικά στοιχεία.
- Οι κυψέλες φορτίου, οι οποίες εγκαταστάθηκαν με την τοποθέτηση των αγκυρίων, διαθέτουν μετρητές των φορτίσεων στις αγκυρώσεις.

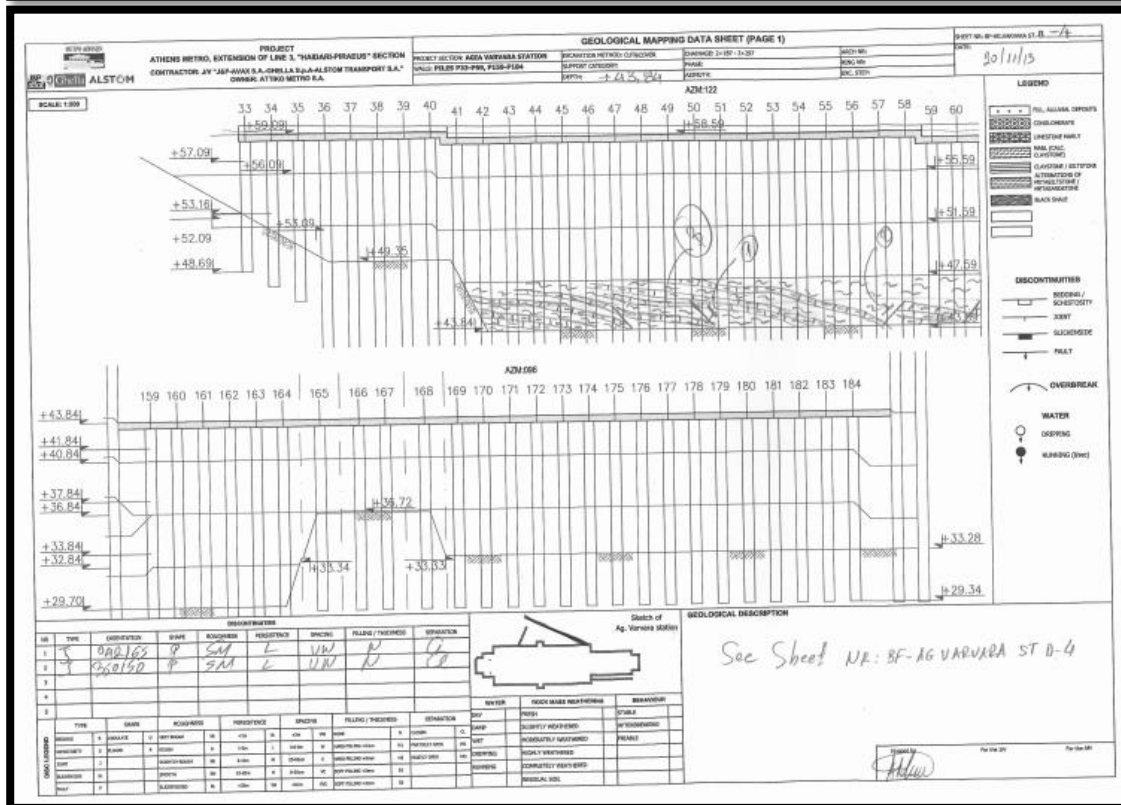
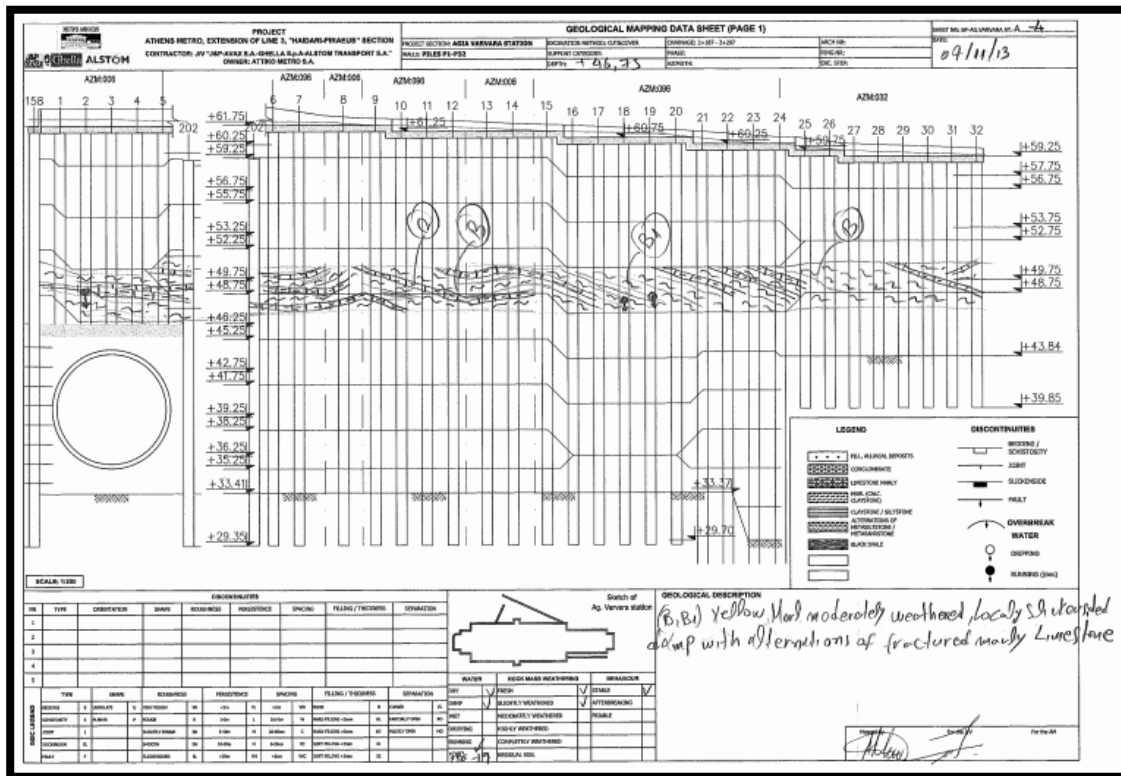
- Τα αποκλισιόμετρα τοποθετήθηκαν σε κατακόρυφες γεωτρήσεις και χρησιμοποιούνται για την μέτρηση οριζόντιων εδαφικών μετακινήσεων σε βάθος.



**Εικόνα 3.2** Φωτογραφική τεκμηρίωση κυψέλης φορτίου σε προεντεταμένο αγκύριο (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

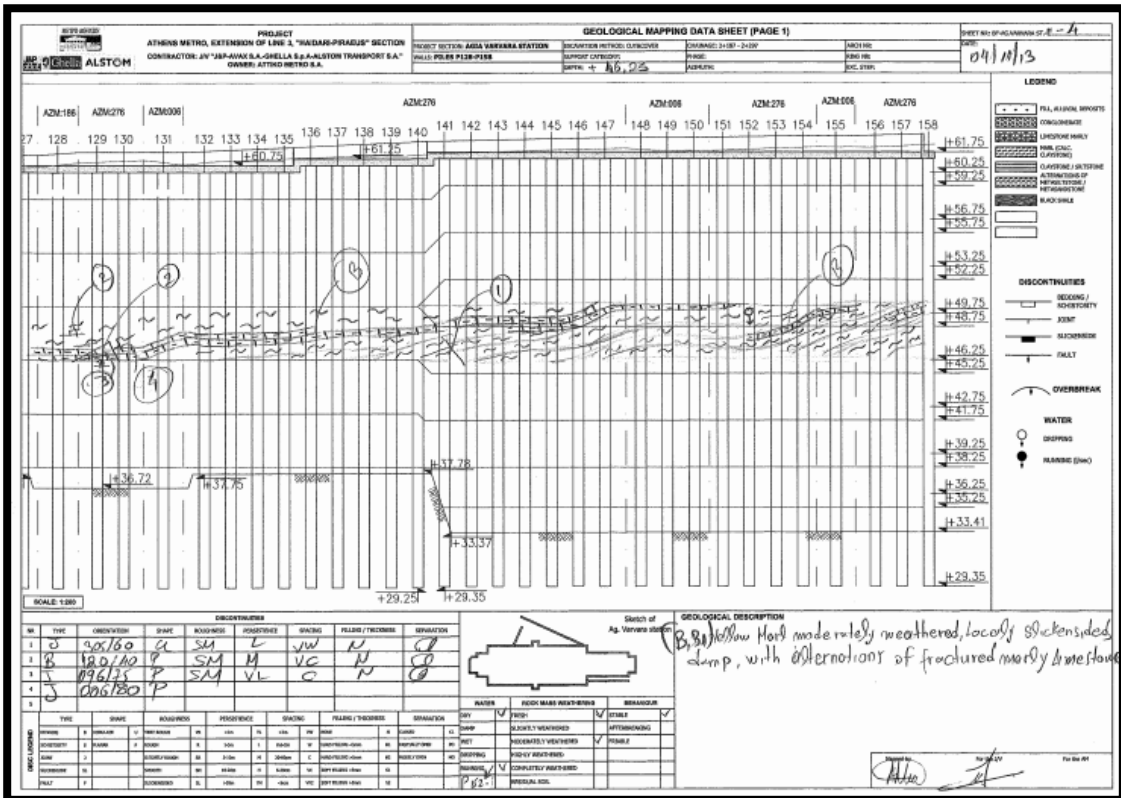
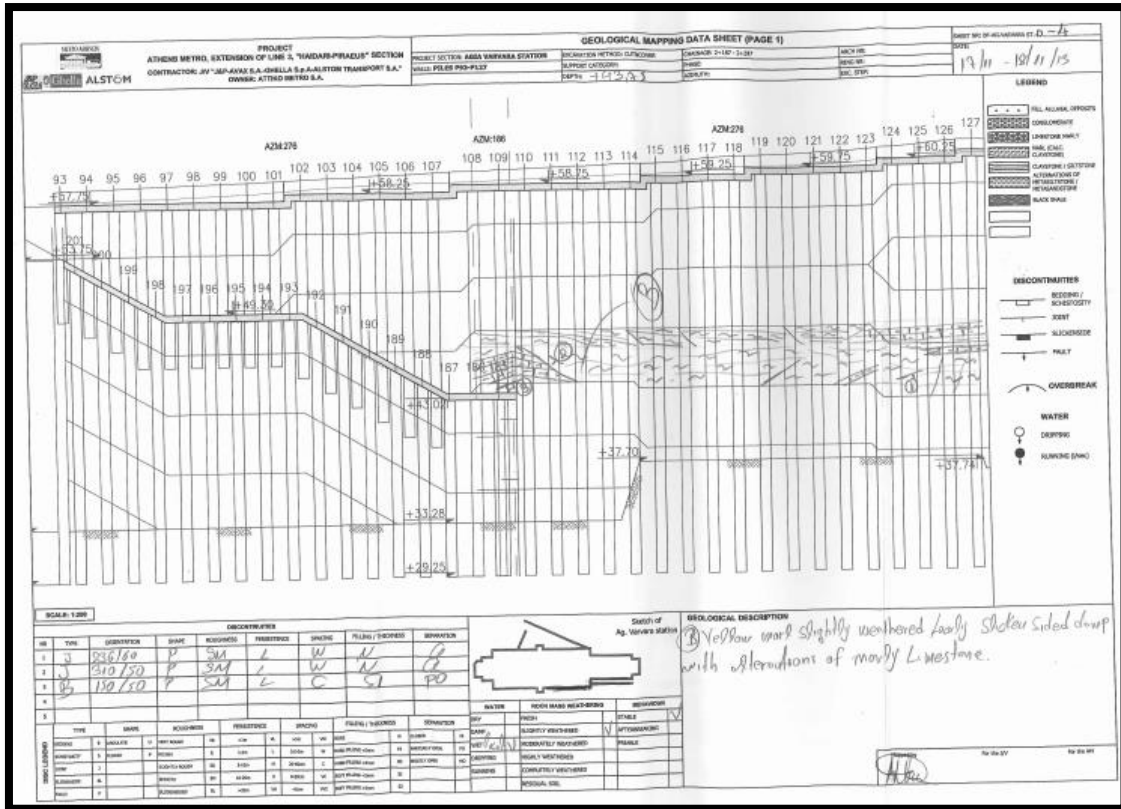
- Το κλισιόμετρο χρησιμοποιήθηκε για την παρακολούθηση αποκλίσεων δομικών στοιχείων κατασκευών.

Στα πλαίσια της γεωλογικής και γεωτεχνικής παρακολούθησης του έργου πραγματοποιούνταν τεχνικογεωλογικές χαρτογραφήσεις των μετώπων των υπόγειων έργων και των ανοιχτών εκσκαφών. Σκοπός των χαρτογραφήσεων αυτών είναι η αποτύπωση των γεωλογικών σχηματισμών και των ασυνεχειών επί των μετώπων εκσκαφής, οι περιγραφές των γεωλογικών σχηματισμών, η περιγραφή και αποτύπωση των τεκτονικών στοιχείων και των ασυνεχειών, ο προσδιορισμός των εισροών υπόγειου νερού, η συμπεριφορά των υλικών κατά την εκσκαφή και η ταξινόμηση της βραχομάζας. Σε κάθε χαρτογράφηση υπήρχαν γραμμές σάρωσης, κατά μήκος των οποίων περιγράφονται τα γεωλογικά στοιχεία των μετώπων που συναντήθηκαν κατά την διάρκεια εξέλιξης των υπόγειων εκσκαφών. Με τον τρόπο αυτό ήταν δυνατή η παρακολούθηση της γεωλογικής διαστρωμάτωσης και η επιβεβαίωση αυτής με την προβλεπόμενη από την μελέτη, καθοριστική για την καθοδήγηση της πορείας των εργασιών εκσκαφής αλλά και προσωρινής αντιστήριξης του έργου, και την ανταπόκριση και αλληλεπίδραση των κατασκευών με τα εντός ζώνης επιρροής κτήρια, υποδομές και έδαφος.



Σχήματα 3.2 και 3.3 Τεχνικογεωλογικές χαρτογραφήσεις τμήματος τοιχείων του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).





Σχήματα 3.4 και 3.5 Τεχνικογεωλογικές χαρτογραφήσεις τμήματος τοιχείων του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

**GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS** (Hoek and Marinos, 2000)  
From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.

STRUCTURE	DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES	DECREASING SURFACE QUALITY		
INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	N/A	N/A
BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces		
VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	70	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	50	51
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	60	POOR Stickered, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	40	30
DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	50	VERY POOR Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings	30	20
LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	40		20	10
	30		10	
	20			
	10			
	N/A			
	N/A			

Rock masses

A	B	B1
GSI Rating	49-53	43-49

Edited by For the JV For AM

**Πίνακας 3.1** Πίνακας ταξινόμησης βραχομάζας κατά GSI τοιχείων του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

GEOLOGICAL WORKS PHOTOGRAPHIC IMPRINT SHEET (page 4)

Sheet Nr: ΣΦ. ΑΓΙΑΣ ΒΑΡΒΑΡΑΣ 4



Photo Nr: 1

Comments: CALCAREOUS MUDSTONE (MARL) IN ALTERNATIONS WITH EARLY LIMESTONE (S) (P48-P50)



Photo Nr: 2

Comments: CALCAREOUS MUDSTONE (MARL) IN ALTERNATIONS WITH EARLY LIMESTONE (S) (P42-P52)

Taken by

For the J/V

For AM

**Εικόνα 3.3** Φωτογραφική τεκμηρίωση τεχνικογεωλογικών χαρτογραφήσεων τοιχείων του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

GEOLOGICAL WORKS PHOTOGRAPHIC IMPRINT SHEET (page 3)

Sheet Nr: 02\_AGIASVARVARA ST-4



Photo Nr: 1

Comments: CALCAREOUS MUDSTONE (MARL) IN ALTERNATIONS WITH MARLY LIMESTONE (B) (P13-P13B)



Photo Nr: 2

Comments: CALCAREOUS CLAYSTONE (B1) IN ALTERNATIONS WITH SILTSTONE (P10-P14)

Taken by

For the JV

For AM

Εικόνα 3.4 Φωτογραφική τεκμηρίωση τεχνικογεωλογικών χαρτογραφήσεων τοιχείων του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

### 3.4 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΤΗΣ Γ.Δ.Π.

Το συνεργείο του Ανάδοχου που ιδρύθηκε προκειμένου να εξυπηρετεί τις ανάγκες της Γ.Δ.Π. προέβη σε ένα σύνολο μελετών, ενεργειών, διαδικασιών και εργασιών, που απαιτούνται από τις συνθήκες κατασκευής του έργου (υπόγειο έργο σε αστικό περιβάλλον), με σκοπό την καταγραφή των επιπτώσεων και της συμπεριφοράς των κατασκευών, και την συνεισφορά στην αποτελεσματική υλοποίηση του Έργου με ασφάλεια και ποιότητα. Στα πλαίσια της Γ.Δ.Π. πραγματοποιείται ο σχεδιασμός, προμήθεια, εγκατάσταση, συντήρηση και χρήση οργάνων για την εκτέλεση, καταγραφή, εκτίμηση, αξιολόγηση, διαβίβαση και αναφορά των μετρήσεων των μετακινήσεων, παραμορφώσεων, τάσεων και άλλων παραμέτρων στη ζώνη επιρροής του Έργου και πέραν αυτής όποτε κρίνεται απαραίτητο. Το αντικείμενο της Γ.Δ.Π. μπορεί να χωριστεί στις εξής κατηγορίες ως προς τις αρμοδιότητες του.

« 1. Συμπεριφορά και απόκριση 'ελεύθερου πεδίου' (green field) κατά την κατασκευή των έργων.

2. Αλληλεπίδραση εδάφους/κτηρίων και κατασκευών του Έργου.

3. Εδαφικές συνθήκες. »

Συγκεκριμένα η Γ.Δ.Π. κατ' ελάχιστον, σύμφωνα με το Άρθρο 13 Γεωμηχανική και Δομητική Παρακολούθηση, καταγράφει τα εξής παρακάτω στοιχεία όπως αυτά αναφέρονται σε αυτό:

« • Μετακινήσεις κτηρίων και κατασκευών που βρίσκονται μέσα στην ζώνη επιρροής του Έργου ή και πέραν αυτής, περιλαμβάνοντας ολική και διαφορική κατακόρυφη μετακίνηση, μετακινήσεις σε τρεις διαστάσεις (3D), κλίση, κλπ.

- Μετακινήσεις της επιφάνειας του εδάφους (μετακινήσεις σε τρεις διαστάσεις (3D)).
- Μετακινήσεις στη ζώνη κάτω από την επιφάνεια του εδάφους που περιβάλλει το Έργο (οριζόντιες και κατακόρυφες).
- Συγκλίσεις και μετακινήσεις των προσωρινών και μόνιμων τοιχωμάτων των εκσκαφών, σηράγγων και κατασκευών.
- Μεταβολές πιέσεων του εδάφους και του υπογείου νερού. Τάσεις στα δομοστατικά στοιχεία του Έργου.
- Παραμορφώσεις στο έδαφος και στα δομοστατικά στοιχεία του Έργου ή την επένδυση των σηράγγων.
- Οριζόντιες παραμορφώσεις κάτω από τη στάθμη θεμελίωσης κτηρίων που βρίσκονται κοντά σε βαθιές ανοικτές εκσκαφές.
- Φορτία σε αγκυρώσεις και τάσεις αντηρίδων των προσωρινών αντιστηρίξεων.
- Μεταβολή ανοίγματος ρωγμών σε κτήρια και κατασκευές που βρίσκονται μέσα στην ζώνη επιρροής του Έργου ή και πέραν αυτής.
- Στάθμη υπογείων υδάτων.
- Εισροή υδάτων στις εκσκαφές και τα υπόγεια έργα.

- Διαρροή νερού σε ολοκληρωμένες με τελική επένδυση κατασκευές.
  - Μετεωρολογικά στοιχεία, όπως π.χ. θερμοκρασία, ατμοσφαιρική πίεση, υγρασία, ορατότητα και ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις κατά την διάρκεια λήψης των μετρήσεων.
  - Στοιχεία Παρακολούθησης TBM (TBM-Data Monitoring) και Παρακολούθηση Προϊόντων Εκσκαφής (Muck Control), όπως προσδιορίζονται στο άρθρο 02321 «Εκσκαφή Σηράγγων με TBM» του τεύχους Προδιαγραφές Υλικών και Εργασιών Έργων Π/Μ.
  - Στοιχεία προόδου των εκσκαφών και των δραστηριοτήτων κατασκευής του Έργου. »
- Τα δεδομένα που παρέχονται από την Γ.Δ.Π. είναι είτε σε πραγματικό χρόνο (real time monitoring) μέσω του Αυτοπονημένου Συστήματος Παρακολούθησης (Automated Monitoring System) και ταυτόχρονη ασύρματη μετάδοση των μετρήσεων στη Βάση Δεδομένων Γ.Δ.Π. είτε ημερησίως μετά το πέρας της συλλογής των μετρήσεων και επεξεργασία αυτών από το τοπογραφικό και των γεωλόγων συνεργεία.

### 3.5 ΟΡΙΑ ΕΠΙΦΥΛΑΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ

Στους παρακάτω πίνακες δίνονται οι περιοριστικές τιμές σχεδιασμού των Μελετών Εφαρμογής του Έργου και των Μελετών Ειδικής Τρωτότητας και Σχετικής Διακινδύνευσης Κτηρίων και Κατασκευών, καθώς και τα όρια άλλων παραμέτρων (όρια επιφυλακής και συναγερμού):

Μετρούμενη Παράμετρος	Κτήρια / κατασκευές	Ελεύθερο πεδίο, οδοί, πεζοδρόμια, δίκτυα Ο.Κ.Ω.	Προσωρινές αντιστηρίξεις ορυγμάτων Σταθμών και Φρεάτων
Συνολική κατακόρυφη μετακίνηση	Κτήρια: ~75% των πινών των πινάκων ΤΠ.5, ΤΠ.6 (άρθρο 5 παρόντος)	22mm	-
Γωνιακή παραμόρφωση	Κατασκευές: αντίστοιχα όρια ΜΕΣΤΔΙΚΚ (παρ. 5.8.7)	1:650	-
Οριζόντια παραμόρφωση <sup>(1)</sup>	Κτήρια: 0.10% Κατασκευές: αντίστοιχα όρια ΜΕΣΤΔΙΚΚ (παρ. 5.8.7)	-	-
Οριζόντια μετακίνηση	-	-	0.12% *H <sup>(2)</sup>
Ρυθμός μεταβολής ολικής καθίζησης <sup>(3)</sup>	2.0mm/ημέρα	3.0mm/ημέρα	-
Ρυθμός μεταβολής ανοίγματος ρωγμής <sup>(4)</sup>	0.5mm/ημέρα	-	0.5mm/ημέρα

**Πίνακας 3.2** Πίνακας ορίων επιφυλακής (πηγή: Προδιαγραφές Μελετών Έργων Πολιτικού Μηχανικού της Α.Μ.).

Μετρούμενη Παράμετρος	Κτήρια / κατασκευές	Ελεύθερο πεδίο, οδοί, πεζοδρόμια, δίκτυα Ο.Κ.Ω.	Προσωρινές αντιστηρίξεις ορυγμάτων Σταθμών και Φρεάτων
Συνολική κατακόρυφη μετακίνηση	Κτήρια: τιμές πινάκων ΤΠ.5, ΤΠ.6 (άρθρο 5 παρόντος) Κατασκευές: αντίστοιχα όρια ΜΕΣΤΔΙΚΚ (παρ. 5.8.7)	30mm	-
Γωνιακή παραμόρφωση		1:500	-
Οριζόντια παραμόρφωση <sup>(1)</sup>	Κτήρια: 0.15% Κατασκευές: αντίστοιχα όρια ΜΕΣΤΔΙΚΚ (παρ. 5.8.7)	-	-
Οριζόντια μετακίνηση	-	-	0.15%*H <sup>(2)</sup>
Ρυθμός μεταβολής ολικής καθίζησης <sup>(3)</sup>	3.0mm/ημέρα	4.0mm/ημέρα	-
Ρυθμός μεταβολής ανοίγματος ρωγμής <sup>(4)</sup>	1.0mm/ημέρα	-	1.0mm/ημέρα

Υποσημειώσεις για πίνακες 13.1 και 13.2

<sup>(1)</sup> Ειδικότερα για θεμελιώσεις κτηρίων που γεινιάζουν με βαθιές εκσκαφές και ανοικτά ορύγματα, cut & cover κλπ

<sup>(2)</sup> Όπου H: ύψος αντιστηριζόμενης εκσκαφής

<sup>(3)</sup> Ρυθμός μεταβολής για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των δύο (2) ημερών

<sup>(4)</sup> Για όλα τα κτήρια και τις κατασκευές της ζώνης επιρροής και τις κατασκευές του Έργου (σήραγγες, σταθμοί κλπ). Ρυθμός μεταβολής για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των δύο (2) ημερών

**Πίνακας 3.3** Πίνακας ορίων συναγερμού (πηγή: Προδιαγραφές Μελετών Έργων Πολιτικού Μηχανικού της Α.Μ.).

Στις υπερβάσεις ορίων επιφυλακής ή συναγερμού προβλέπεται να ενεργοποιηθεί το Σχέδιο Αντιμετώπισης Εκτάκτων Καταστάσεων (Σ.Α.Ε.Κ.) όπως και σε περιπτώσεις συμβάντων που δεν σχετίζονται υποχρεωτικά εκ των προτέρων ή άμεσα με τις μετρήσεις των οργάνων της Γ.Δ.Π. όπως για παράδειγμα η αιφνίδια αστοχία, οι υπερεκσκαφές, οι καταπτώσεις, η εμφάνιση ρωγμών ή βλαβών σε ίδιες ή και τρίτες κατασκευές, η αναφορά τρίτων για οχλήσεις και η εισροή υδάτων σε ίδιες ή και τρίτες κατασκευές.

## 3.6 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

### 3.6.1 Σύστημα Τρισδιάστατων Τοπογραφικών Μετρήσεων

Οι μετρήσεις τρισδιάστατων μετακινήσεων (3D) γίνονται προς ανακλαστήρες που είναι τοποθετημένοι σε κτήρια, σε κατασκευές και υποδομές του Έργου, επί του εδάφους και όπου αλλού απαιτείται. Οι μετρήσεις αυτές γίνονται με γεωδαιτικούς σταθμούς ακριβείας χρησιμοποιώντας την μέθοδο ελεύθερης στάσης (free station) και προσδιορίζοντας την θέση της στάσης με την μέθοδο της οπισθοτομίας. Οι τυποποιημένοι ανακλαστήρες επιτρέπουν ακρίβεια μετρήσεων  $\pm 1$  mm και στις τρεις διευθύνσεις και είναι τύπου διπλής όψης ή πρίσματα. Τα όργανα που χρησιμοποιούνται είναι γεωδαιτικοί σταθμοί ακρίβειας  $\pm 0.3$  mmgon ( $1''$ ) για τις γωνίες και  $\pm 2$  mm  $\pm 2$  ppm για τις αποστάσεις. Τα σταθερά σημεία αναφοράς που χρησιμοποιούνται είναι τουλάχιστον έξι του ιδρυθέντος οριζοντιογραφικού δικτύου. Οι τελικές συντεταγμένες των μαρτύρων/σημείων που παρακολουθούνται προκύπτουν με εκ των υστέρων επίλυση των μετρήσεων (μετρήσεις δύο φάσεων) με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων και διορθώνονται από τα σφάλματα λόγω διάθλασης, πίεσης και θερμοκρασίας. Η ακρίβεια των μετρήσεων ολικών μετακινήσεων για τον προσδιορισμό της ελεύθερης στάσης είναι  $\pm 2$  mm. Τέλος για την παρακολούθηση στην ζώνη επιρροής του έργου τις μετακινήσεις της επιφάνειας και των κτηρίων/κατασκευών κατά την εξέλιξη εργασιών διάνοιξης σηράγγων (εκσκαφή με ολομέτωπης κοπής μηχανήματα – TBM) ή εκσκαφής σταθμών, χρησιμοποιείται το αυτοματοποιημένο σύστημα τρισδιάστατων τοπογραφικών μετρήσεων (3D) πραγματικού χρόνου (real time).

### 3.6.2 Σύστημα Χωροσταθμικών Μετρήσεων

Οι μετρήσεις των χωροσταθμικών σημείων για τον προσδιορισμό κατακόρυφων μετακινήσεων γίνονται επί χωροσταθμικών ακίδων και ράβδων βαθιάς πάκτωσης ή ακίδων επαφής με αλουμινένια πλάκα ή γωνία, τοποθετημένα επί εδάφους, σε πεζοδρόμια, οδοστρώματα, κτήρια και κατασκευές και έχουν ακρίβεια 1 mm/km. Πραγματοποιούνται ανοικτές χωροσταθμικές οδεύσεις πλήρως εξαρτημένες από τα δύο άκρα των χωροσταθμικών αφετηριών του χωροσταθμικού δικτύου αναφοράς και τα όργανα μετρήσεων είναι ψηφιακοί χωροβάτες ακρίβειας  $\pm 0.3$  mm/km. Η καταγραφή των δεδομένων γίνεται ηλεκτρονικά στον χωροβάτη και ύστερα οι μετρήσεις μεταφέρονται και επεξεργάζονται σε συμβατό του οργάνου μέτρησης πρόγραμμα επεξεργασίας δεδομένων.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΤΡΟΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑΣ

### 4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η χωροθέτηση του σταθμού της Αγ. Βαρβάρας είναι ανάμεσα από την μία πλευρά της Λεωφόρου Ελ. Βενιζέλου και του Ιερού Ναού της Αγ. Ελεούσας. Προκειμένου να κατασκευαστεί ο σταθμός, πραγματοποιήθηκε αναδιαμόρφωση της λεωφόρου, των πεζοδρομίων και της πλατείας σύμφωνα με τα όσα ορίζονται στην οριστική μελέτη και την μελέτη εφαρμογής. (1). Συγκεκριμένα έγινε πλήρης αναδιαμόρφωση του κοινόχρηστου χώρου μπροστά από την εκκλησία. Η στεγασμένη είσοδος του σταθμού βρίσκεται επί της πλατείας όπως και ακάλυπτο άνοιγμα μήκους 16.50 m., από το οποίο επιτυγχάνεται ο φυσικός φωτισμός του σταθμού στο επίπεδο έκδοσης εισιτηρίων. Οι δύο άλλες εισοδοί του σταθμού κατασκευάστηκαν, η μία στη νοτιοδυτική άκρη του σταθμού προς την κατεύθυνση του Πειραιά και η δεύτερη στην βορειοδυτική πλευρά του σταθμού με κατεύθυνση την Αθήνα.

Ο Σταθμός ακολουθεί ευθύγραμμη χάραξη και η μέθοδος κατασκευής του είναι αυτή του ανοικτού ορύγματος στο τμήμα που καλύπτει η λεωφόρος Ελ. Βενιζέλου και σε μεγάλη έκταση ο κοινόχρηστος χώρος της πλατείας όπου βρίσκεται η Αγ. Ελεούσα. Τέλος απαιτήθηκε η απαλλοτρίωση τμήματος ιδιοκτησίας, που βρίσκεται στην συμβολή της λεωφόρου με την οδό Κ. Παλαμά, κτήριο με στεγασμένο στο ισόγειο πρατήριο υγρών καυσίμων, και τμήματος ιδιοκτησίας διώροφου κτηρίου στην συμβολή της λεωφόρου με την πλατεία. (2)

Σε τρία επίπεδα με σχεδόν ίδιο περίγραμμα διαχωρίζεται το κυρίως υπόγειο κτήριο του σταθμού, και σε ένα τέταρτο, στο οποίο εξυπηρετούνται οι μονάδες αερισμού και διέλευσης καλωδίων κάτω από τη στάθμη των αποβάθρων. Υψομετρική Αφετηρία ορίζεται η στάθμη: 0,00 = 62,12 m. Το κυρίως υπόγειο κτήριο του σταθμού, οι στάθμες στις οποίες μπορεί να διαχωριστεί, είναι οι εξής:

- Επίπεδο Σιδηροτροχιών (-4)
- Επίπεδο Αποβάθρων (-3)
- Επίπεδο Εκδόσεων Εισιτηρίων (-2)
- Επίπεδο Ηλεκτρομηχανολογικών Χώρων (-1)
- Επίπεδο Εισόδων Σταθμού, Οδού – Πλατείας (0) (4)

Σχεδόν όλες οι ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις βρίσκονται στο επίπεδο (-1) και συνδέονται με τα επίπεδα (-2) και (-3), το επίπεδο Εισόδων και με το κεντρικό κλιμακοστάσιο.

Η σύνδεση των ηλεκτρομηχανολογικών χώρων με τους κύριους χώρους του κοινού γίνεται με απευθείας σύνδεση ενώ με τον εξωτερικό χώρο μέσω των φρεάτων εξαερισμού. Στο επίπεδο (-2), εκτός του χώρου υποδοχής του κοινού, που αποτελεί και κατάληξη των τριών κεντρικών εισόδων - εξόδων, βρίσκονται και τα δύο φρεάτια εκτόνωσης/αερισμού με τον εξοπλισμό αερισμού των σηράγγων, τα οποία και οδηγούνται με απευθείας συνδέσεις προς τις σήραγγες που ακολουθούν παράλληλη πορεία με αυτή της κατασκευής του σταθμού και από τις δύο διευθύνσεις. (5)

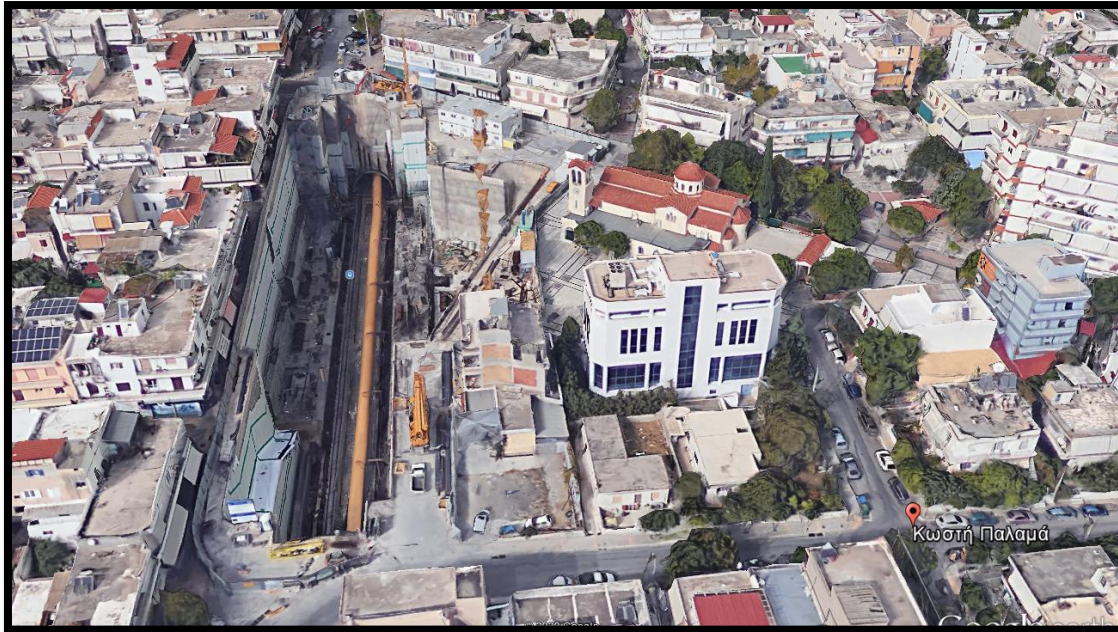
Τέλος στο επίπεδο (-3) βρίσκονται οι αποβάθρες και τα κλιμακοστάσια ανόδου και καθόδου με κατεύθυνση την στάθμη των εισιτηρίων, όπως και δύο βοηθητικά κλιμακοστάσια που συνδέουν όλα τα ανώτερα επίπεδα με τον εξωτερικό χώρο. (6)



**Εικόνα 4.1** Πρώτο στάδιο περίφραξης εργοταξίου για την έκβαση εργασιών εκσκαφής, 27/08/2012 (πηγή: πρόγραμμα Google earth).



**Εικόνα 4.2** Τελικό στάδιο περίφραξης εργοταξίου για την έκβαση εργασιών εκσκαφής - κατασκευής, 13/04/2013 (πηγή: πρόγραμμα Google earth).



**Εικόνα 4.3** Πρόοδος εργασιών μόνιμης στήριξης – επένδυσης σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: πρόγραμμα Google earth).

## **4.2 ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΚΑΙ ΜΟΝΙΜΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ**

### **4.2.1 Εκσκαφή και προσωρινή αντιστήριξη**

Η μελέτη εφαρμογής εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης βάσει της οποίας έγιναν οι καθορισμένες εργασίες, αποσκοπούσε στην διαστασιολόγηση των απαιτούμενων έργων αντιστήριξης με τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλίζεται η ασφάλεια της ίδιας της κατασκευής αλλά και των γειτονικών σε αυτή κατασκευών, και η εξασφάλιση τήρησης των επιτρεπτών ορίων των παραμορφώσεων.

Ο Σταθμός της Αγ. Βαρβάρας ακολουθεί ευθύγραμμο μήκος χάραξης και έχει μήκος αποβάθρων 110 m. Είναι χωροθετημένος μεταξύ των Χ.Θ. 2 + 187,063 έως Χ.Θ. 2 + 297,063. Όσο αναφορά τα εξωτερικά όρια της μόνιμης κατασκευής αυτά βρίσκονται μεταξύ της Χ.Θ. 2 + 179,86 και της Χ.Θ. 2 + 304,26 περίπου. Ενσωματώθηκαν ακόμα σε αυτόν δύο φρέατα εκτόνωσης/αερισμού. Η μέθοδος με την οποία θα κατασκευαστεί ο σταθμός είναι αυτή του ανοικτού ορύγματος (cut & cover) ή μέθοδος εκσκαφής και επανεπίχωσης. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του κυρίως υπογείου κτηρίου, το «κουτί» του Σταθμού, και των εισόδων – εξόδων, που υλοποιήθηκαν στα πεζοδρόμια επί της λεωφόρου Ελ. Βενιζέλου και επί της πλατείας του Ι. Ν. της Αγ. Ελεούσας.

Η στάθμη της γενικής εκσκαφής του σταθμού κυμάνθηκε σε ένα εύρος βάθους κάτω από την πριν την εκσκαφή επιφάνεια του εδάφους, μεταξύ των 24,20 m (υψόμετρο + 33,22 m) και 29,00 m (υψόμετρο + 33,42 m). Η μεταβολή αυτή των βαθών εκσκαφής οφείλεται στην μηκοτομική κλίση της χάραξης της σήραγγας του Μετρό στην θέση που βρίσκεται

ο σταθμός. Επιπλέον, υπήρξαν και τμήματα που απαιτήθηκε εκσκαφή σε μεγαλύτερα ή μικρότερα βάθη. (7)

Συγκεκριμένα στη θέση όπου βρίσκονται τα αντλιοστάσια τοπικά, η στάθμη εκσκαφής έφτασε σε βάθος 30,70 m, (υψόμετρο + 29,70 m). Αρκετά μικρότερα βάθη εκσκαφής απαιτήθηκαν για την κατασκευή των προσβάσεων που βρίσκονται εκτός του περιγράμματος της εκσκαφής του κυρίως Σταθμού. Η εκτίμηση του βάθους τους (22,20 m, 14,90 m, 8,90 m) έγινε με προσεγγιστική μέθοδο, με καθοριστικές τις στάθμες του εδάφους της βόρειας πλευράς και της νότιας, η οποία λόγω κλίσης εδάφους επέβαλλε μεταβαλλόμενη μείωση του βάθους εκσκαφής. Στα διάφορα αυτά διαμορφωμένα επίπεδα μέχρι την τελικά προβλεπόμενη στάθμη, η εκσκαφή πραγματοποιήθηκε με τη δημιουργία τεχνητών πρανών ή χρησιμοποιώντας σύστημα αντιστήριξης σε χαμηλότερη στάθμη.

Το μέσο προσωρινής αντιστήριξης αποτέλεσαν τα προσωρινά πρανή, τα οποία διαμορφώθηκαν κατακόρυφα λόγω της απαίτησης για προσωρινή αντιστήριξη που επέβαλε η οικιστική ανάπτυξη της περιοχής. Το είδος προσωρινής αντιστήριξης που εφαρμόστηκε, ήταν αυτό των εύκαμπτων τοίχων, τύπου προβόλου, οι οποίοι αποτελούνταν από:

1. Κατακόρυφα στοιχεία, συγκεκριμένα έγχυτους φρεατοπασσάλους διαμέτρου 0,80 m οπλισμένου σκυροδέματος με δοκό κεφαλόδεσμο, οι οποίοι κατασκευάστηκαν πριν την έναρξη των εκσκαφών, στην περίμετρο που καθορίστηκε από την έκταση του σκάμματος, σε απόσταση 2,00 m μεταξύ τους.
2. Σύστημα ανάληψης οριζόντιων φορτίων, το οποίο αποτελούνταν από προεντεταμένες αγκυρώσεις ή/και μεταλλικές αντηρίδες που εφαρμόστηκαν σε διάφορες στάθμες μέχρι και το προβλεπόμενο βάθος εκσκαφής.
3. Εκτοξευμένο σκυρόδεμα ελάχιστου πάχους 10 cm (shotcrete) στις περιοχές μεταξύ των κατακόρυφων πασσάλων που αποκαλύπτονταν στην πορεία των εκσκαφών σε φάσεις. Επίσης έγινε πρόβλεψη για την κατασκευή οπών αποστράγγισης/αποτόνωσης των πλευρικών υδάτων του σκάμματος μεταξύ των πασσάλων.

Η προσωρινή αντιστήριξη, συγκεκριμένα για το τμήμα των εκσκαφών του βόρειου και νότιου μετώπου του σταθμού, από όπου και πραγματοποιήθηκε η πορεία εκσκαφής του TBM ακολούθησε τις εξής προδιαγραφές:

- Μέχρι την στάθμη εκσκαφής σε βάθος 17 m και 12 m για το βόρειο και νότιο μέτωπο αντίστοιχα, η αντιστήριξη υλοποιήθηκε με πασσάλους, αγκύρια και πέτασμα εκτοξευμένου σκυροδέματος, όπως περιεγράφηκε και παραπάνω. Η διακοπή των πασσάλων των μετώπων του σταθμού στην τομή τους με την σήραγγα διέλευσης του TBM, τους καθιστούσε αναρτημένους από τον κεφαλόδεσμο. Η απόληξη των πασσάλων αυτών συνδέθηκε σε μία ενιαία δοκό οπλισμένου σκυροδέματος μεγάλης ακαμψίας.

- Για το τελευταίο τμήμα, βάθους 29 m και 24 m για το βόρειο και νότιο τμήμα αντίστοιχα, χρησιμοποιήθηκε ινοπλισμένο εκτοξευμένο σκυρόδεμα και ηλώσεις υαλοϊνών (fiberglass, μέθοδος Soft – Eye) προκειμένου να επιτευχθεί προσωρινή αντιστήριξη. Με αυτό τον τρόπο πραγματοποιήθηκε ανεμπόδιστα η διέλευση του TBM στην δεδομένη φάση κατασκευής.

Για το τεχνητό πρανές το οποίο διαμορφώθηκε στις περιοχές εντός του κυρίως σκάμματος, στο εσωτερικό του ορύγματος, λόγω μεταβολής των βαθών εκσκαφής έγινε πρόβλεψη ενίσχυσης της ευστάθειας με παθητικά αγκύρια και τα πρανή επενδύθηκαν με εκτοξευμένο σκυρόδεμα, σπλισμένο με δομικά πλέγματα.

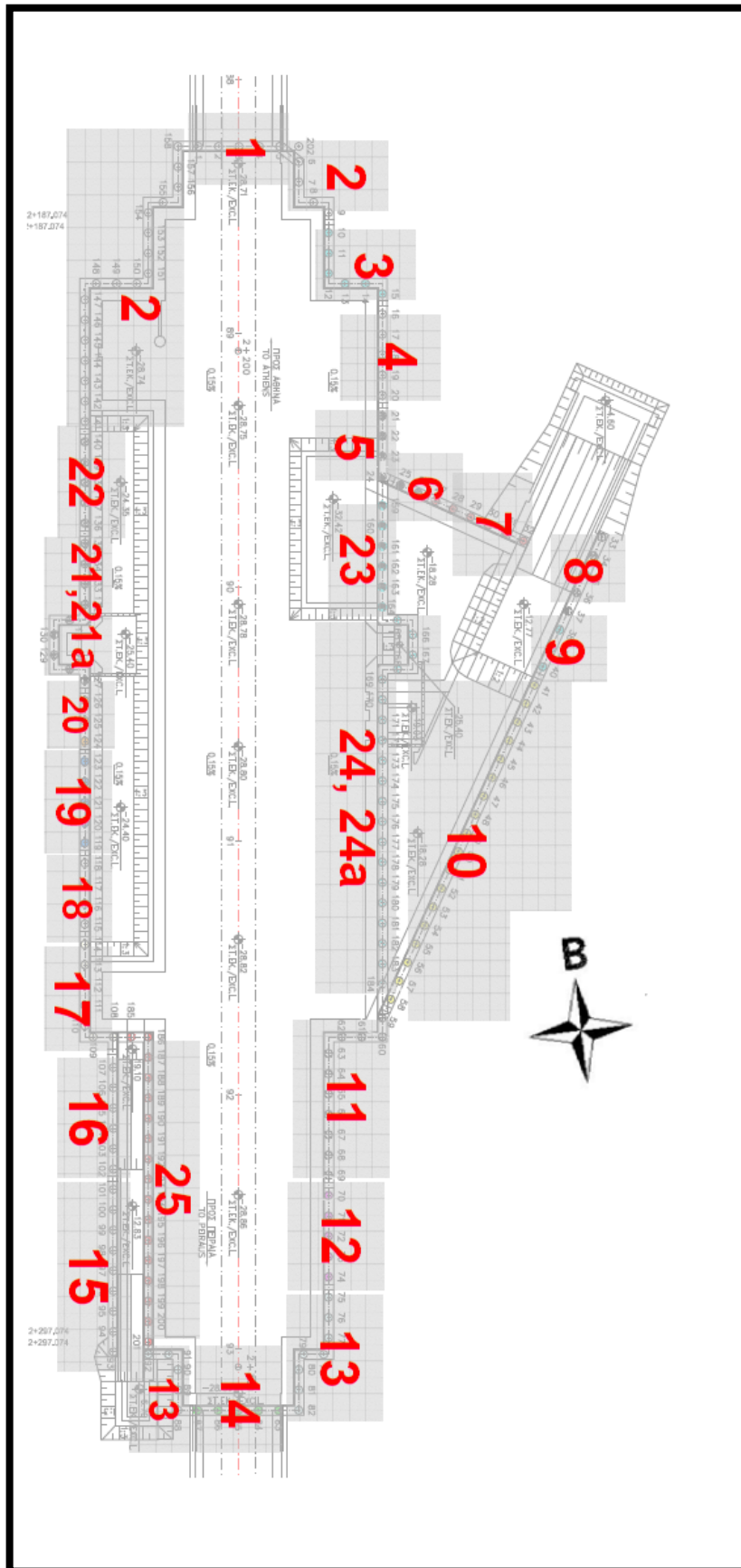
Όσο αναφορά την κατασκευή των πασσαλότοιχων το ανάπτυγμα τους έχει συνολικά μήκος 415 m περίπου.

Ο διαχωρισμός των πασσαλότοιχων σε ομάδες έγινε ανάλογα με το ύψος του πρανούς που αντιστήριζαν, το ύψος των πασσάλων, τον τρόπο ανάληψης των φορτίων και την στάθμη στην οποία κατασκευάστηκε ο κεφαλόδεσμος. Συγκεκριμένα οι κεφαλόδεσμοι με ύψος 0,50 m σκυροδετήθηκαν σε μέγιστο βάθος 1,00 m από την στάθμη της υπάρχουσας επιφάνειας εδάφους πριν την εκσκαφή, η οποία κυμαίνεται σε ένα εύρος απόλυτου υψόμετρου περίπου 5 m κατά μήκος του σταθμού. Αυτό το εύρος ξεκινάει με απόλυτο υψόμετρο + 62,20 m για το βόρειο τμήμα και καταλήγει σε υψόμετρο + 57,30 m στο νότιο τμήμα του σταθμού.

Από την μελέτη της αντιπλημμυρικής προστασίας του σταθμού έγινε πρόβλεψη για την κατασκευή τοιχείων με διαφορά ύψη (1,30 m, 0,80 m, 0,50 m, 0,40 m) πάνω από την στάθμη της διαμορφωμένης επιφάνειας του εδάφους. Αυτά τα στοιχεία κατασκευάστηκαν επί των κεφαλόδεσμών περιμετρικά του σκάμματος διασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο την προστασία των εργαζομένων και την παρεμπόδιση εισροής επιφανειακών υδάτων στο σκάμμα, σε περίοδο βροχοπτώσεων.

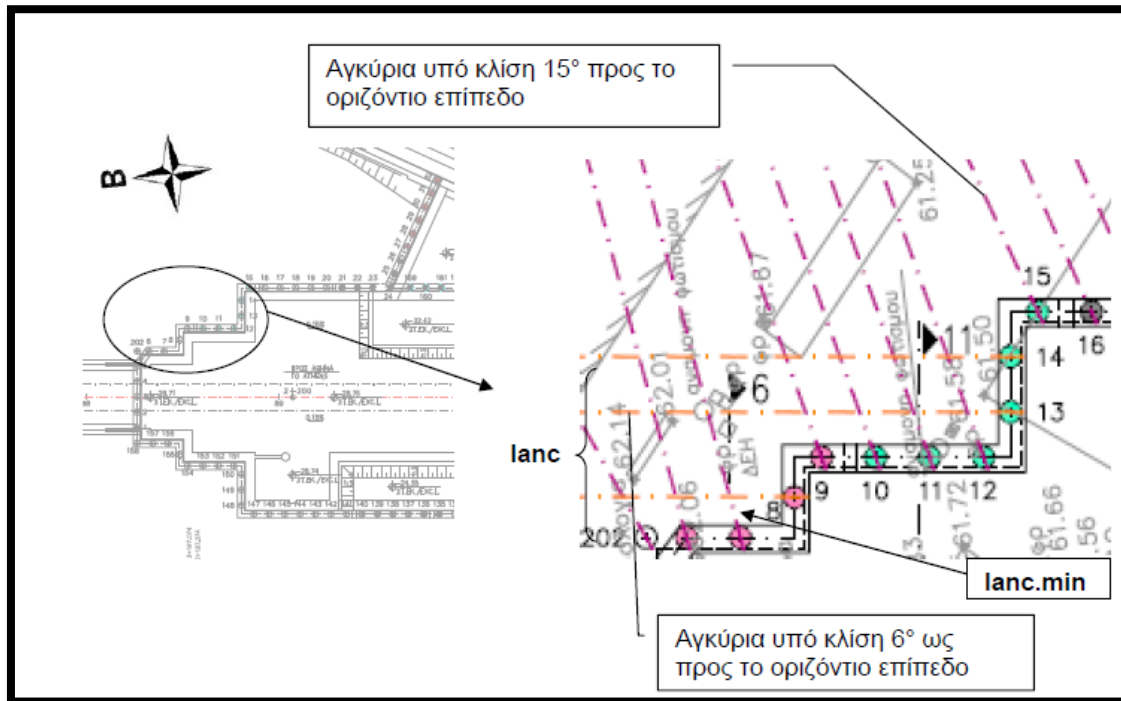
Τέλος, ο σχεδιασμός των αξόνων των πασσαλότοιχων έγινε με συνυπολογισμό του κατασκευαστικού σφάλματος απόκλισης από την κατακόρυφο (5cm) και του απαιτούμενου χώρου σκυροδέτησης του φορέα.

Η κατασκευή των πασσάλων (σκυρόδεμα C20/25,  $\varnothing$  80) σε απόσταση 2 m μεταξύ τους πραγματοποιήθηκε με διάτρηση και επί τόπου σκυροδέτηση. Επί αυτών κατασκευάστηκε ο κεφαλόδεσμος με διατομή 0,50 m x 1,00 m (υ:β). Για την ομάδα πασσάλων οι οποίοι σκυροδετήθηκαν σε χαμηλότερη της στάθμης του κεφαλόδεσμου, το ανώτερο τμήμα της οπής τους πληρώθηκε προσωρινά με κοκκώδες υλικό, αμελητέας πλαστικότητας, και ακολούθως συμπυκνώθηκε μέχρι την στάθμη δαπέδου εργασίας μηχανημάτων. Μετά την κατασκευή των πασσάλων τμηματικά, ακολουθεί η τοποθέτηση των αγκυρώσεων, και στις περιοχές μεταξύ των πασσάλων η ενίσχυση των τοιχωμάτων με εκτοξευμένο σκυρόδεμα με πάχος τουλάχιστον 10 cm, σε δύο στρώσεις, το οποίο σπλίστηκε με δύο δομικά πλέγματα T180. Τέλος η διάνοιξη ανακουφιστικών οπών (τοποθέτηση σωλήνα PVC  $\varnothing$  51 mm) στα τοιχώματα λειτούργησε ως αποτόνωση λόγω πιθανών υδάτινων πιέσεων.



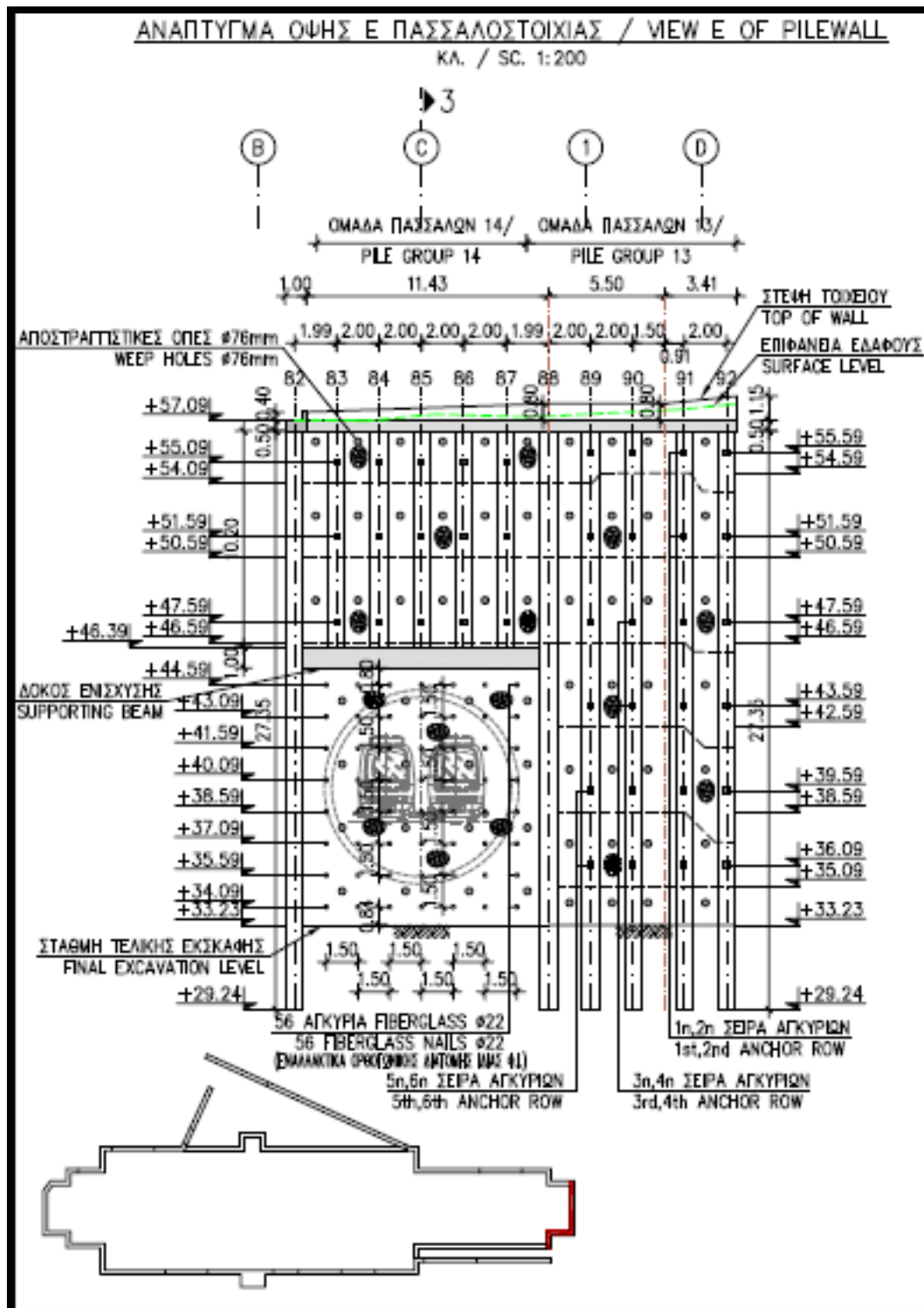
**Σχήμα 4.1** Σχηματική ομαδοποίηση των πασσαλότοιχων σε Κάτοψη κυρίως σκάμματος (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).

Όσο αναφορά τις αγκυρώσεις των πασσάλων συγκεκριμένα, αυτές σε ορισμένες θέσεις, λόγω της γεωμετρίας της κάτοψης του σταθμού στο βορειοανατολικό τμήμα, διασταυρώνονται στις παρειές της εκσκαφής. Για τον λόγο αυτό, προκειμένου να διασφαλιστεί η δυνατότητα κατασκευής τους επιλέχθηκε ορισμένες να τοποθετηθούν με κλίση ως προς το κατακόρυφο επίπεδο. Αυτή η κλίση ( $6^\circ - 8^\circ$ ) εξασφάλισε και την καλύτερη προσαρμογή και αντιστήριξη των δυνάμεων ωθήσεων γαιών, ειδικότερα σε πασσαλότοιχους οι οποίοι σχηματίζουν αμβλείες γωνίες σε κάτοψη. Τέλος τα αγκύρια ορισμένων πασσάλων τοποθετήθηκαν με μικρότερη κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο ( $6^\circ - 8^\circ$ ), σε σχέση με τα υπόλοιπα, τα οποία σύμφωνα με την μελέτη προσωρινής αντιστήριξης τοποθετήθηκαν με κλίση  $15^\circ$  ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Τα αγκύρια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 3-κλωνα ως 5-κλωνα ( $\varnothing$  κλώνου  $0,6''$ ) χάλυβας 1700/1900 και με όριο διαρροής 238 KN ανά κλώνο. Τα προεντεταμένα αγκύρια και ο έλεγχος των τανύσεων ακολούθησαν τις προδιαγραφές κατά ΕΛΟΤ EN1537 για προσωρινά αγκύρια και οι ηλώσεις fiberglass που εφαρμόστηκαν στις προκαθορισμένες θέσεις των μετώπων ήταν φέρουσα ικανότητας 360 KN.

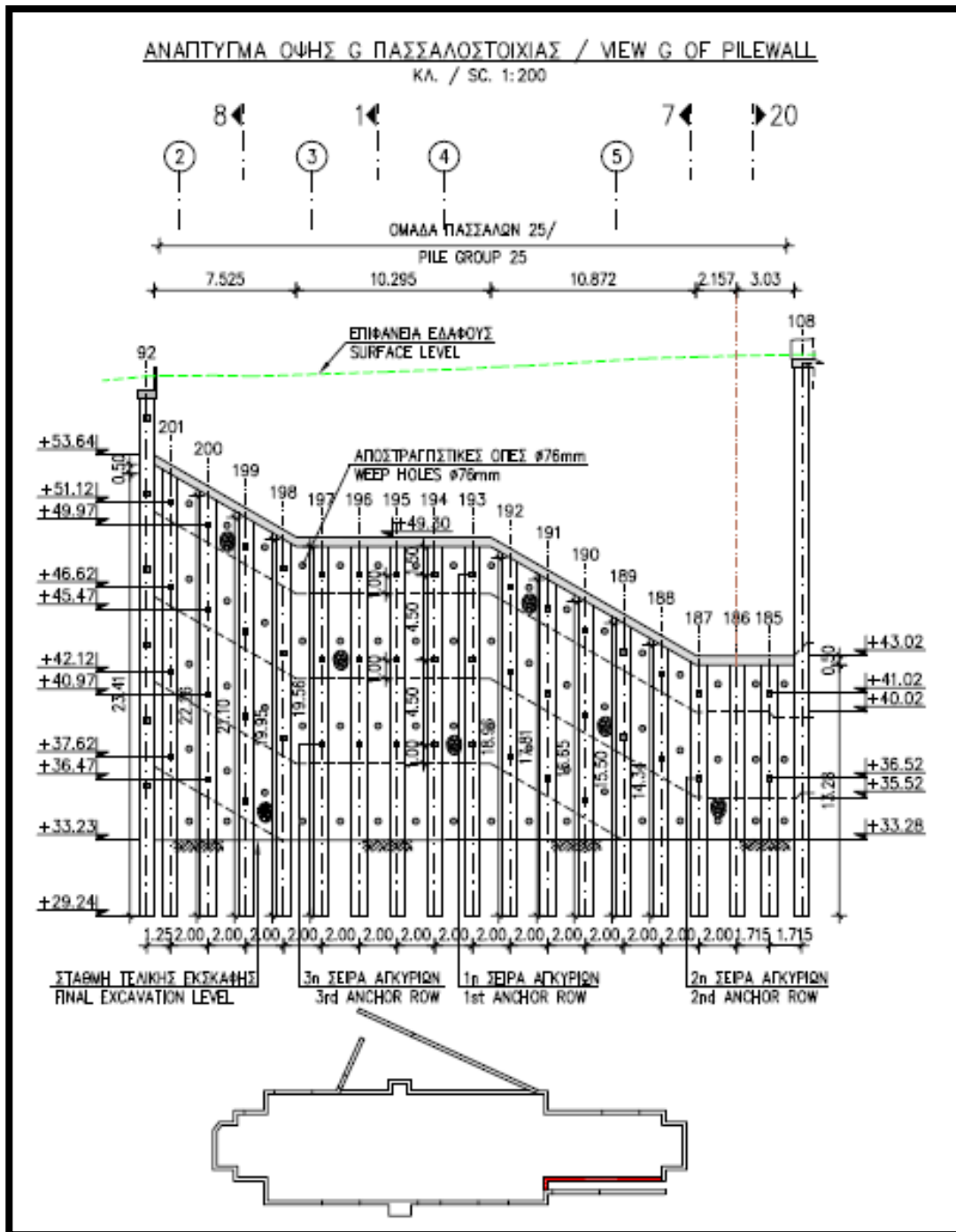


**Σχήμα 4.2** Σχηματική αναπαράσταση διάταξης αγκυρίων σε κάτοψη (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).

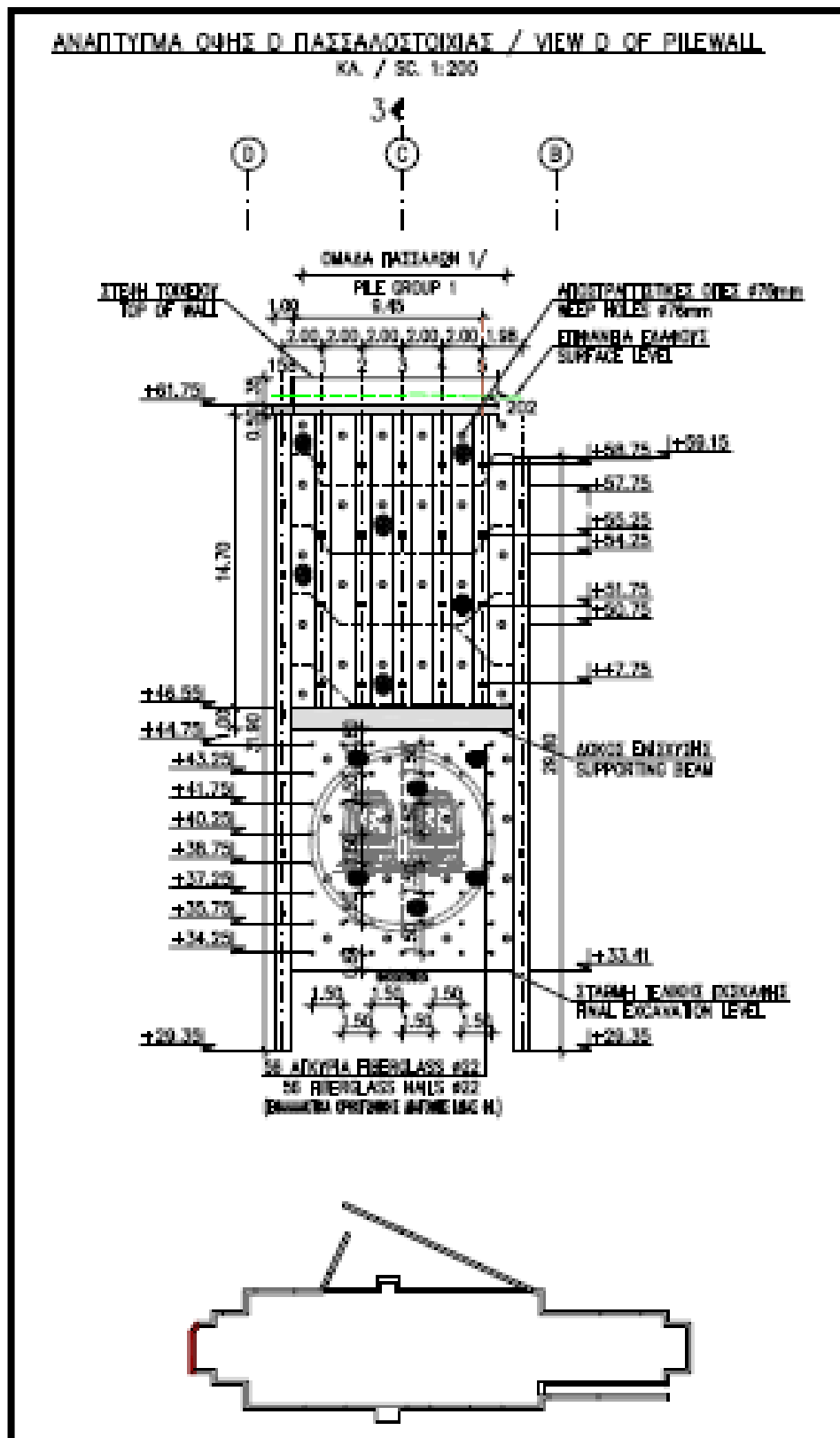




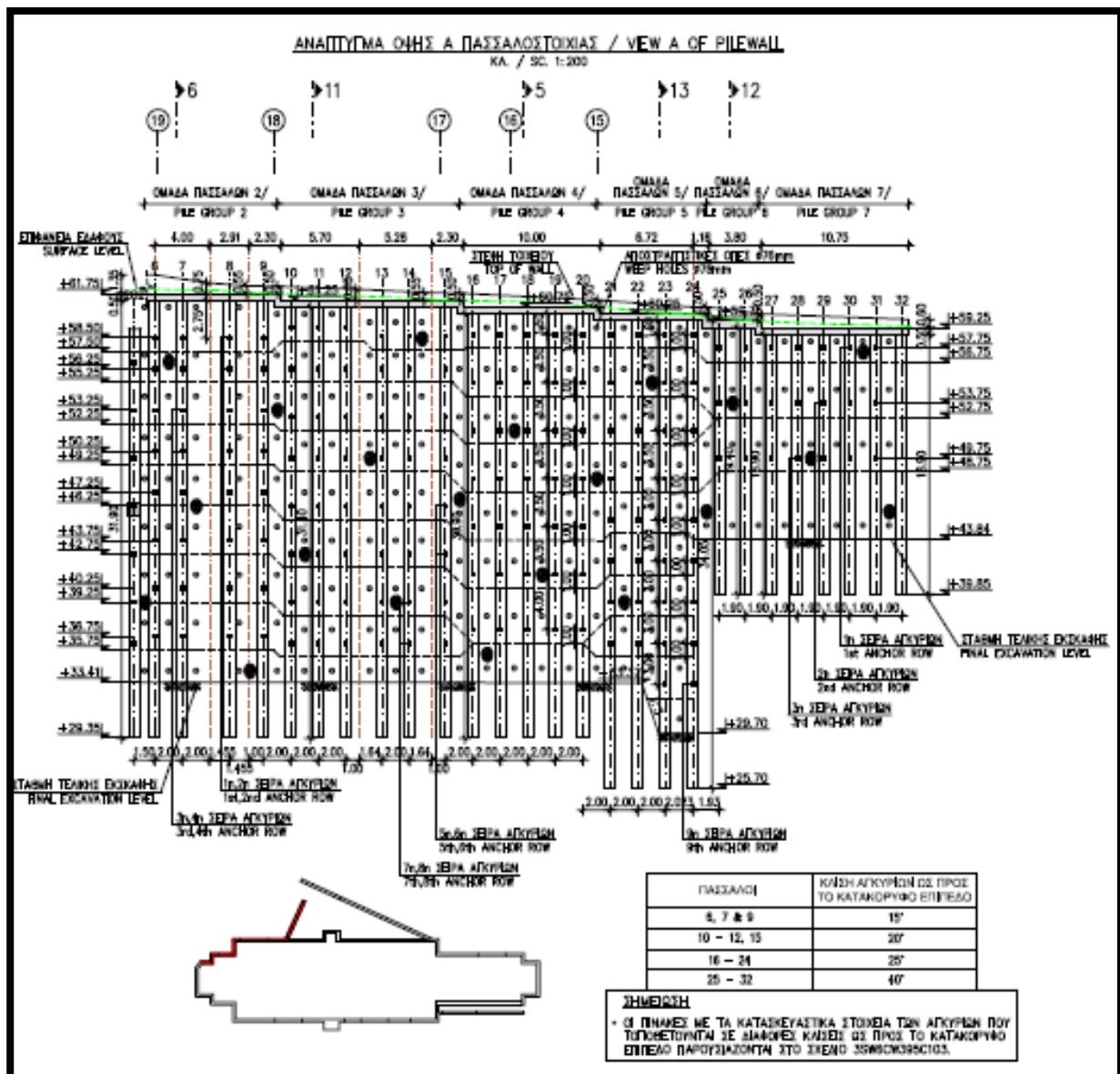
**Σχήμα 4.3** Σχηματική αναπαράσταση αναπτύγματος όψης Ε πασσαλοτοίχιας (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).



**Σχήμα 4.4** Σχηματική αναπαράσταση αναπτύγματος όψης G πασσαλοτοίχιας (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).



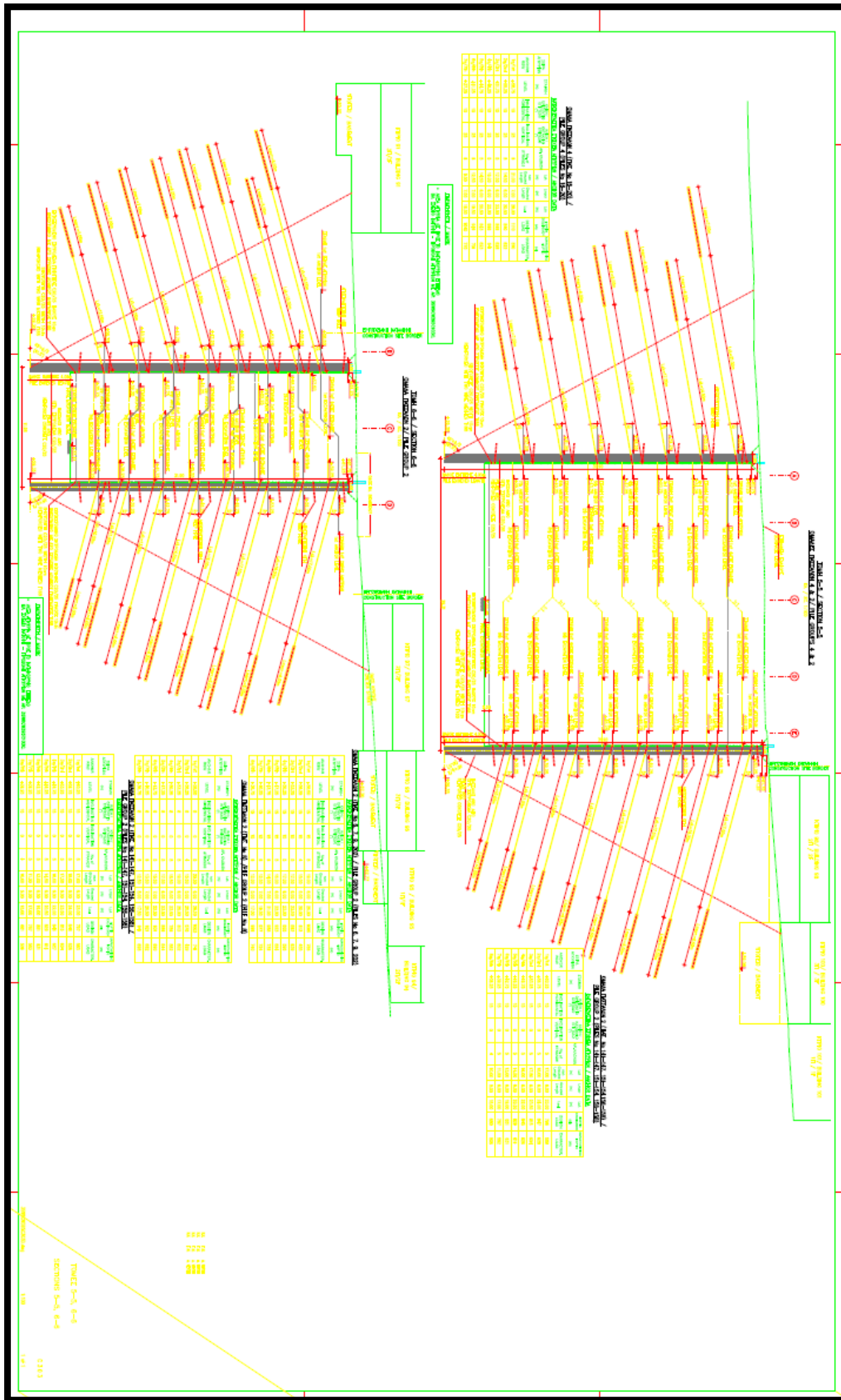
**Σχήμα 4.5** Σχηματική αναπαράσταση αναπτύγματος όψης D πασσαλοτοιχίας (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).



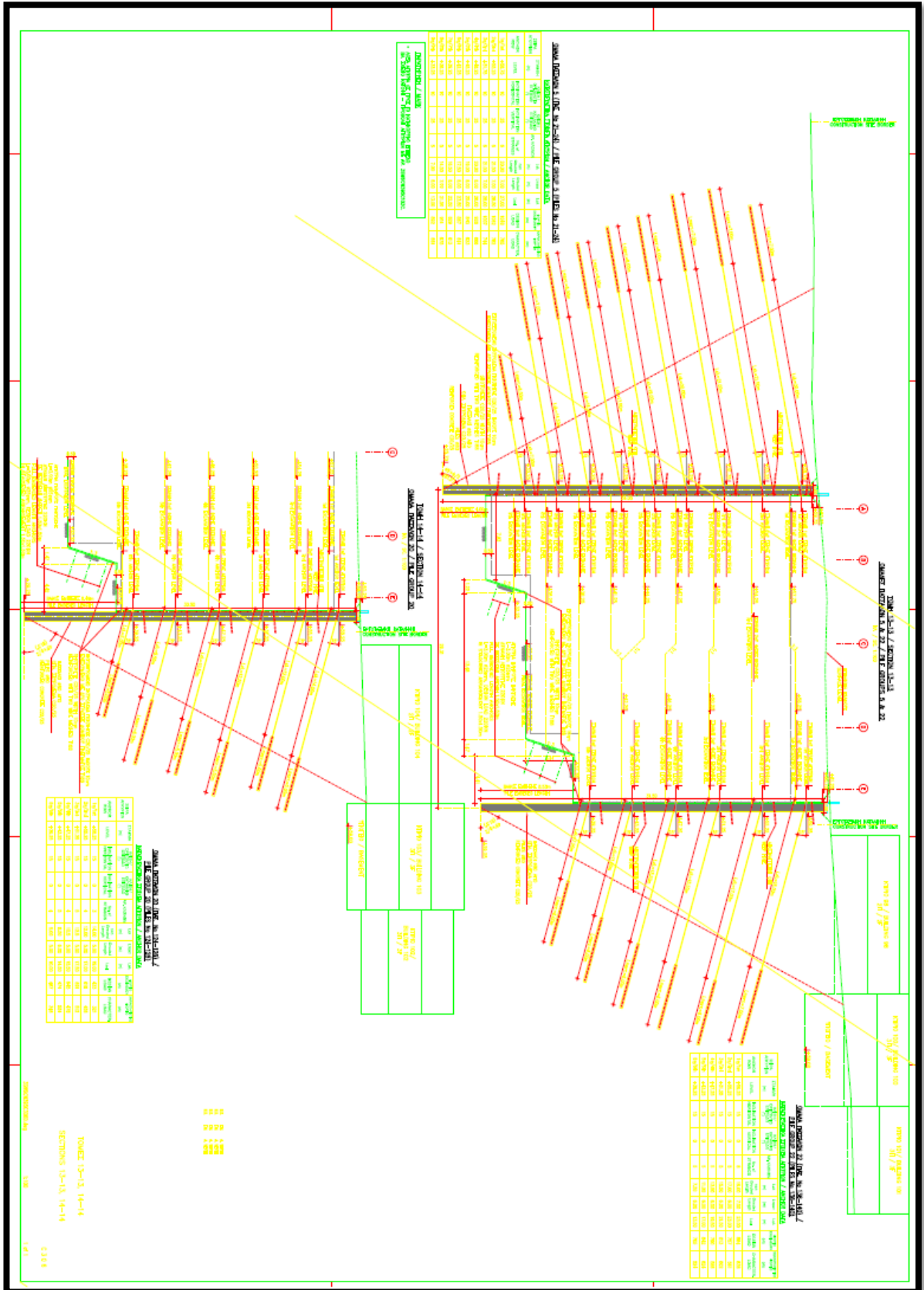
**Σχήμα 4.6** Σχηματική αναπαράσταση αναπτύγματος όψης Α πασσαλοτοίχιας (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).

Ενδεικτικά παρακάτω παρουσιάζονται οι τομές του σκάμματος όπου φαίνονται με ποιόν τρόπο κατασκευάστηκαν οι πάσσαλοι, οι αγκυρώσεις και οι αποστραγγιστικές οπές.





**Σχήμα 4.8** Τομή 5-5, Ομάδες πασσάλων 4 και 2 (πηγή: Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση της Αττικό Μετρό).

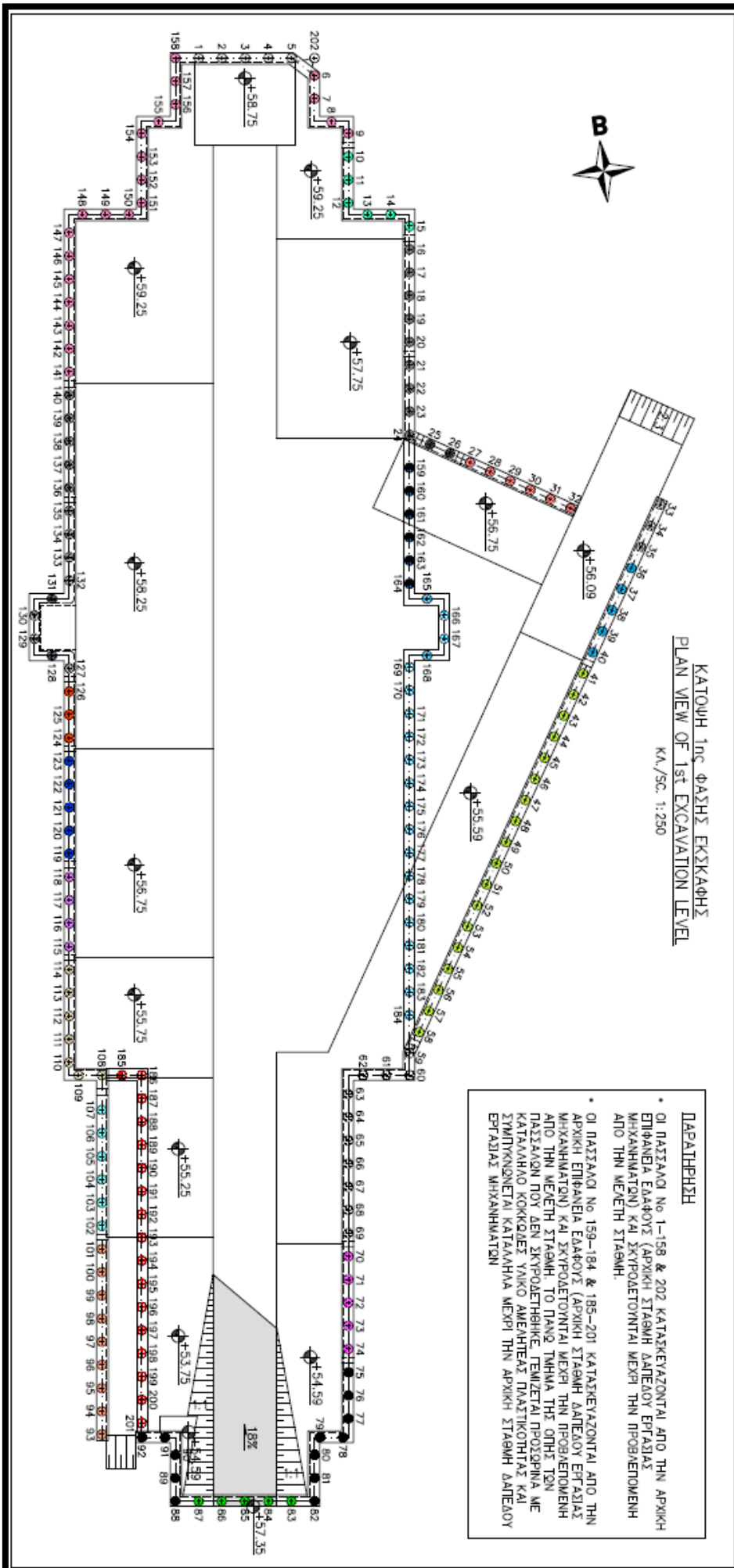


Σε ένα πρώτο στάδιο, η εκσκαφή πραγματοποιήθηκε τμηματικά μέχρι την στάθμη εκσκαφής των πασσάλων. Ακολουθώντας στα τμήματα αυτά, έγινε η κατασκευή των πασσάλων στο βάθος που προβλεπόταν, του κεφαλόδεσμου και τέλος των τοιχείων επί αυτών.

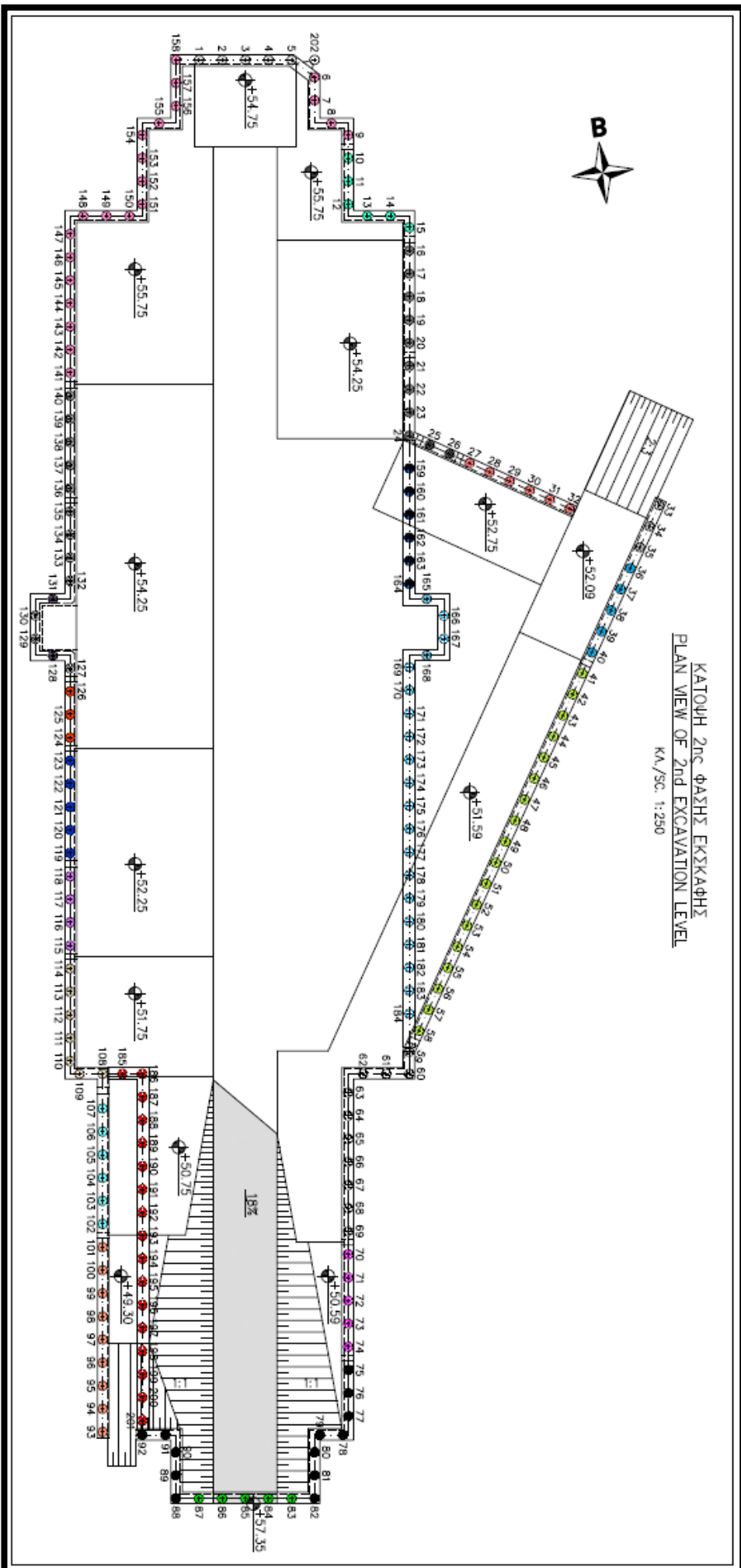
Μετά το πέρας αυτών των εργασιών, έγινε επανεπίχωση των εκσκαφών εκτός του ορύγματος μέχρι το επίπεδο της επιφάνειας του εδάφους εργασιών. Για την εκσκαφή του ορύγματος έγινε χρήση μηχανικών μέσων (ερπυστριοφόρες τσάπες) και η εκσκαφή και προσωρινή αντιστήριξη των κατακόρυφων πρανών πραγματοποιήθηκε σταδιακά καθώς οι εργασίες εξελίσσονταν σε διαφορετικές στάθμες και τμήματα του σταθμού. Η εκσκαφή αρχικά ξεκίνησε από το βόρειο τμήμα του σταθμού με την δημιουργία κεκλιμένου πρανού με κλίση 18% και πρανών 1:1 (ράμπα) στο νότιο τμήμα για την πρόσβαση και μετακίνηση των φορτηγών οχημάτων εντός του ορύγματος, στις περιοχές όπου συσσωρεύονταν τα χωματοουργικά αποθέματα. Η εκσκαφή στο βόρειο τμήμα του ορύγματος πραγματοποιήθηκε κατακόρυφα τμηματικά (όπως φαίνεται και στα σχέδια που παρατίθενται παρακάτω), με την ενίσχυση των αποκαλυπτόμενων επιφανειών με οπλισμένο εκτοξευμένο σκυρόδεμα (με δομικό πλέγμα) και την τοποθέτηση αγκυριών σταδιακά, όπως είχε προβλεφθεί από την μελέτη προσωρινής αντιστήριξης, στις διάφορες στάθμες. Η απομάκρυνση των χωματοουργικών αποθεμάτων έγινε με την φόρτωση και απομάκρυνσή τους μέσω φορτηγών οχημάτων. Κατόπιν και καθώς η έκταση όπου λάμβανε μέρος η εκσκαφή επεκτεινόταν και τα βάθη των εκσκαφών μεγάλωναν, μεγάλωνε και το μήκος της ράμπας. Η διαμόρφωση της ράμπας έγινε με δύο αναβαθμούς. Τελικά μετά την επίτευξη της τελικής επιθυμητής στάθμης εκσκαφής, πραγματοποιήθηκε και η τμηματική απομάκρυνση των εδαφικών υλικών της έκτασης που κάλυπτε η ράμπα από το βόρειο προς το νότιο τμήμα με παράλληλη σταδιακή εκσκαφή στις προβλεπόμενες από την μελέτη στάθμες και τοποθέτηση των προεντεταμένων αγκυρώσεων. Στην φάση όπου πλέον η στάθμη εκσκαφής του εναπομείναντος τμήματος της ράμπας δεν επέτρεπε την χρήση μηχανικών μέσων για την απομάκρυνση των χωματοουργικών αποθεμάτων, έγινε χρήση του οικοδομικού γερανού για την φόρτωση και απομάκρυνσή τους εκτός εργοταξιακού χώρου μέσω φορτηγών μέσων.



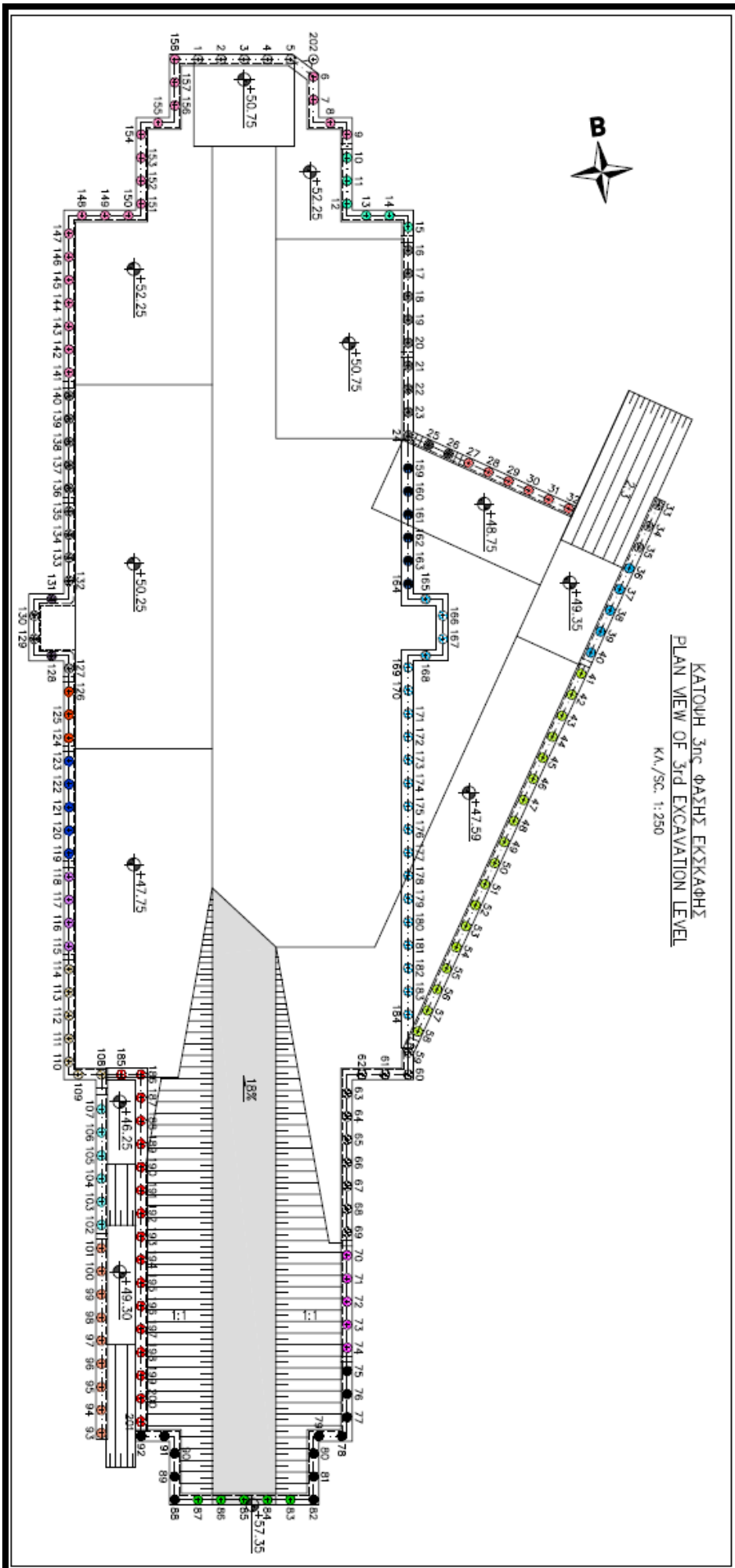
**Σχήμα 4.10**  
 Κάτοψη 1<sup>ης</sup>  
 Φάσης Εκσκαφής  
 (πηγή: Μελέτη  
 Εφαρμογής  
 Προσωρινής  
 Αντιστήριξης –  
 Τεχνική Έκθεση  
 της Αττικό  
 Μετρό).



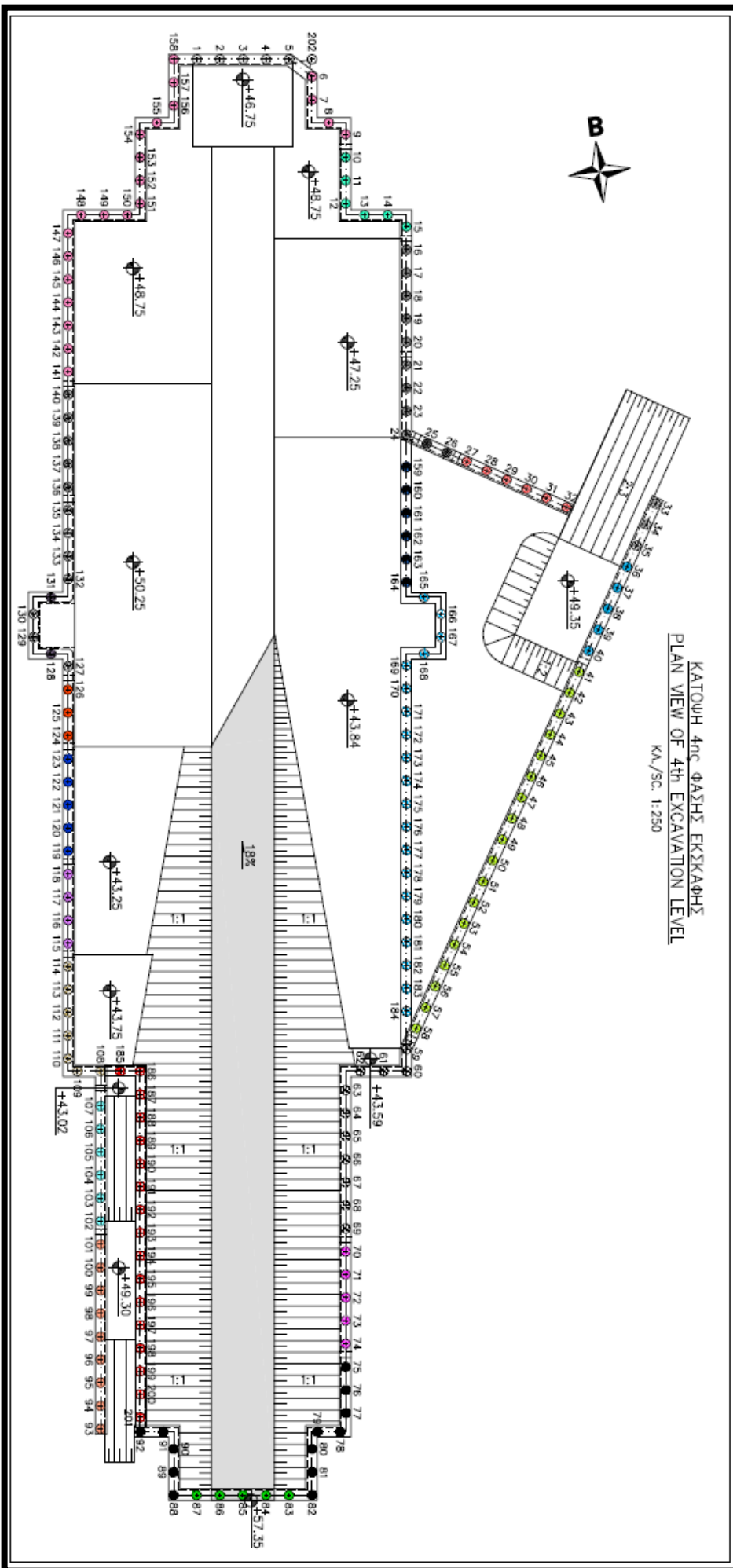
**Σχήμα 4.11**  
 Κάτοψη 2<sup>ης</sup>  
 Φάσης  
 Εκσκαφής (πηγή:  
 Μελέτη  
 Εφαρμογής  
 Προσωρινής  
 Αντιστήριξης –  
 Τεχνική Έκθεση  
 της Αττικό  
 Μετρό).



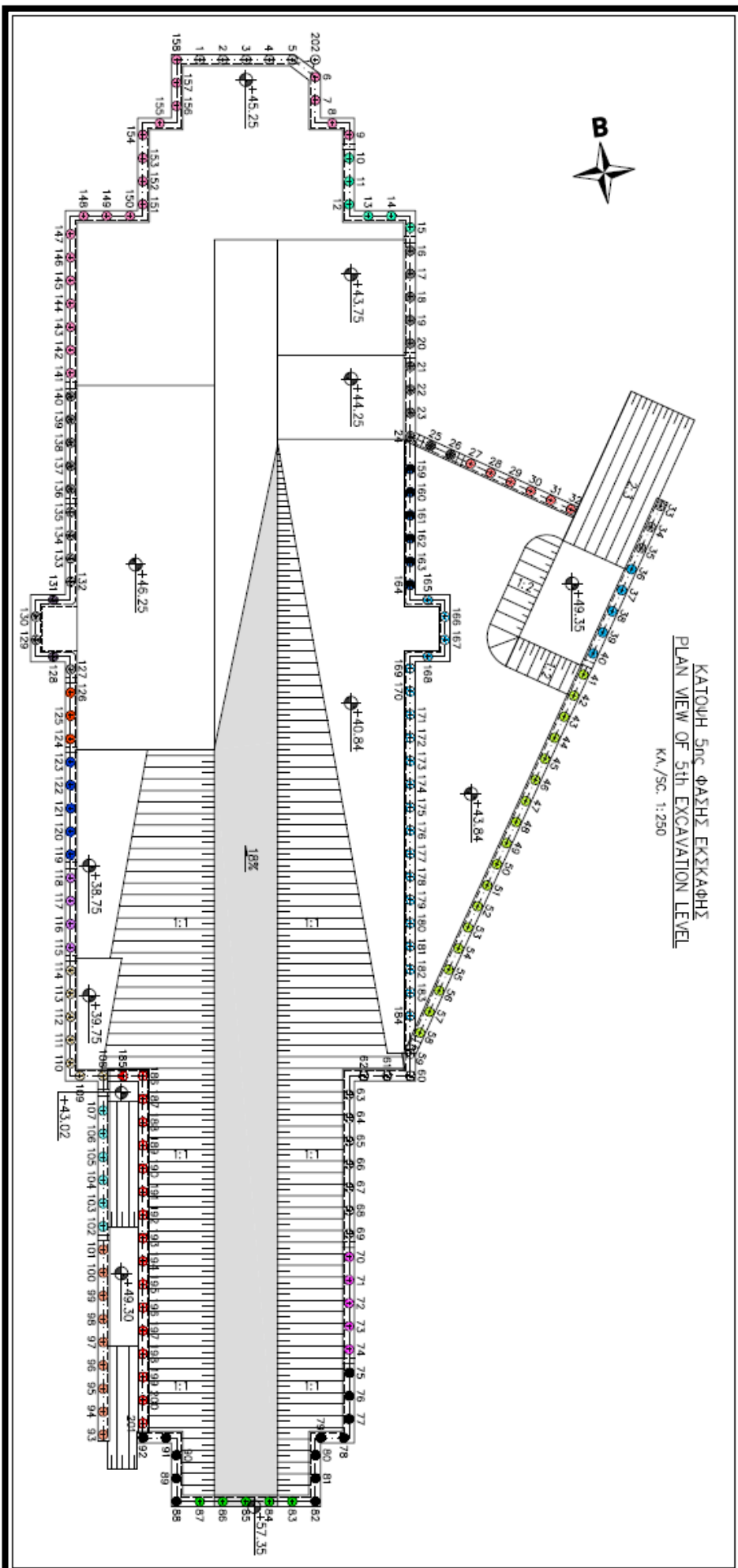
**Σχήμα 4.12**  
 Κάτοψη 3<sup>ης</sup>  
 Φάσης Εκσκαφής  
 (πηγή: Μελέτη  
 Εφαρμογής  
 Προσωρινής  
 Αντιστήριξης –  
 Τεχνική Έκθεση  
 της Αττικό  
 Μετρό).

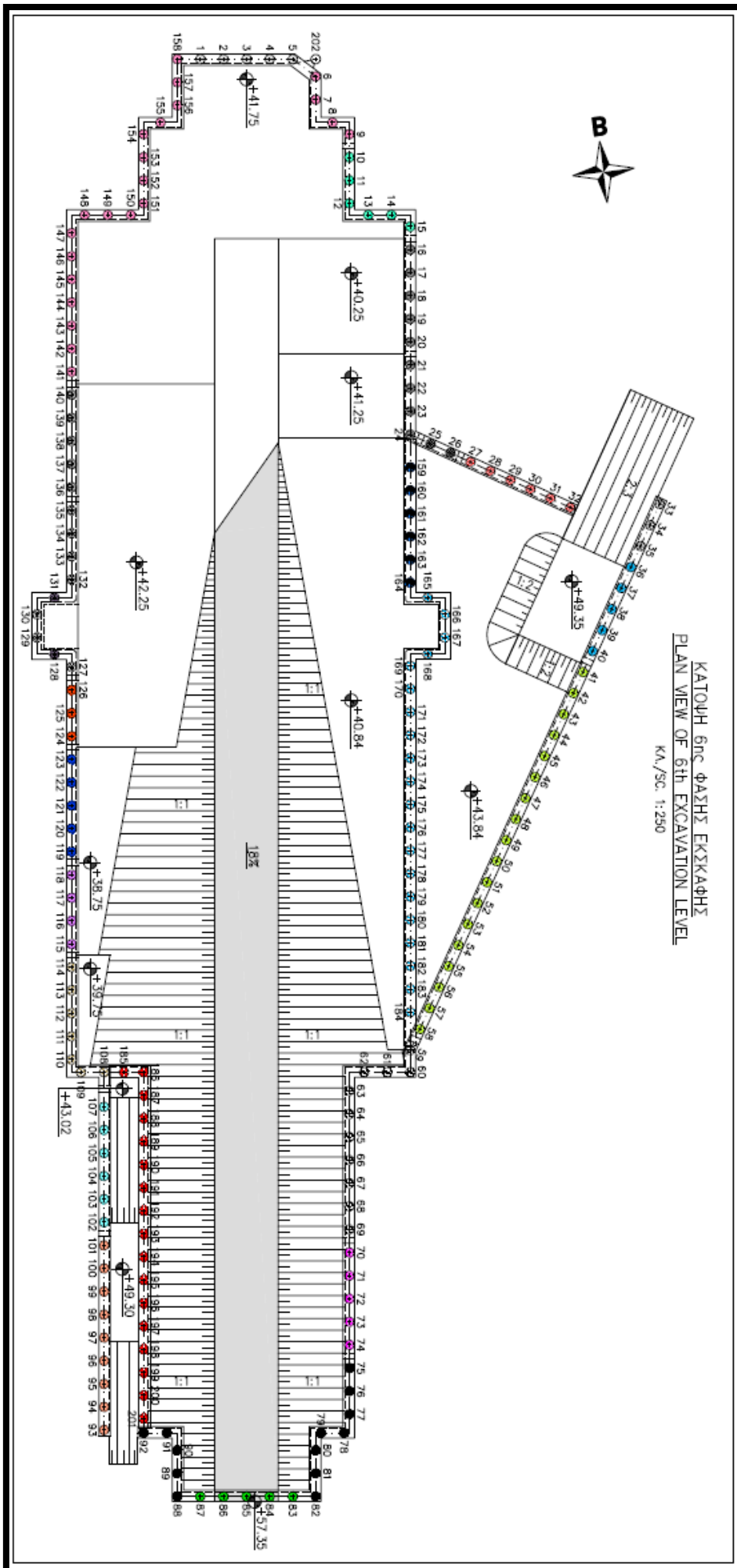


**Σχήμα 4.13**  
 Κάτοψη 4<sup>ης</sup> Φάσης  
 Εκσκαφής (πηγή:  
 Μελέτη  
 Εφαρμογής  
 Προσωρινής  
 Αντιστήριξης –  
 Τεχνική Έκθεση  
 της Αττικό  
 Μετρό).



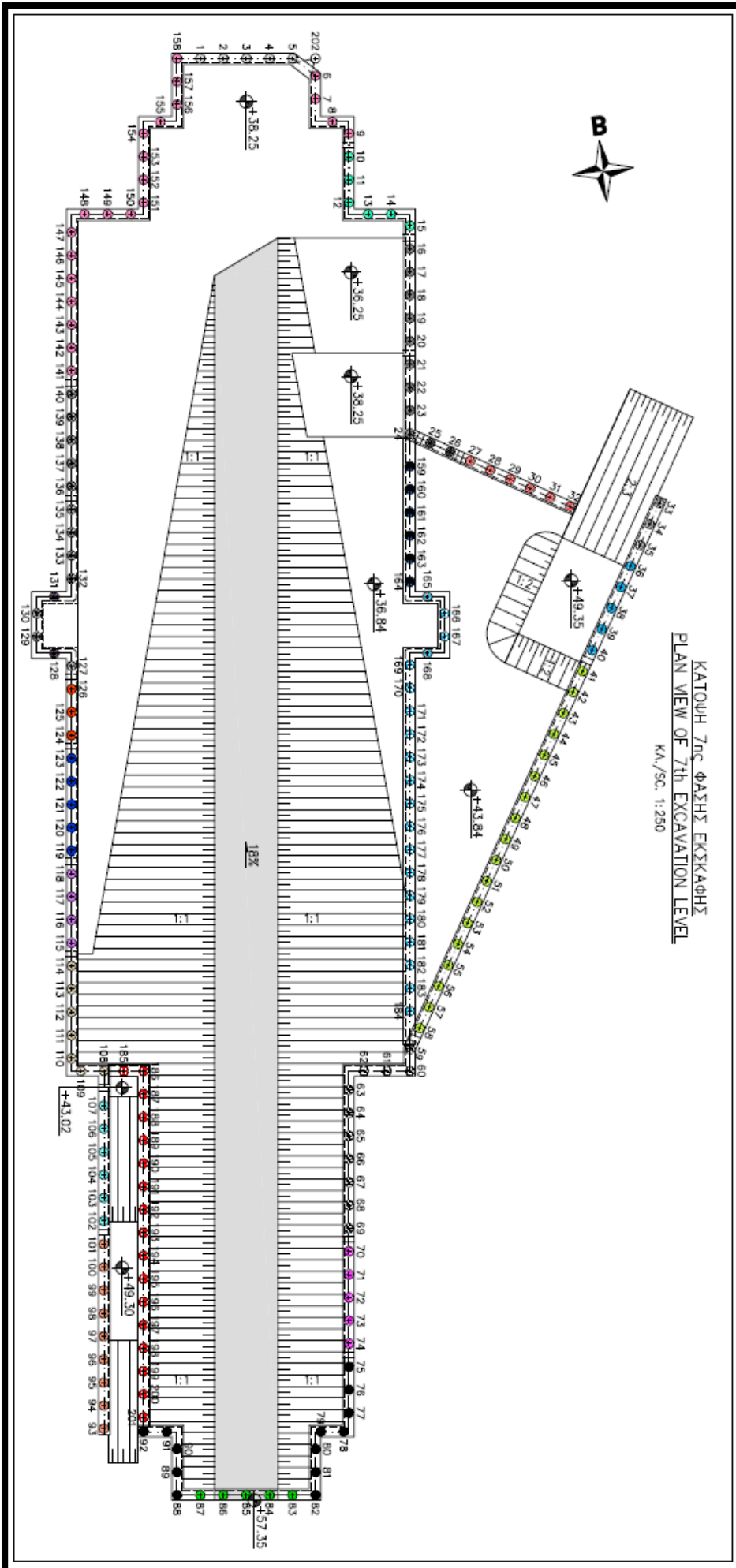
**Σχήμα 4.14**  
 Κάτοψη 5<sup>ης</sup>  
 Φάσης Εκσκαφής  
 (πηγή: Μελέτη  
 Εφαρμογής  
 Προσωρινής  
 Αντιστήριξης –  
 Τεχνική Έκθεση  
 της Αττικό  
 Μετρό).



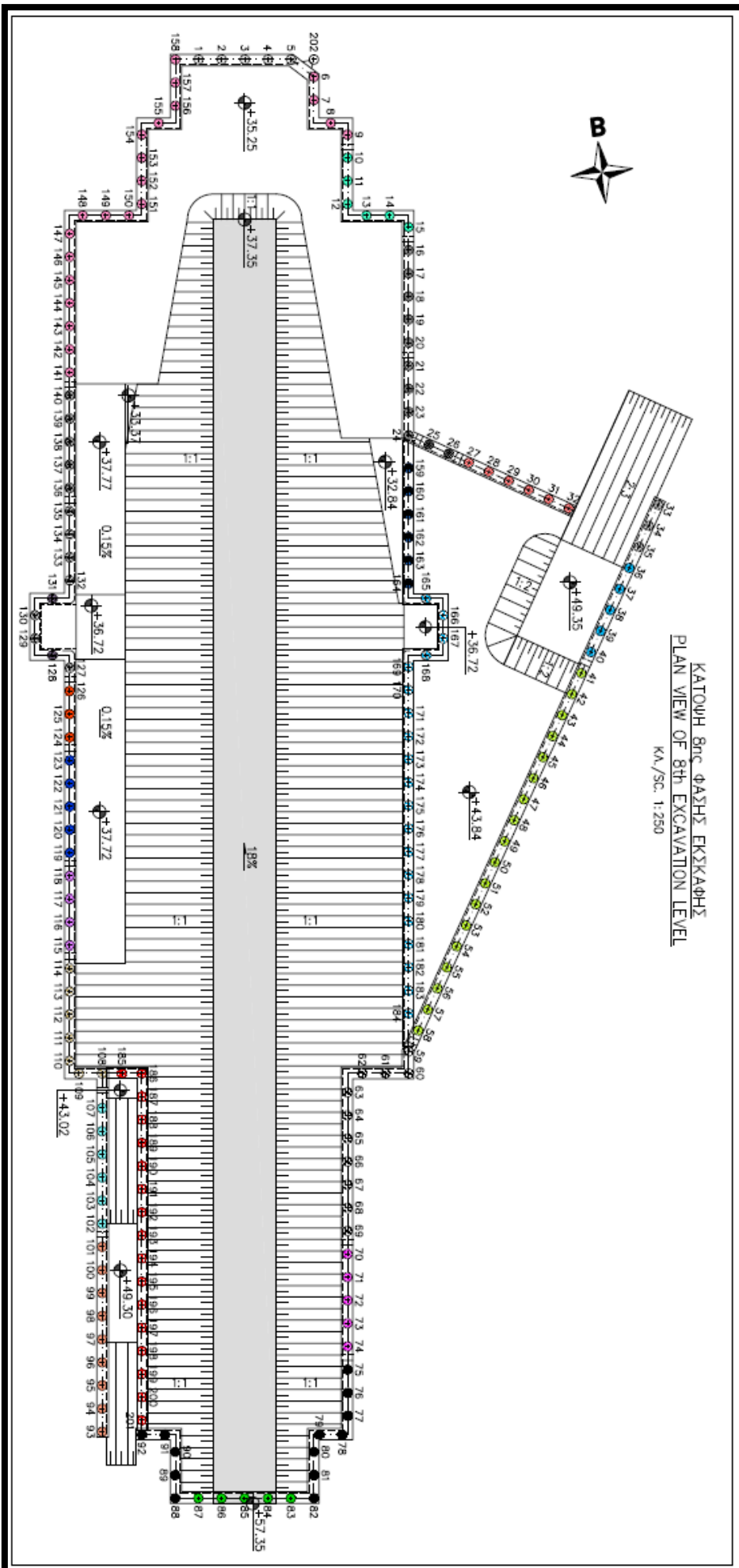


**Σχήμα 4.15**  
 Κάτοψη 6<sup>ης</sup>  
 Φάσης Εκσκαφής  
 (πηγή: Μελέτη  
 Εφαρμογής  
 Προσωρινής  
 Αντιστήριξης –  
 Τεχνική Έκθεση  
 της Αττικό  
 Μετρό).

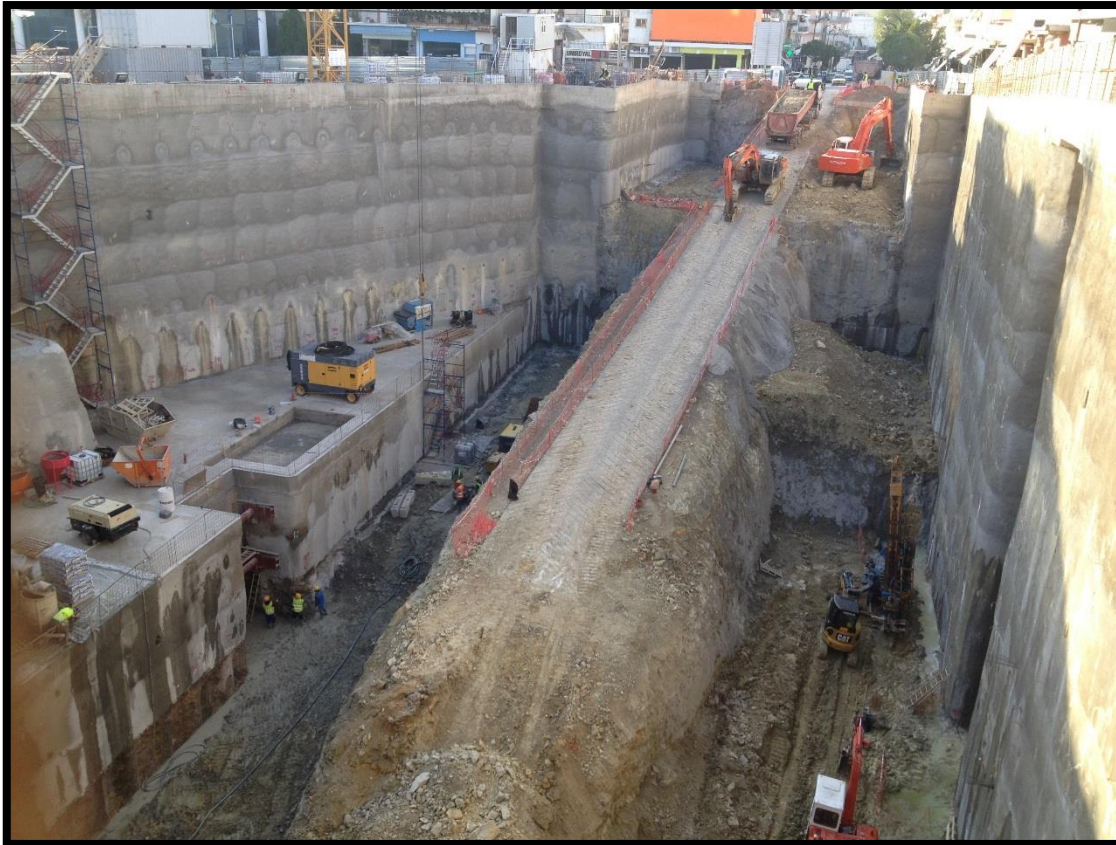
**Σχήμα 4.16**  
 Κάτοψη 7<sup>ης</sup> Φάσης  
 Εκσκαφής (πηγή:  
 Μελέτη  
 Εφαρμογής  
 Προσωρινής  
 Αντιστήριξης –  
 Τεχνική Έκθεση  
 της Αττικό  
 Μετρό).



**Σχίμα 4.17**  
 Κάτοψη 8<sup>ης</sup>  
 Φάσης Εκσκαφής  
 (πηγή: Μελέτη  
 Εφαρμογής  
 Προσωρινής  
 Αντιστήριξης –  
 Τεχνική Έκθεση  
 της Αττικό  
 Μετρό).



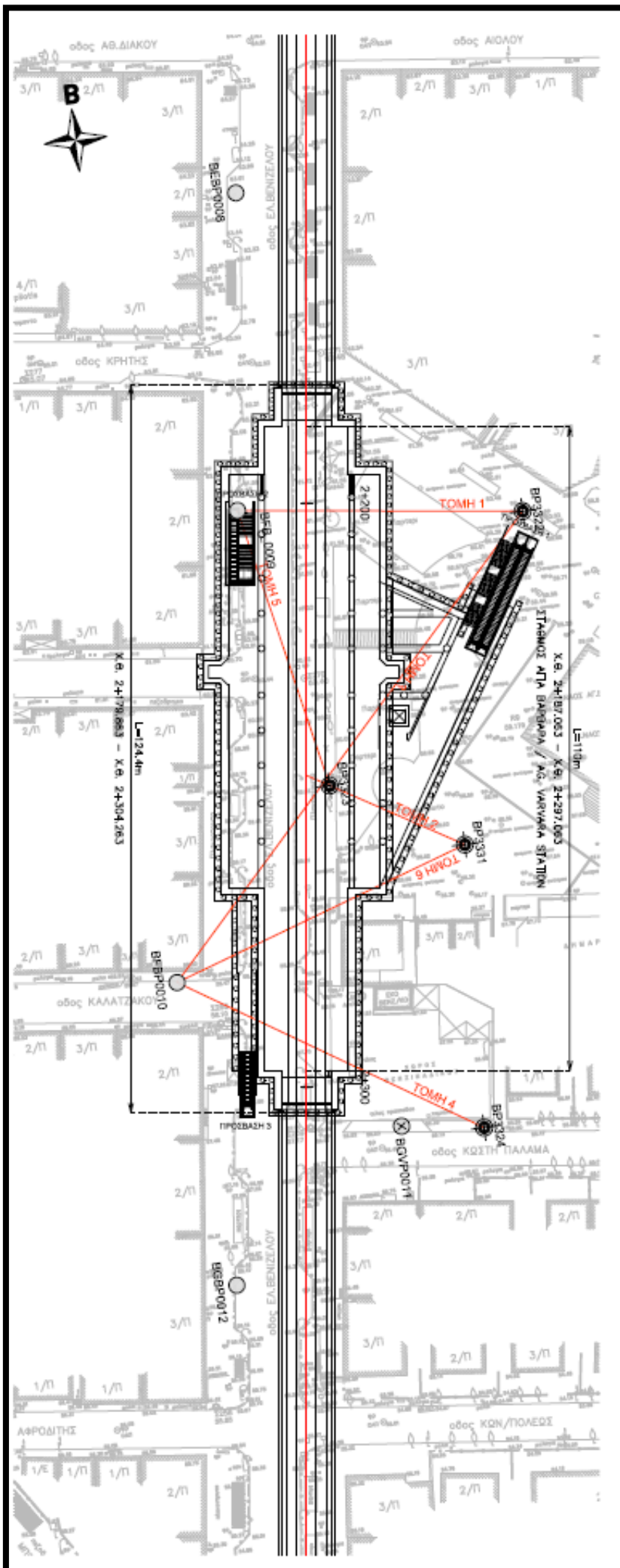




**Εικόνα 4.4** Πρόοδος εργασιών εκσκαφής – προσωρινής αντιστήριξης σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: φωτογραφικό υλικό Αναδόχου).

#### **4.2.2 Κατασκευή Μόνιμης Επένδυσης**

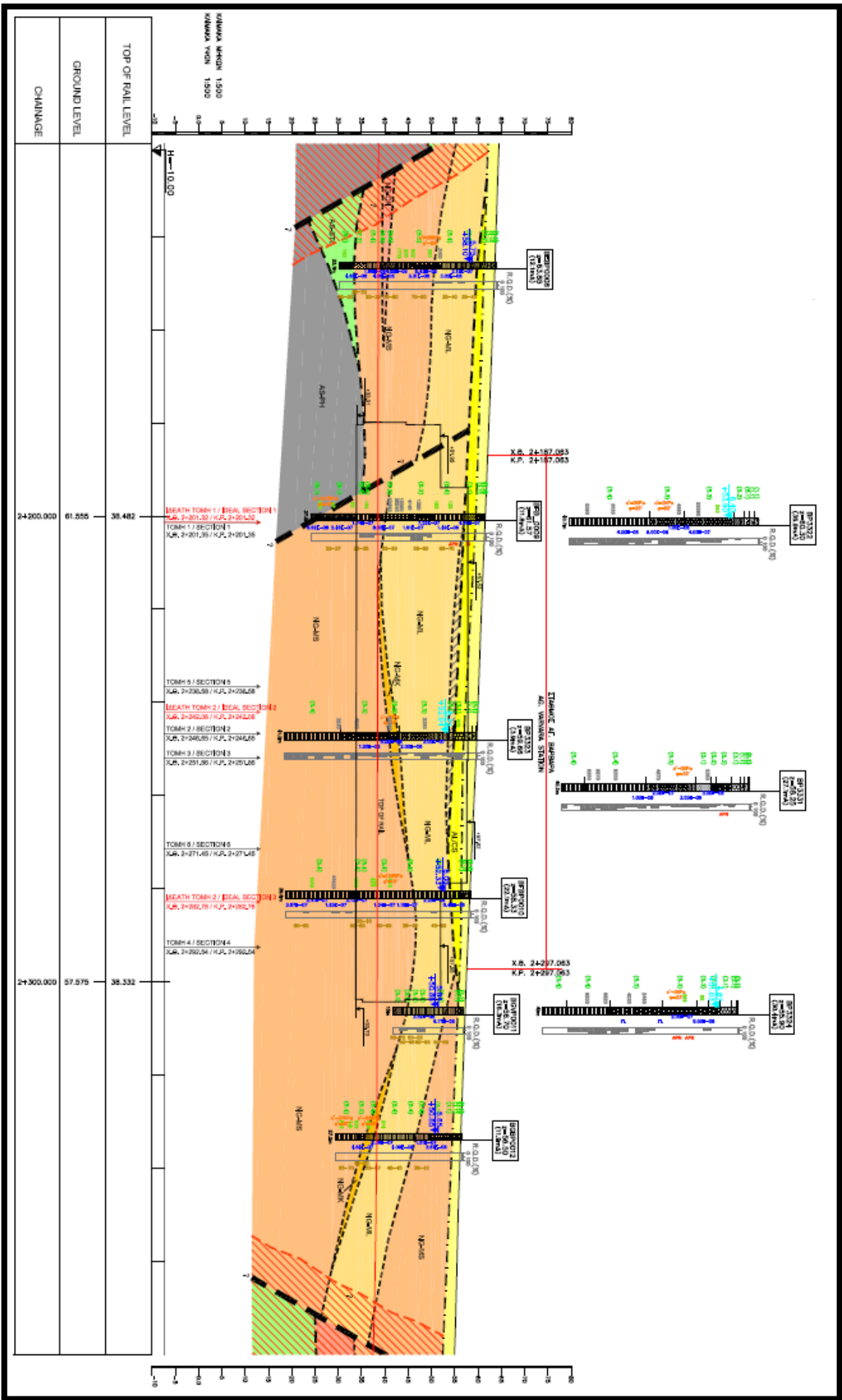
Οριζοντιογραφικά η χάραξη του Σταθμού είναι σε ευθυγραμμία, ενώ μηκοτομικά ακολουθεί μία σταθερή κατά μήκος κατηφορική κλίση 15%. Συγκεκριμένα το απόλυτο υψόμετρο της στάθμης κεφαλής της σιδηροτροχιάς στην αρχή των αποβάθρων είναι + 38,50 m και στο τέλος + 38,34 m. Στα παρακάτω σχέδια φαίνεται αναλυτικότερα η χάραξη αυτή σε οριζοντιογραφία και μηκοτομή.

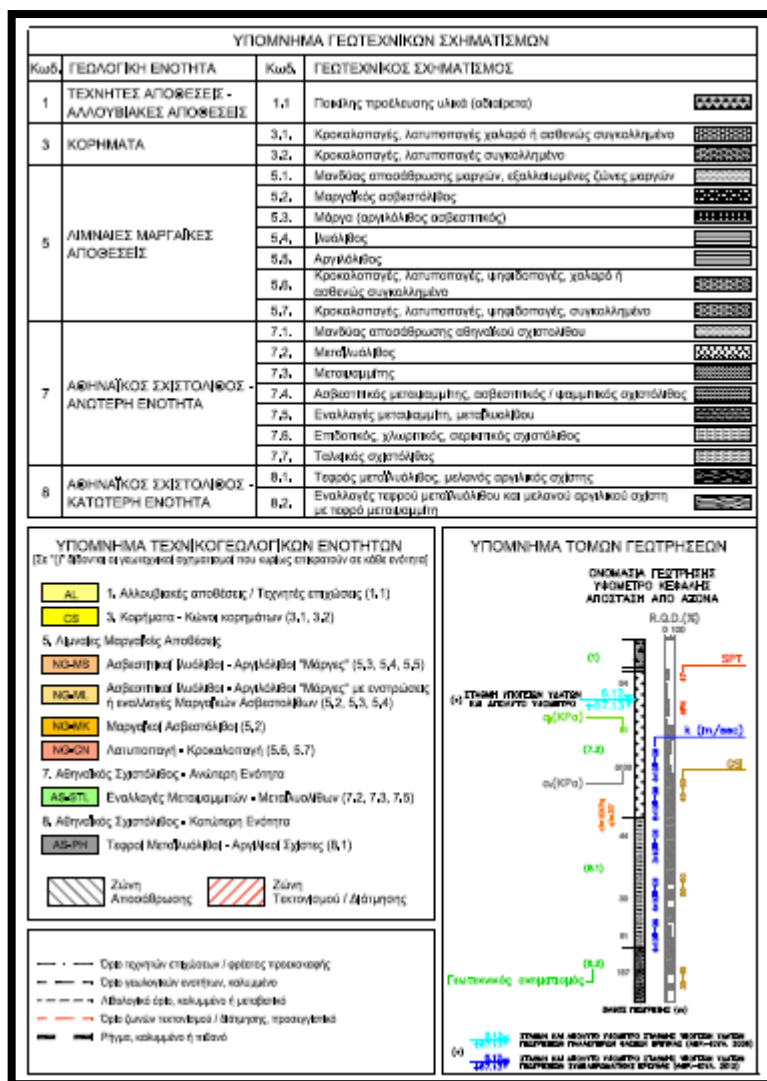


**ΥΠΟΜΗΝΙΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑΣ**

- BFB\_0008 Διμεταλλική βαλβίδα της Σχημασιακής Γραμμικής Έκτασης (ΣΤ.Ε).
- BFB\_0011 Διμεταλλική βαλβίδα της Σχημασιακής Γραμμικής Έκτασης (ΣΤ.Ε) ελάχιστη απέναντι υδροστατικής πίεσης του προηγούμενου βρόχου.
- BFB\_0014 Στοιχείο υδροστατικής τριβής.
- BFB\_0015 Στοιχείο υδροστατικής τριβής.

**Σχήμα 4.18** Σχεδιαστική Αναπαράσταση Οριζοντιογραφίας Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).





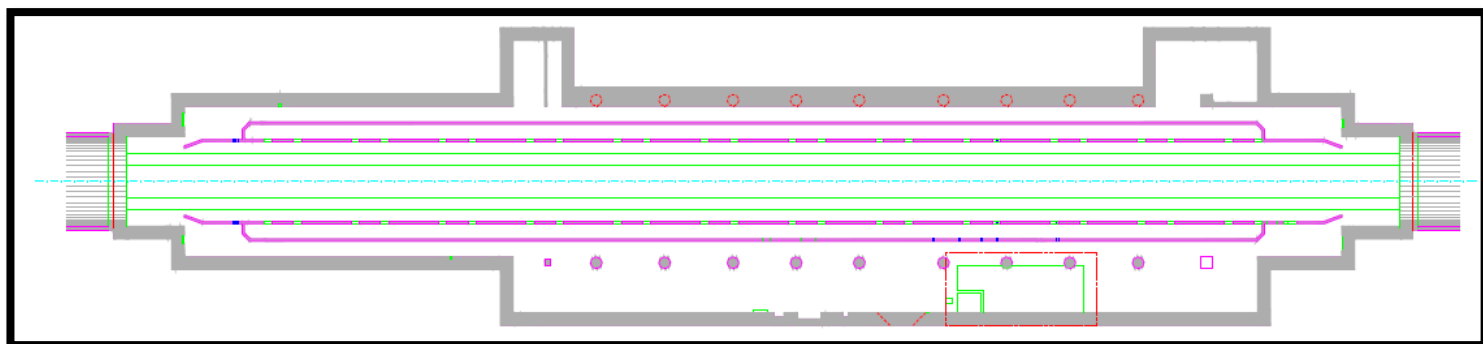
**Σχήμα 4.19** Σχεδιαστική Αναπαράσταση Γεωτεχνικής Μηκτομής Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).

Ο φορέας αποτελεί ένα υπόγειο κέλυφος οπλισμένου σκυροδέματος με τα παρακάτω επίπεδα:

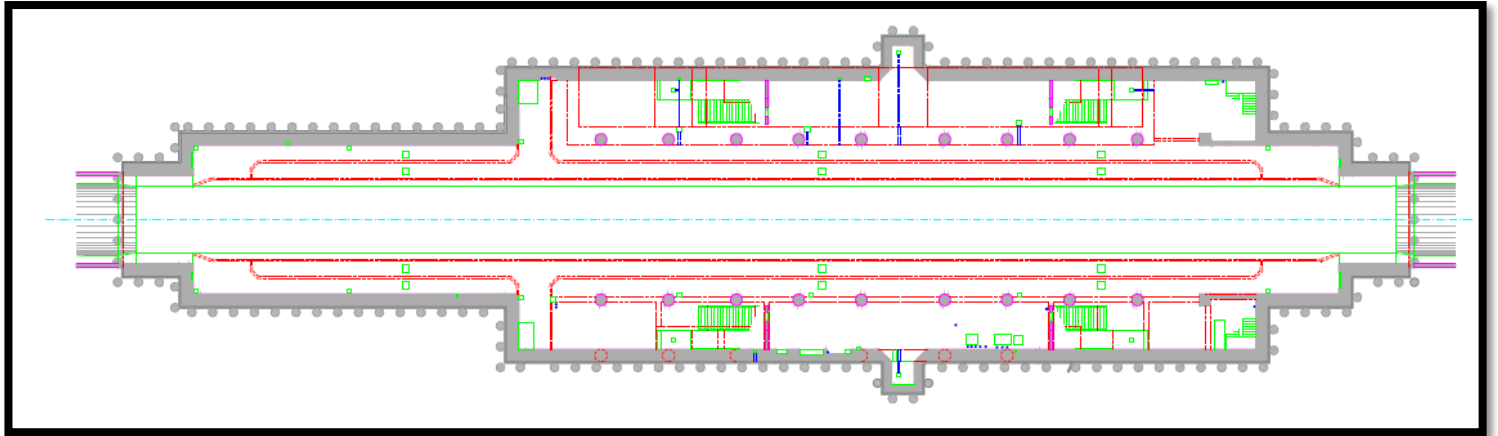
- Πλάκα οροφής του Σταθμού πάχους 0,90 m (+ 57,62 m απόλυτο υψόμετρο άνω στάθμης) και 1,10 m (+57,82 m απόλυτο υψόμετρο άνω στάθμης). Στην πλάκα οροφής υπάρχουν ανοίγματα εκτόνωσης αερισμού και εγκαταστάσεων μηχανολογικού εξοπλισμού, ένα άνοιγμα αίθριου, εγκατάστασης οικισμού της ΔΕΗ και εξόδων διαφυγής ενώ απολήγει και μία από τις κύριες εξόδους του Σταθμού. Η επίχωση ξεκινάει από 0,68 m στο νότιο τμήμα της πλάκας οροφής και φτάνει έως 3,83 m στο βόρειο τμήμα.

- Πλάκα μηχανολογικού ορόφου πάχους 0,80 m μέσα στον σταθμό (+51,75 m απόλυτο υψόμετρο) και 1,00 m όταν αποτελεί οροφή του επιπέδου έκδοσης εισιτηρίων (+51,95 m απόλυτο υψόμετρο).
- Πλάκα έκδοσης εισιτηρίων πάχους 0,80 m μέσα στον σταθμό και 1,20 m όταν εδράζεται σε έδαφος (έξοδος προς τον Ι.Ν. Αγίας Ελεούσας, + 45,54 m απόλυτο υψόμετρο).
- Πλάκα αποβάθρων πάχους 0,50 m έως 0,14 m στις θέσεις που βρίσκεται πάνω από τα διαμήκη κανάλια (+ 39,51 m έως 39,35 m απόλυτο υψόμετρο άνω στάθμης).
- Πλάκα θεμελίωσης πάχους 1,80 m και 1,25 m στην περιοχή όπου διέρχεται το TBM από τον σταθμό, με κατάλληλη προσαρμογή (40,06 m έως 39,90 m και 39,51m έως 39,35 m απόλυτο υψόμετρο άνω στάθμης σε νότιο και βόρειο τμήμα αντίστοιχα).

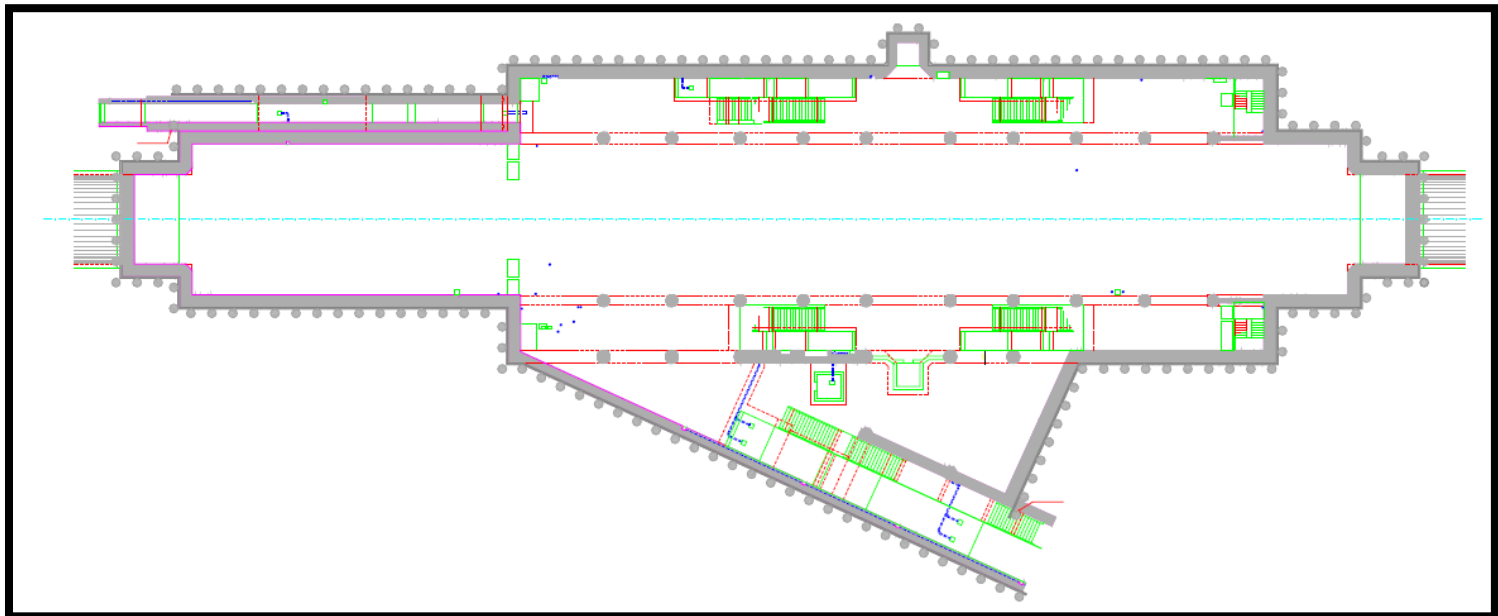
Τα κατακόρυφα φορτία μεταφέρονται καθ' ύψος του φορέα από τις πλάκες των ανώτερων σταθμών είτε απευθείας είτε μέσω δοκών στα υποστυλώματα και στα τοιχώματα, τα οποία οριοθετούν το κέλυφος. Το πάχος των τοιχωμάτων στην περίμετρο είναι κυρίως 1,20 m και στην έξοδο προς τον Ι.Ν. Αγίας Ελεούσας 0,90 m. Ο ρόλος τους είναι, εκτός της αντιστήριξης του εδάφους στις παρειές του σταθμού με την αφαίρεση των πασσάλων της προσωρινής αντιστήριξης, και η παραλαβή λοιπών πλευρικών ωθήσεων στην φάση λειτουργίας του έργου (π.χ. υδροστατική πίεση, σεισμικές ωθήσεις, ωθήσεις παρακείμενων κτηρίων). “Φυτευτά” υποστυλώματα στα οποία κείτονται οι πλάκες του ημιώροφου σύμφωνα με την αρχιτεκτονική και Η/Μ μελέτη, βρίσκονται στην στάθμη του μηχανολογικού ορόφου. Τέλος, η πλάκα οροφής και οι ενδιάμεσες στάθμες κατασκευάστηκαν με ειδικές διαμορφώσεις των φρεάτων αερισμού και ανοίγματα εξυπηρέτησης της λειτουργίας του σταθμού. Ανεξάρτητος φορέας που συνδέεται με τον σταθμό με αρμό συστολής, αποτελεί η έξοδος εξυπηρέτησης του κοινού επί της λεωφόρου Ελ. Βενιζέλου προς νότο. Η γεωμετρία των στοιχείων της κατασκευής παρατίθενται στις παρακάτω σχηματικές αναπαραστάσεις.



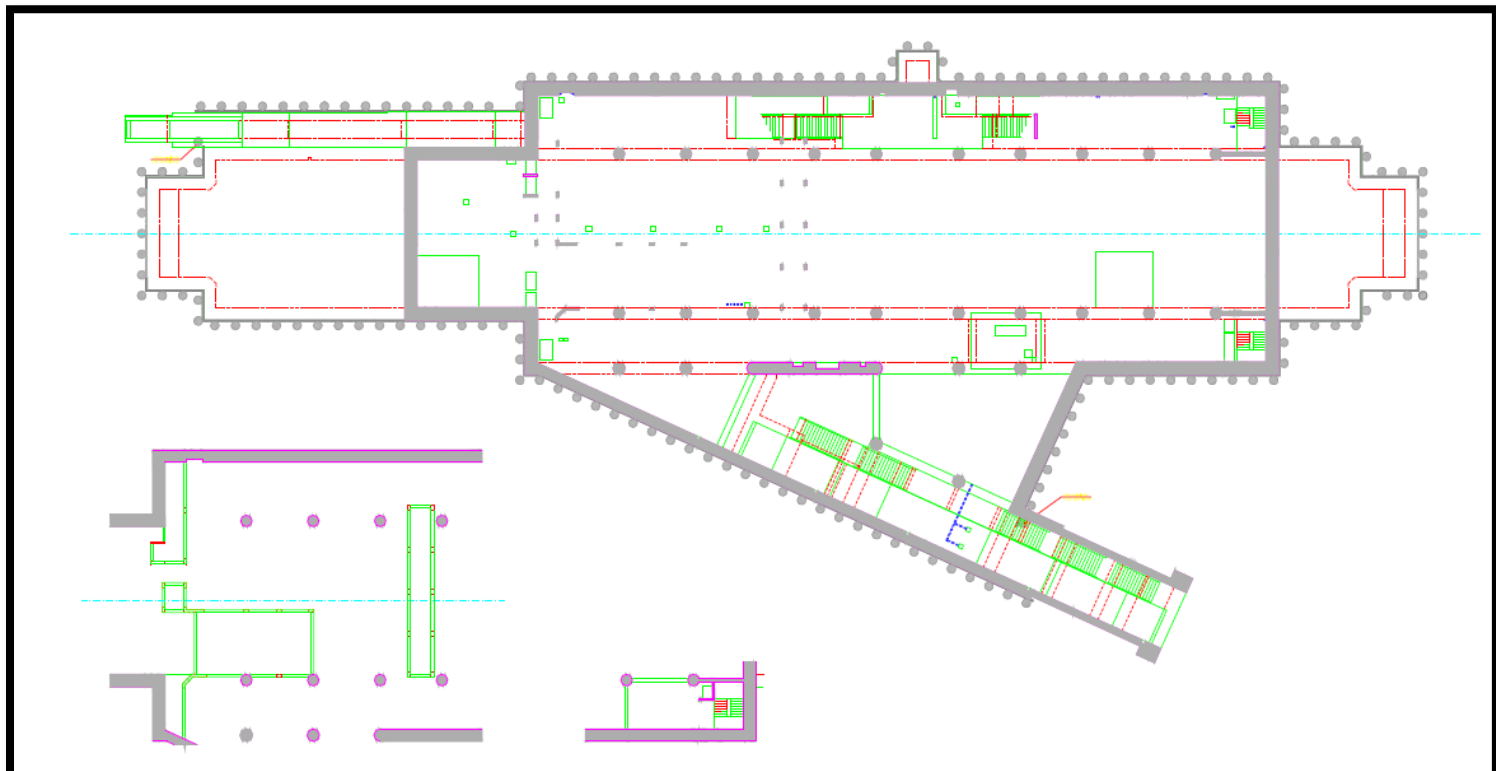
**Σχήμα 4.20** Σχηματική αναπαράσταση – Κάτοψη Πλάκας θεμελίωσης Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).



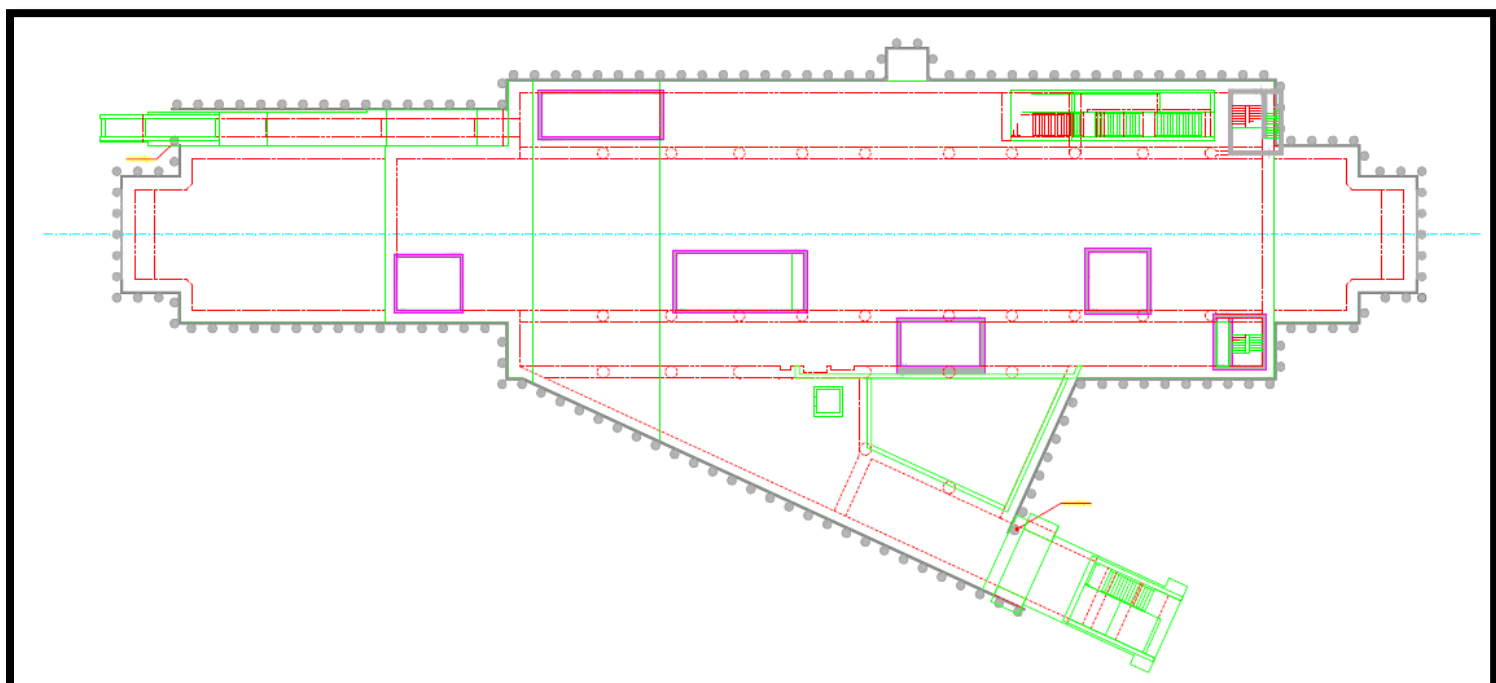
**Σχήμα 4.21** Σχηματική αναπαράσταση – Κάτοψη Επιπέδου αποβάθρων Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).



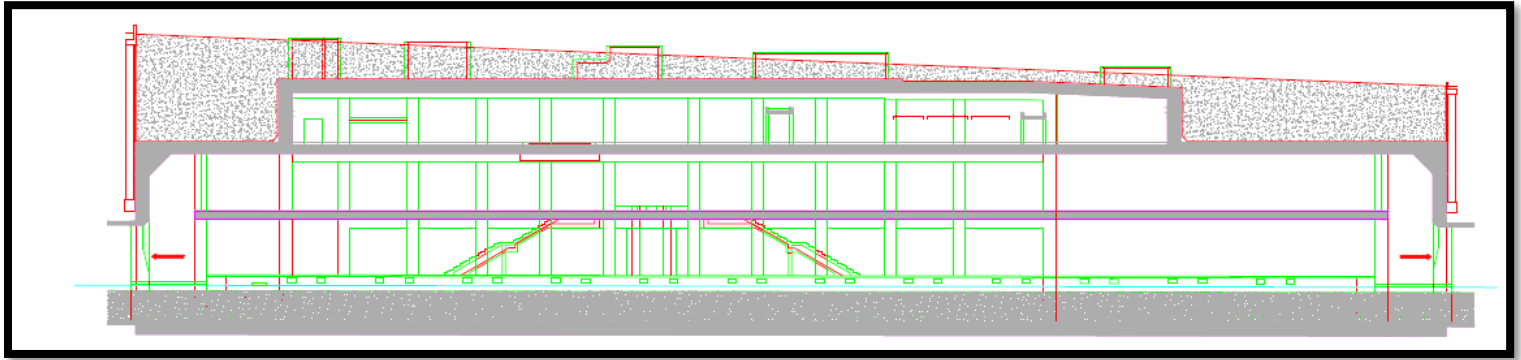
**Σχήμα 4.22** Σχηματική αναπαράσταση – Κάτοψη Επιπέδου Έκδοσης εισιτηρίων Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).



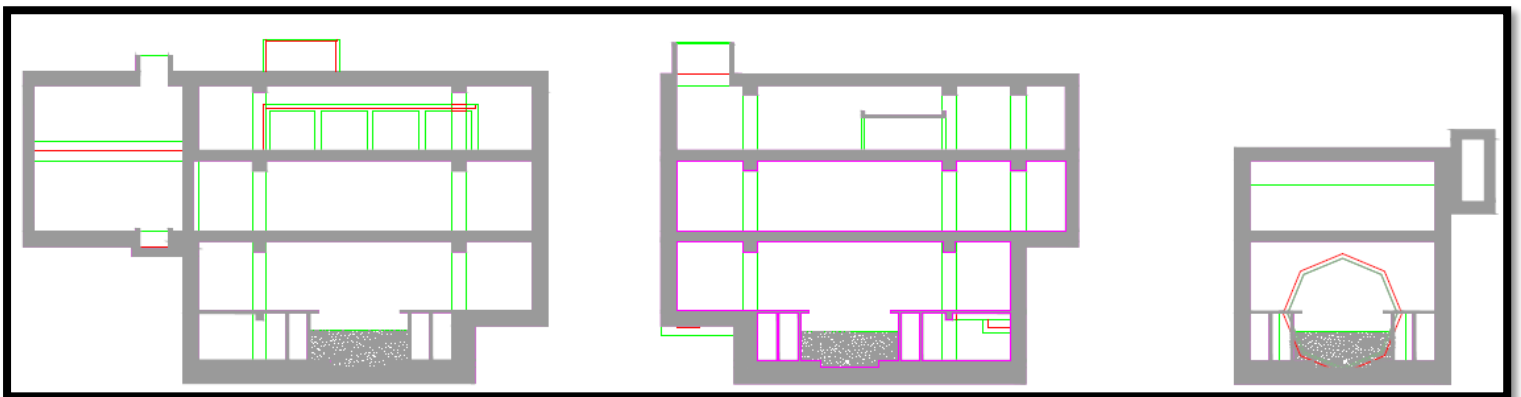
**Σχήμα 4.23** Σχηματική αναπαράσταση – Κάτοψη Μηχανολογικού ορόφου Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).



**Σχήμα 4.24** Σχηματική αναπαράσταση – Κάτοψη Οροφής Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).



**Σχήμα 4.25** Σχηματική αναπαράσταση Τυπικής μηκοτομής Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).



**Σχήμα 4.26** Σχηματική αναπαράσταση Εγκάρσιων τομών Σταθμού Αγίας Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).

Η κατασκευή του μόνιμου φορέα πέρασε από τις εξής φάσεις κατασκευής:

- ❖ Αρχικά έγιναν η εκσκαφή και η προσωρινή αντιστήριξη του σταθμού, ακολουθώντας την μελέτη Προσωρινής Αντιστήριξης.
- ❖ Σε ένα επόμενο στάδιο τοποθετήθηκε το σύστημα υδατοστεγάνωσης του πυθμένα όπως ορίζεται από τις σχετικές Προδιαγραφές Πολιτικού Μηχανικού, προνοώντας για τις αναμονές των υλικών προκειμένου να συνεχιστεί το σύστημα στα τοιχώματα.
- ❖ Ακολούθως τοποθετήθηκαν σταδιακά οι οπλισμοί, οι αναμονές τοιχωμάτων και σκυροδετήθηκε η πλάκα θεμελίωσης και έγινε, κατάλληλα, η διαμόρφωση της περιοχής όπου πραγματοποιήθηκε η διέλευση του TBM.
- ❖ Μετά και την διέλευση του TBM προχώρησε το σύστημα υδατοστεγάνωσης και στα τοιχώματα.
- ❖ Ακολούθησε η τοποθέτηση οπλισμού και η σκυροδέτηση τοιχωμάτων και υποστυλωμάτων μέχρι το επίπεδο της κάτω στάθμης των πλακών.



Αφού σκυροδετήθηκαν και οι πλάκες η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε μέχρι και την σκυροδέτηση της πλάκας οροφής.

- ❖ Επόμενη φάση ήταν να τοποθετηθούν σταδιακά οι οπλισμοί και οι αναμονές τοιχωμάτων, να σκυροδετηθεί η πλάκα θεμελίωσης της εξόδου επί της λεωφόρου Ελ. Βενιζέλου προς νότο και όπως και στις προηγούμενες φάσεις να συνεχιστεί το σύστημα υδατοστεγάνωσης στα τοιχώματα της εξόδου. Τελικά τοποθετήθηκε ο οπλισμός και σκυροδετήθηκαν τα τοιχώματα και τα υποστυλώματα μέχρι το επίπεδο της κάτω στάθμης της οροφής της εξόδου.
- ❖ Σε ένα τελευταίο στάδιο μονώθηκε η οροφή όπως ορίζεται στις Προδιαγραφές Υλικών και Εργασιών Έργων Πολιτικού Μηχανικού και αφού ολοκληρώθηκε η σκυροδέτηση και μόνωση της οροφής καθαιρέθηκαν οι πάσσαλοι στο επίπεδο της στάθμης που απαιτήθηκε και έγινε επανεπίχωση της οροφής όπως ορίζει η Αρχιτεκτονική Μελέτη.

Το σύστημα υδατοστεγάνωσης όπως περιεγράφηκε και παραπάνω εφαρμόστηκε μετά το πέρας των εργασιών εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης του σταθμού. Τα γενικά στοιχεία της αποστράγγισης/στεγάνωσης του φορέα, όπως περιγράφονται και στην Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής, είναι τα εξής:

- « Γεωύφασμα βάρους με ελάχιστη μάζα/επιφάνεια  $800\text{g/m}^2$ .»
- « Στεγανωτική μεμβράνη ελάχιστου πάχους  $3.0\text{ mm}$ .»
- « Στεγανωτικές ταινίες κατασκευαστικών αρμών, ελάχιστου πλάτους  $320\text{ mm}$ .»
- « Στεγανωτικές ταινίες αρμών συστολής, ελάχιστου πλάτους  $320\text{ mm}$ .»
- « Στεγανωτικές ταινίες αρμών διαμερισματοποίησης, ελάχιστου πλάτους  $320\text{ mm}$ .»

Μεταξύ των στεγανωτικών ταινιών και της στεγανωτικής μεμβράνης υπάρχει πλήρης συμβατότητα. Τέλος η στεγάνωση διαμερισματοποιήθηκε σε τμήματα μέγιστης επιφάνειας  $25\text{ cm}^2$  και κατασκευάστηκαν σωλήνες εισπίεσης ενέματος με συχνότητα τουλάχιστον 1 ανά  $50\text{ m}^2$ .

Όσο αναφορά τις Παραδοχές των υλικών κατασκευής, τα υλικά κατασκευής της μόνιμης επένδυσης, σύμφωνα με την Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής, είναι τα εξής:

- « Οπλισμένο σκυρόδεμα C30/37 »
- « Άοπλο σκυρόδεμα C12/15, C16/20 »
- « Χάλυβας οπλισμού B500C »
- « Χάλυβας δομικός S235, S275 »

Και οι παράμετροι των υλικών κατασκευής:

« Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος φορέα:  $32837\text{ Mpa}$

Μοναδιαίο βάρος οπλισμένου σκυροδέματος:  $25\text{kN/m}^3$

Μοναδιαίο βάρος άοπλου σκυροδέματος:  $23\text{kN/m}^3$

Συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος:  $\gamma_c=1.50/0.85$

Συντελεστής ασφαλείας χάλυβα:  $\gamma_s=1.15$

Σημειώνεται ότι η ανάλυση του φορέα με συνδυασμούς λειτουργικότητας (έλεγχος ρηγματώσης), γίνεται με μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος σε στάδιο II, σύμφωνα με τον ΕΚΩΣ, ίσο με  $(2/3) \cdot 32837 = 21891.33 \text{ MPa}$ . »

Τέλος οι επικαλύψεις οπλισμού που εφαρμόστηκαν στα διάφορα μέλη της κατασκευής, όπως παρουσιάζονται και στην Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής, παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Εξωτερικές επιφάνειες σε άμεση επαφή με ύδατα, με το έδαφος, ή με σκυρόδεμα εξομαλυντικής στρώσεως και με ύπαρξη υδατοστεγούς μεμβράνης	min. 5cm
Εξωτερικές όψεις εκτεθειμένες στις καιρικές συνθήκες	min. 4cm (συνδετήρες 3cm)
Εσωτερικές επιφάνειες εκτεθειμένες μόνο στην ατμόσφαιρα	min. 4cm (συνδετήρες 3cm)

**Πίνακας 4.1** Προδιαγραφές επικαλύψεων οπλισμών (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).

Για τις σεισμικές παραμέτρους τηρήθηκαν οι προδιαγραφές κατά τον Ε.Α.Κ./2000 και οι σχετικές των Μελετών Έργων Π.Μ. της Α.Μ. και είναι οι ακόλουθες όπως παρουσιάζονται και στην Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής:

- « Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας : I
- Σεισμική επιτάχυνση εδάφους : 0.16g
- Συντελεστής σπουδαιότητας :  $\gamma_1 = 1.15$  (Σ3)
- Συντελεστής μετελαστικής συμπεριφοράς :  $q = 1.00$
- Συντελεστής θεμελίωσης :  $\theta = 1.00$
- Συντελεστής φασματικής ενίσχυσης :  $\beta_0 = 2.50$  »

Η στατική ανάλυση του φορέα έγινε με την χρήση του προγράμματος SOFiSTiK. Η προσομοίωση ήταν χωρική με επιφανειακά και ραβδωτά στοιχεία. Επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία αποτέλεσαν οι πλάκες και τα τοιχώματα και ραβδωτά με κατάλληλη διατομή αποτέλεσαν τα υποστυλώματα και τα δοκάρια. Πραγματοποιήθηκε κατηγοριοποίηση πεπερασμένων στοιχείων των μελών του στατικού προσομοιώματος σε group. Το κριτήριο ήταν η θέση τους και η αρίθμηση τους έγινε με βάση τον αριθμό του group στο οποίο έγινε η ένταξή του. Τα group όπως και ο τύπος τους παρατίθενται στην Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής και παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες:

1	Πλάκες επιπέδου αποβάθρων	Επιφανειακά
2	Πλάκες επιπέδου έκδοσης εισιτηρίων (εσωτερικές)	Επιφανειακά
3	Πλάκες μηχανολογικού ορόφου (εξωτερικές)	Επιφανειακά
4	Πλάκες οροφής	Επιφανειακά
5	Πλάκες επιπέδου οδού	Επιφανειακά
8	Στοιχεία προσαρμογής με σήραγγα TBM	Ραβδωτά
10	Πλάκες κλιμακοστασίων	Επιφανειακά
11	Τοιχώματα υποστήριξης κλιμάκων	Επιφανειακά
13	Πλάκες μηχανολογικού ορόφου (εσωτερικές)	Επιφανειακά
14	Κεκλιμένη πλάκα εξόδου προς πλατεία Αγ. Ελεούσας	Επιφανειακά
15	Πλάκες κυλιόμενων κλιμάκων	Επιφανειακά
21	Πλάκες δαπέδου αεραγωγών UPE	Επιφανειακά
23	Πλάκες μεσοπατώματος	Επιφανειακά
24	Πλάκες ενδιάμεσου δαπέδου οικίσκου ΔΕΗ	Επιφανειακά
70	Πλάκα θεμελίωσης εξόδου επί λεωφόρου Ελ. Βενιζέλου (προς νότο)	Επιφανειακά
71	Τοιχώματα εξόδου επί λεωφόρου Ελ. Βενιζέλου (προς νότο) σε επαφή με έδαφος	Επιφανειακά
72	Τοιχώματα εξόδου επί λεωφόρου Ελ. Βενιζέλου προς νότο) σε επαφή με το σταθμό	Επιφανειακά
75	Οροφή εξόδου επί λεωφόρου Ελ. Βενιζέλου (προς νότο)	Επιφανειακά
80	Πλάκα θεμελίωσης στο πλάτος διέλευσης του συρμού	Επιφανειακά
81	Πλευρικά τοιχώματα αντλιοστασίου	Επιφανειακά
82	Εσωτερικά τοιχώματα αντλιοστασίου	Επιφανειακά
83	Πλάκα θεμελίωσης στο πλάτος διέλευση του TBM	Επιφανειακά
90	Πλάκα θεμελίωσης κάτω από τις αποβάθρες	Επιφανειακά
91	Πλάκα θεμελίωσης στο επίπεδο των αποβάθρων	Επιφανειακά

**Πίνακας 4.2** Κατηγοριοποίηση επιφανειακών και ραβδωτών στοιχείων του φορέα του σταθμού Αγ. Βαρβάρας σε group (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).

92	Πλάκα θεμελίωσης στο επίπεδο έκδοσης εισιτηρίων	Επιφανειακά
93	Πλάκα θεμελίωσης αντλιοστασίου	Επιφανειακά
100	Υποστυλώματα (εντός αντλιοστασίου)	Ραβδωτά
101	Υποστυλώματα (από στάθμη θεμελίωσης έως στάθμη αποβάθρων)	Ραβδωτά
102	Υποστυλώματα (από στάθμη αποβάθρων έως επίπεδο έκδοσης εισιτηρίων)	Ραβδωτά
103	Υποστυλώματα (από επίπεδο έκδοσης εισιτηρίων έως στάθμη μηχανολογικού ορόφου)	Ραβδωτά
104	Υποστυλώματα (από στάθμη μηχανολογικού ορόφου έως οροφή)	Ραβδωτά
151	Υποστυλώματα υποστήριξης μεσοπατώματος	Ραβδωτά
201	Εξωτερικά τοιχώματα (από στάθμη θεμελίωσης έως στάθμη αποβάθρων)	Επιφανειακά
202	Εξωτερικά τοιχώματα (από στάθμη αποβάθρων έως επίπεδο έκδοσης εισιτηρίων)	Επιφανειακά
203	Εξωτερικά τοιχώματα (από επίπεδο έκδοσης εισιτηρίων έως στάθμη μηχανολογικού ορόφου)	Επιφανειακά
204	Εξωτερικά τοιχώματα (από στάθμη μηχανολογικού ορόφου έως οροφή)	Επιφανειακά
205	Εξωτερικά τοιχώματα (πάνω από την οροφή)	Επιφανειακά
221	Εσωτερικά τοιχώματα (από στάθμη θεμελίωσης έως στάθμη αποβάθρων)	Επιφανειακά
222	Εσωτερικά τοιχώματα (από στάθμη αποβάθρων έως επίπεδο έκδοσης εισιτηρίων)	Επιφανειακά
223	Εσωτερικά τοιχώματα (από επίπεδο έκδοσης εισιτηρίων έως στάθμη μηχανολογικού ορόφου)	Επιφανειακά
224	Εσωτερικά τοιχώματα (από στάθμη μηχανολογικού ορόφου έως οροφή)	Επιφανειακά
235	Κεκλιμένη πλάκα οροφής στην έξοδο επί λεωφόρου Ελ. Βενιζέλου (προς βορρά)	Επιφανειακά
251	Τοιχώματα υποστήριξης μεσοπατώματος	Επιφανειακά
301	Δοκοί στη στάθμη αποβάθρων	Ραβδωτά
302	Δοκοί στο επίπεδο έκδοσης εισιτηρίων	Ραβδωτά
303	Δοκοί στη στάθμη μηχανολογικού ορόφου	Ραβδωτά
304	Δοκοί οροφής	Ραβδωτά
313	Δοκοί μεσοπατώματος	Ραβδωτά

**Πίνακας 4.3** Κατηγοριοποίηση επιφανειακών και ραβδωτών στοιχείων του φορέα του σταθμού Αγ. Βαρβάρας σε group (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).

Μη γραμμικά ελατήρια χρησιμοποιήθηκαν στο προσομοίωμα της έδρασης της πλάκας θεμελίωσης στην κατακόρυφη και οριζόντια διεύθυνση (kv και kh αντίστοιχα). Για τα ελατήρια αυτά οι μη γραμμικές παράμετροι, των οποίων έγινε χρήση, όπως παρουσιάζονται και στην Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό, είναι οι εξής:

- « μηδενική αντοχή σε εφελκυσμό για την ορθή διεύθυνση δράσης. »
- « διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας θεμελίωσης για την οριζόντια διεύθυνση δράσης. Ο συντελεστής τριβής θα θεωρείται ίσος με την τιμή της ασθενέστερης διεπιφάνειας, που είναι μεταξύ της μεμβράνης PVC/γεωφύλακτος και της θεμελίωσης λαμβάνεται ίσος με  $\mu=0.20$  (βλ. ACI 360R-10 ch. 9.3). Έτσι, το εφαπτομενικό (οριζόντιο ελατήριο) παραλαμβάνει οριζόντια δύναμη "Fh", μόνο μέχρι την τιμή διατμητικής αντοχής "Fv\*μ", όπου "Fv" είναι η αντίστοιχη κατακόρυφη θλιπτική δύναμη που αναπτύσσεται. »

Αμελητέα θεωρήθηκε, εξαιτίας της διάταξης του συστήματος υδατοστεγάνωσης, η οριζόντια αντίδραση του εδάφους στα κατακόρυφα τοιχώματα όταν δρουν τα μόνιμα φορτία, και για αυτό τον λόγο δεν υπεισέρχεται στους υπολογισμούς. Οι περιπτώσεις στις οποίες κρίθηκε απαραίτητο να συνυπολογιστεί στην στατική ανάλυση η αντίδραση αυτή ήταν είτε όταν παρατηρήθηκαν σημαντικές μετακινήσεις κατά την ασύμμετρη ώθηση από τα παρακείμενα κτήρια είτε στους συνδυασμούς των σεισμικών δράσεων. Τέλος για την υλοποίηση του αρμού συστολής με διαμόρφωση τώρμος – εντορμία, που υπάρχει για να συνδεθούν τα μέλη του τμήματος της εξόδου προς τη λεωφόρο Ελ. Βενιζέλου με τον σταθμό, χρησιμοποιήθηκαν μη γραμμικά ελατήρια. Τα ελατήρια αυτά έχουν στην αντίθετη με τον σταθμό διεύθυνση μηδενική αντοχή σε εφελκυσμό και στη εγκάρσια στον σταθμό διεύθυνση δεν επιτρέπουν μετακινήσεις.

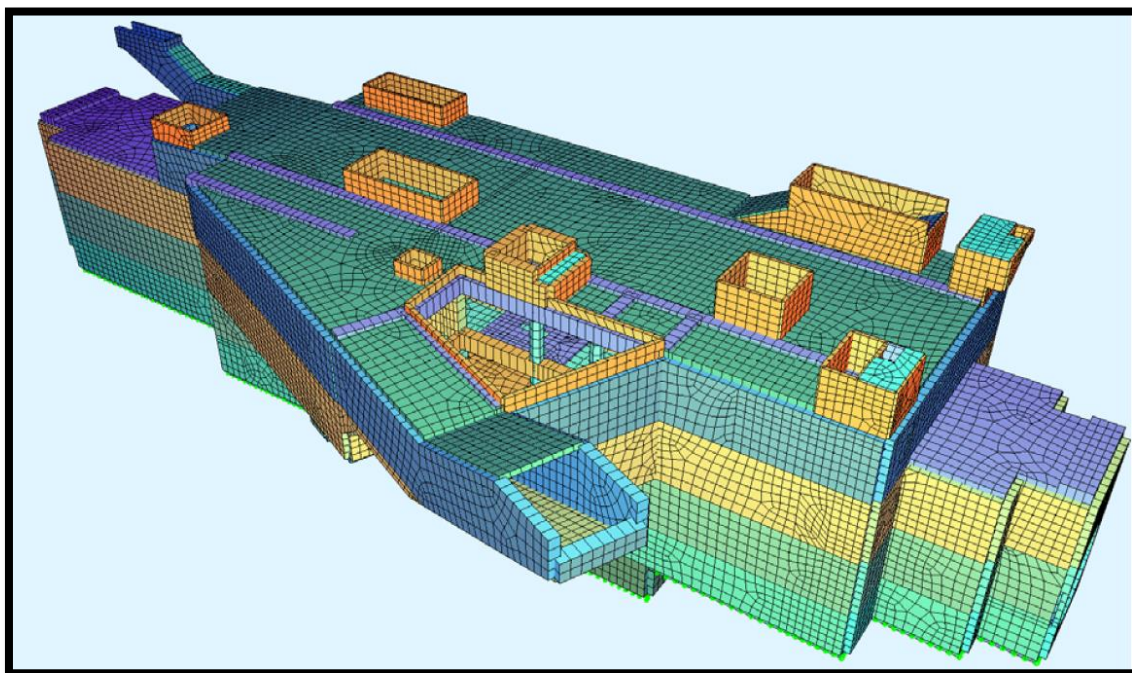
Τέσσερα διαφορετικά προσομοιώματα χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να πραγματοποιηθούν όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι σε στατική επάρκεια του φορέα του σταθμού. Σε αυτά τα προσομοιώματα εφαρμόστηκαν και οι αντίστοιχες φορτίσεις σε διάφορους συνδυασμούς, προκειμένου να ελεγχθούν όλα τα πιθανά σενάρια φορτίσεων. Τα προσομοιώματα σχεδιάστηκαν με τέτοιο τρόπο που ακολουθούσαν τις φάσεις κατασκευής του σταθμού και, όπως περιγράφονται και στην Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό, αυτά είναι:

- « Προσομοίωμα 1: Διέλευση του TBM από την πλάκα θεμελίωσης. »
- « Προσομοίωμα 2: Έλεγχος σταθμού στη φάση λειτουργίας. »
- « Προσομοίωμα 3: Έλεγχος σταθμού στη φάση λειτουργίας με ύπαρξη μελλοντικού κτηρίου με υπόγεια παραπλεύρως, προς την πλευρά της οδού Ελ. Βενιζέλου. Σε αυτή τη φάση, τα οριζόντια ελατήρια στις περιοχές των τοιχωμάτων που

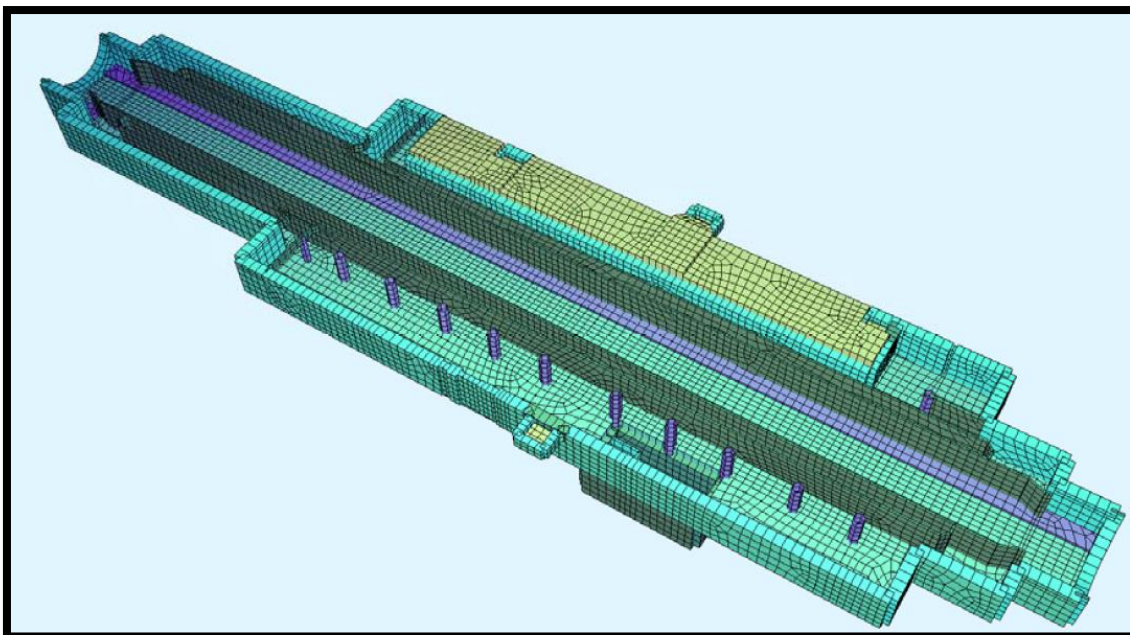
συνορεύουν με το μελλοντικό υπόγειο καταργούνται για τους σεισμικούς συνδυασμούς φορτίσεων.»

- « Προσομοίωμα 4: Έλεγχος σταθμού στη φάση λειτουργίας με ύπαρξη μελλοντικού κτηρίου με υπόγεια παραπλεύρως, προς την πλευρά της πλατείας του Ιερού Ναού της Αγ. Ελεούσας. Σε αυτή τη φάση, τα οριζόντια ελατήρια στις περιοχές των τοιχωμάτων που συνορεύουν με το μελλοντικό υπόγειο καταργούνται για τους σεισμικούς συνδυασμούς φορτίσεων.»

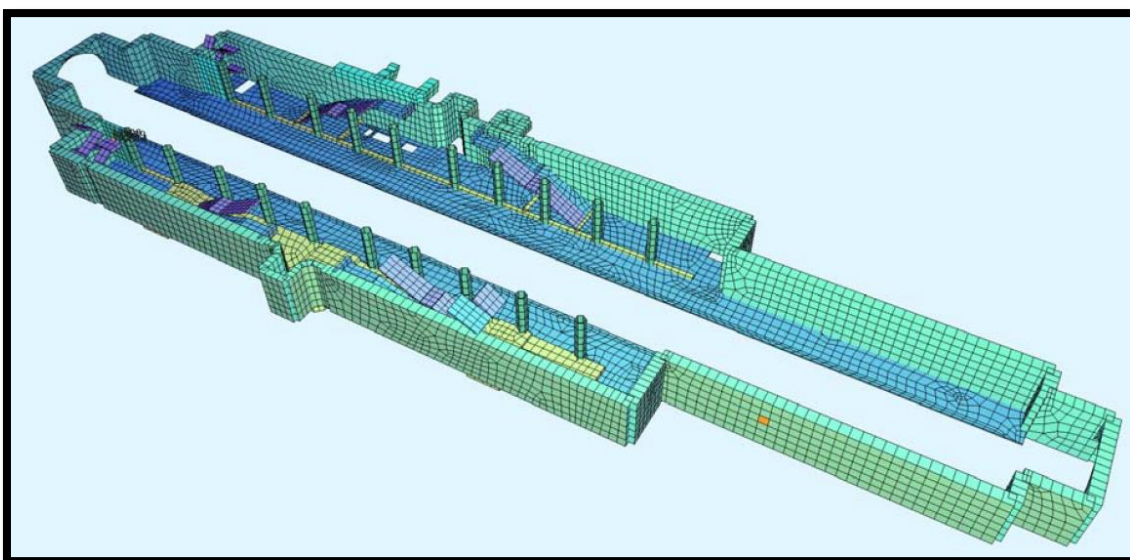
Στα στατιστικά αυτά προσομοιώματα έγινε εισαγωγή των στοιχείων της κατασκευής του σταθμού με τρόπο που παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες.



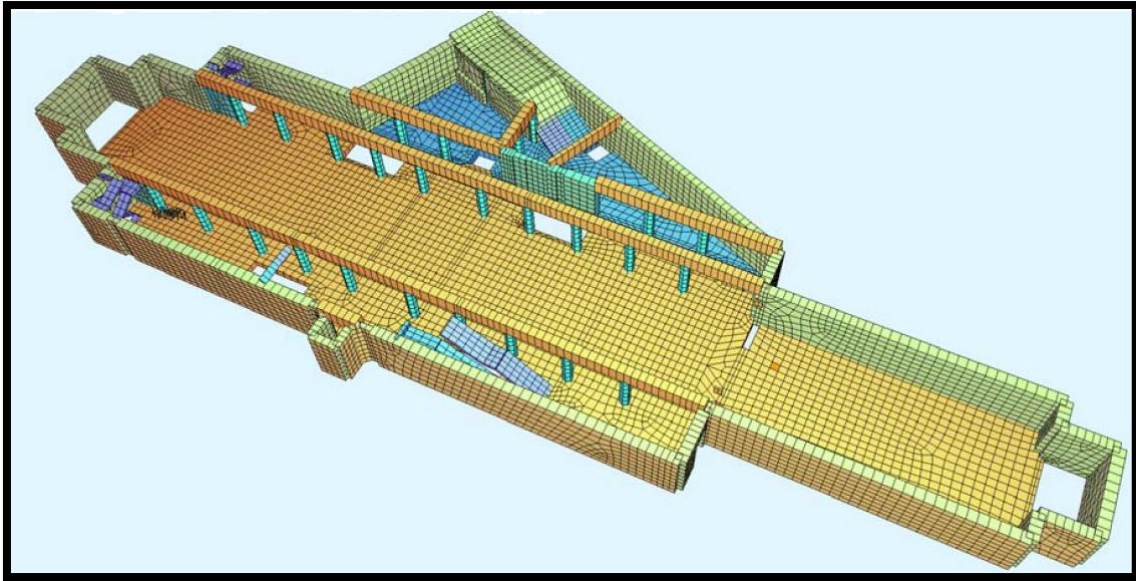
**Εικόνα 4.5** Συνολικό προσομοίωμα σταθμού Αγ. Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).



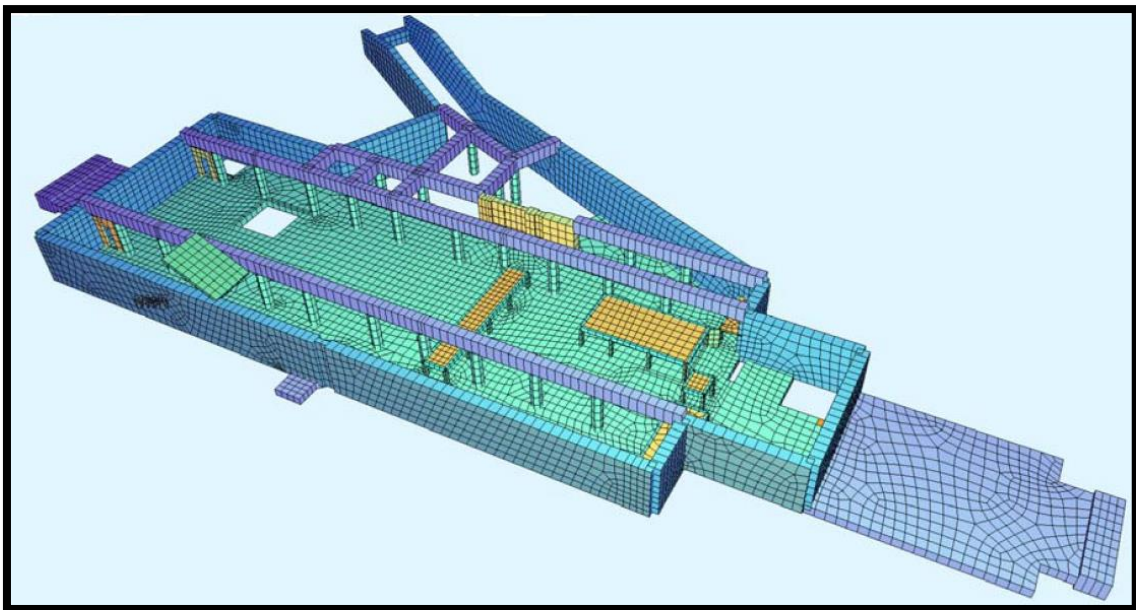
**Εικόνα 4.6** Προσομοίωμα πλάκας θεμελίωσης σταθμού Αγ. Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).



**Εικόνα 4.7** Προσομοίωμα πλακών αποβάθρων και κλιμακοστασίων σταθμού Αγ. Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).

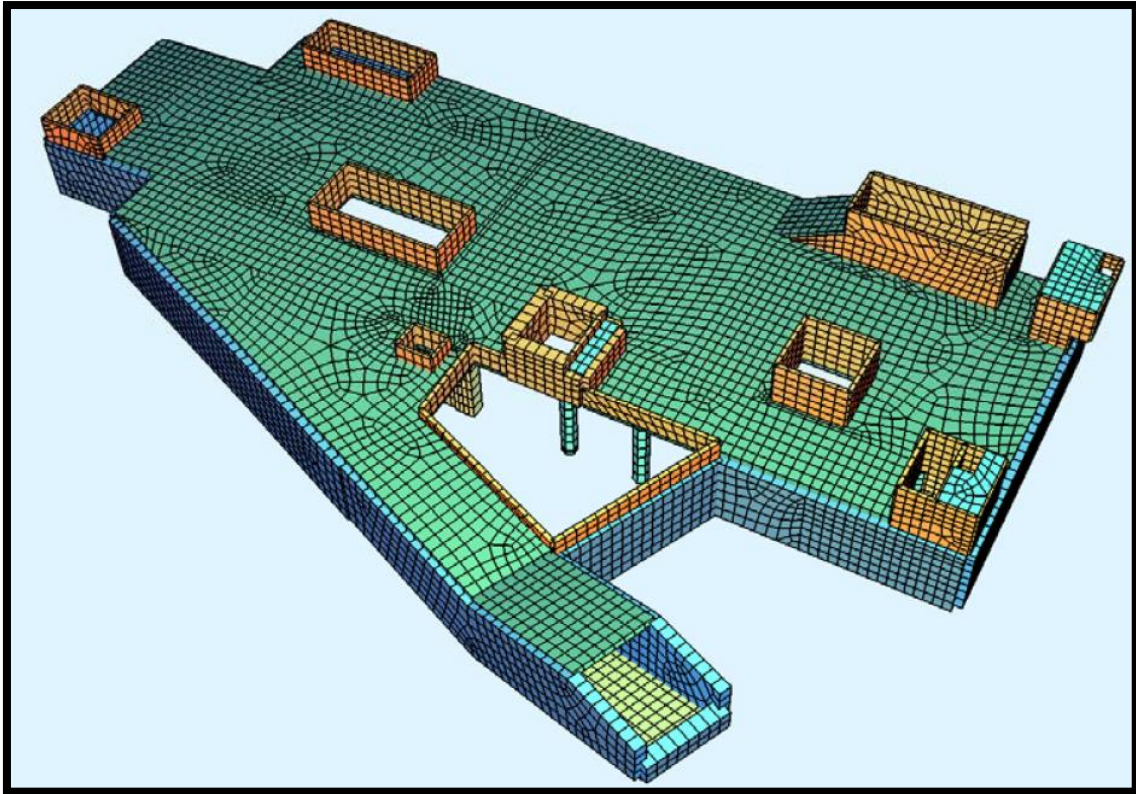


**Εικόνα 4.8** Προσομοίωμα πλάκας έκδοσης εισιτηρίων σταθμού Αγ. Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).

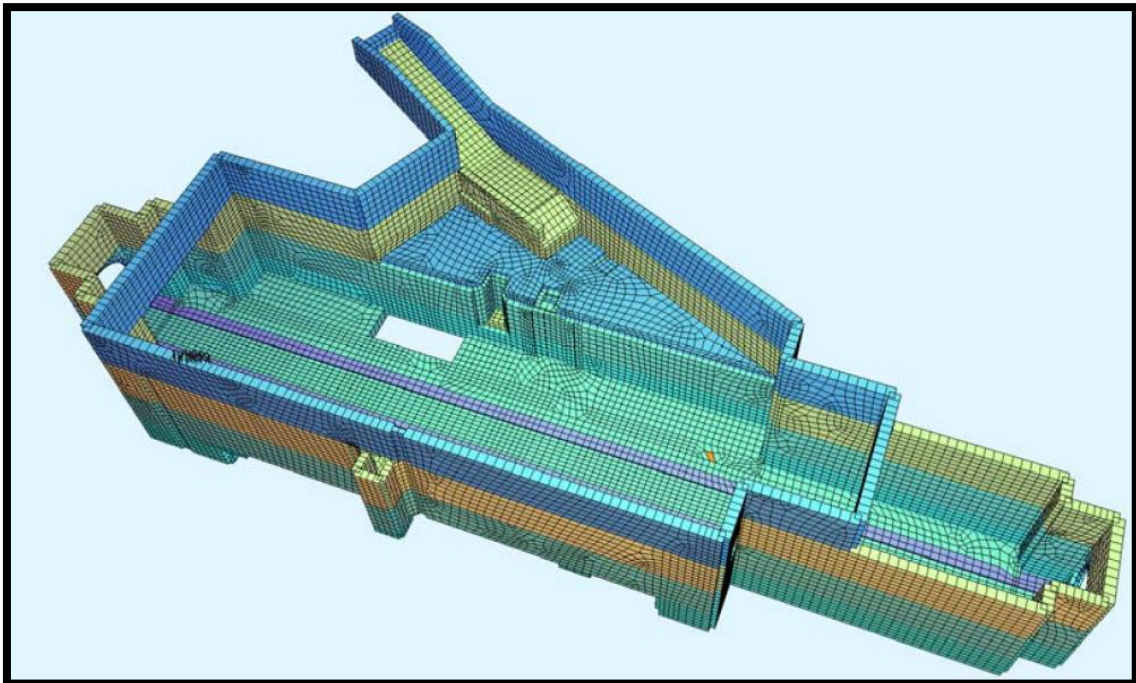


**Εικόνα 4.9** Προσομοίωμα πλάκας μηχανολογικού ορόφου σταθμού Αγ. Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).

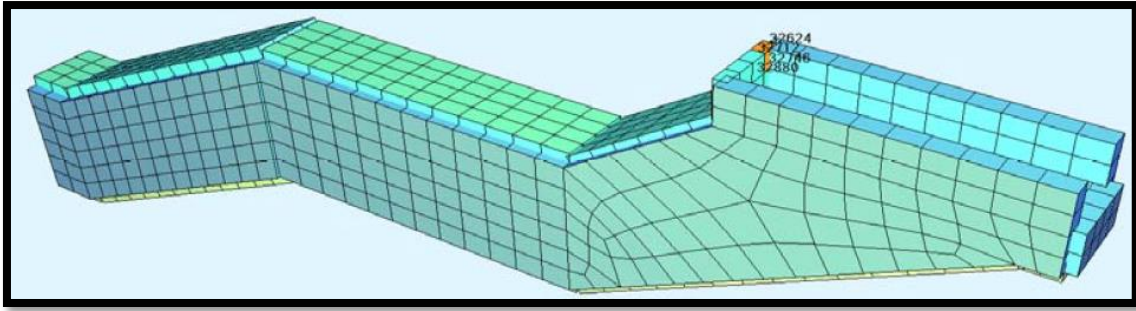




**Εικόνα 4.10** Προσομοίωμα πλάκας οροφής σταθμού Αγ. Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).



**Εικόνα 4.11** Προσομοίωμα περιμετρικών τοιχωμάτων σταθμού Αγ. Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).



**Εικόνα 4.12** Προσομοίωμα κατασκευής εξόδου επί λεωφόρου Ελ. Βενιζέλου (νότια) σταθμού Αγ. Βαρβάρας (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).

Οι φορτίσεις που εισήλθαν στους υπολογισμούς για την επίλυση των στατικών προσομοιωμάτων ακολουθώντας τις σχετικές προδιαγραφές των Μελετών Έργων Π.Μ. της Α.Μ. περιγράφονται αναλυτικά στην Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό και είναι συνοπτικά οι εξής:

« LC 1. Ίδιο βάρος φορέα

LC 201. Μόνιμα φορτία επίχωσης στην πλάκα οροφής

LC 202. Μόνιμα φορτία επίχωσης στην πλάκα οροφής για τον Έλεγχο Άνωσης

LC 3. Μόνιμα στις εσωτερικές πλάκες και στην πλάκα θεμελίωσης

LC 4. Μόνιμα φορτία από τοιχοποιία

LC 5. Κινητά φορτία στην επιφάνεια: α) Οδική κυκλοφορία β) Χώροι πρασίνου

LC 6. Κινητά φορτία πλακών

LC 7. Φορτία κατασκευών κυλιόμενων κλιμάκων

LC 8. Κινητά φορτία συρμών

LC 9. Ωθήσεις ηρεμίας στα τοιχώματα

LC10. Ωθήσεις ηρεμίας στα τοιχώματα με υδροστατική πίεση

LC 11. Υδροστατική πίεση στα τοιχώματα και στην πλάκα θεμελίωσης

Η φόρτιση LC11 συμμετέχει ταυτόχρονα με την φόρτιση LC10.

LC 121. Πρόσθετες ωθήσεις από παράπλευρες κατασκευές [Δεξιά]

Η φόρτιση LC11 συμμετέχει ταυτόχρονα με την φόρτιση LC10.

LC 122. Πρόσθετες ωθήσεις από παράπλευρες κατασκευές [Αριστερά]

LC 13. Συστολή ξήρανσης

LC 141. Ομοιόμορφη μεταβολή θερμοκρασίας [Αύξηση]

LC 142. Ομοιόμορφη μεταβολή θερμοκρασίας [Μείωση]

LC 151. Οριζόντιες σεισμικές αδρανειακές δυνάμεις [X]

LC 152. Οριζόντιες σεισμικές αδρανειακές δυνάμεις [Y]

LC 153. Κατακόρυφες σεισμικές αδρανειακές δυνάμεις

LC 17. Πρόσθετες σεισμικές ωθήσεις

Για τα προσομοιώματα 3 και 4, στα οποία ελέγχεται η ύπαρξη μελλοντικού κτιρίου με υπόγεια παραπλεύρως του σταθμού οι φορτίσεις με αριθμό LC9 και LC10 τροποποιούνται ως εξής:

LC 9. Ωθήσεις ηρεμίας στην περίπτωση μελλοντικού κτιρίου με υπόγεια

LC 10. Ωθήσεις ηρεμίας στην περίπτωση μελλοντικού κτιρίου με υπόγεια με Υδροστατική Πίεση

Για το προσομοίωμα 1, στα οποία ελέγχεται η διέλευση του TBM από το σταθμό εφαρμόζονται οι ακόλουθες φορτίσεις:

LC 2001,2002,2003. Φορτίσεις διέλευσης TBM και συστήματος υποστήριξης.

LC 2004. Πλαισίου εκκίνησης TBM.»

Τέλος σύμφωνα με το τεύχος όπου αναφέρονται οι σχετικές προδιαγραφές των έργων πολιτικού μηχανικού, οι συνδυασμοί φορτίσεων οι οποίοι λήφθηκαν υπόψη προκειμένου να προκύψει η διαστασιολόγηση των μελών της κατασκευής του σταθμού παρατίθενται στην Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό και ενδεικτικά παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες τρεις από αυτούς:

		ULS 1	ULS 2	ULS 3	ULS 4	ULS 5	ULS 6	ULS 7	ULS 8	ULS 9	ULS 10
		ΑΣΤΟΧΙΑΣ - ΣΤΑΤΙΚΟΙ									
	LC	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010
ΙΔΙΟ ΒΑΡΟΣ ΑΝΩΔΟΜΗΣ	1	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
ΕΠΙΧΩΣΗ ΟΡΟΦΗΣ	201	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
ΕΠΙΧΩΣΗ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΑΝΩΣΗΣ	202	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ΜΟΝΙΜΑ ΣΤΙΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΛΑΚΕΣ	3	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
ΜΟΝΙΜΟ ΦΟΡΤΙΟ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ	4	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
ΚΙΝΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	5	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50
ΚΙΝΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΠΛΑΚΩΝ	6	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50
ΚΙΝΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΥΛΙΟΜΕΝΩΝ ΚΛΙΜΑΚΩΝ	7	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50
ΚΙΝΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΣΥΡΜΩΝ	8	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50
ΩΘΗΣΕΙΣ ΗΡΕΜΙΑΣ [1]	9	0.00	0.00	0.00	1.35	0.00	1.35	0.00	1.35	0.00	0.00
ΩΘΗΣΕΙΣ ΗΡΕΜΙΑΣ [2]	10	0.00	0.00	0.00	0.00	1.35	0.00	1.35	0.00	1.35	0.00
ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ	11	0.00	0.00	0.00	0.00	1.35	0.00	1.35	0.00	1.35	0.00
ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΩΘΗΣΕΙΣ [ΔΕΞΙΑ]	121	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.35	1.35	0.00	0.00	0.00
ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΩΘΗΣΕΙΣ [ΑΡΙΣΤΕΡΑ]	122	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.35	1.35	0.00
ΣΥΣΤΟΛΗ ΞΗΡΑΝΣΗΣ	13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ [ΑΥΞΗΣΗ]	141	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ [ΜΕΙΩΣΗ]	142	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**Πίνακας 4.4** Συνδυασμοί φορτίσεων αστοχίας – στατική επάρκεια (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).

		ULS 11	ULS 12	ULS 13	ULS 14	ULS 15	ULS 16	ULS 17	ULS 18	ULS 19	ULS 20
		ΑΣΤΟΧΙΑΣ - ΣΤΑΤΙΚΟΙ									
	LC	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020
ΙΔΙΟ ΒΑΡΟΣ ΑΝΩΔΟΜΗΣ	1	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
ΕΠΙΧΩΣΗ ΟΡΟΦΗΣ	201	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
ΕΠΙΧΩΣΗ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΑΝΩΣΗΣ	202	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ΜΟΝΙΜΑ ΣΤΙΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΛΑΚΕΣ	3	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
ΜΟΝΙΜΟ ΦΟΡΤΙΟ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ	4	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
ΚΙΝΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	5	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00
ΚΙΝΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΠΛΑΚΩΝ	6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1.50	1.50	1.50
ΚΙΝΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΥΛΙΟΜΕΝΩΝ ΚΛΙΜΑΚΩΝ	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1.50	1.50	1.50
ΚΙΝΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΣΥΡΜΩΝ	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1.50	1.50	1.50
ΩΘΗΣΕΙΣ ΗΡΕΜΙΑΣ [1]	9	1.35	0.00	1.35	0.00	1.35	0.00	0.00	1.35	0.00	1.35
ΩΘΗΣΕΙΣ ΗΡΕΜΙΑΣ [2]	10	0.00	1.35	0.00	1.35	0.00	1.35	0.00	0.00	1.35	0.00
ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ	11	0.00	1.35	0.00	1.35	0.00	1.35	0.00	0.00	1.35	0.00
ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΩΘΗΣΕΙΣ [ΔΕΞΙΑ]	121	0.00	0.00	1.35	1.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.35
ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΩΘΗΣΕΙΣ [ΑΡΙΣΤΕΡΑ]	122	0.00	0.00	0.00	0.00	1.35	1.35	0.00	0.00	0.00	0.00
ΣΥΣΤΟΛΗ ΞΗΡΑΝΣΗΣ	13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ [ΑΥΞΗΣΗ]	141	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ [ΜΕΙΩΣΗ]	142	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**Πίνακας 4.5** Συνδυασμοί φορτίσεων αστοχίας – στατική επάρκεια (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).

	SLS 51	SLS 52	SLS 53	SLS 54	SLS 55	SLS 56	SLS 57	SLS 58	SLS 59	SLS 60	
	ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗΣ										
	LC	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259	1260
ΙΔΙΟ ΒΑΡΟΣ ΑΝΩΔΟΜΗΣ	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ΕΠΙΧΩΣΗ ΟΡΟΦΗΣ	201	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ΕΠΙΧΩΣΗ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΑΝΩΣΗΣ	202	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ΜΟΝΙΜΑ ΣΤΙΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΛΑΚΕΣ	3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ΜΟΝΙΜΟ ΦΟΡΤΙΟ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ	4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ΚΙΝΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	5	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00
ΚΙΝΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΠΛΑΚΩΝ	6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00
ΚΙΝΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΥΛΙΟΜΕΝΩΝ ΚΛΙΜΑΚΩΝ	7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00
ΚΙΝΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΣΥΡΜΩΝ	8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00
ΩΘΗΣΕΙΣ ΗΡΕΜΙΑΣ [1]	9	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
ΩΘΗΣΕΙΣ ΗΡΕΜΙΑΣ [2]	10	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00
ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ	11	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00
ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΩΘΗΣΕΙΣ [ΔΕΞΙΑ]	121	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΩΘΗΣΕΙΣ [ΑΡΙΣΤΕΡΑ]	122	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00
ΣΥΣΤΟΛΗ ΞΗΡΑΝΣΗΣ	13	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ [ΑΥΞΗΣΗ]	141	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00
ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ [ΜΕΙΩΣΗ]	142	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00

**Πίνακας 4.6** Συνδυασμοί φορτίσεων – έλεγχος ρηγμάτων (πηγή: Τεχνική Έκθεση Στατικής Μελέτης Μόνιμης Κατασκευής της Αττικό Μετρό).

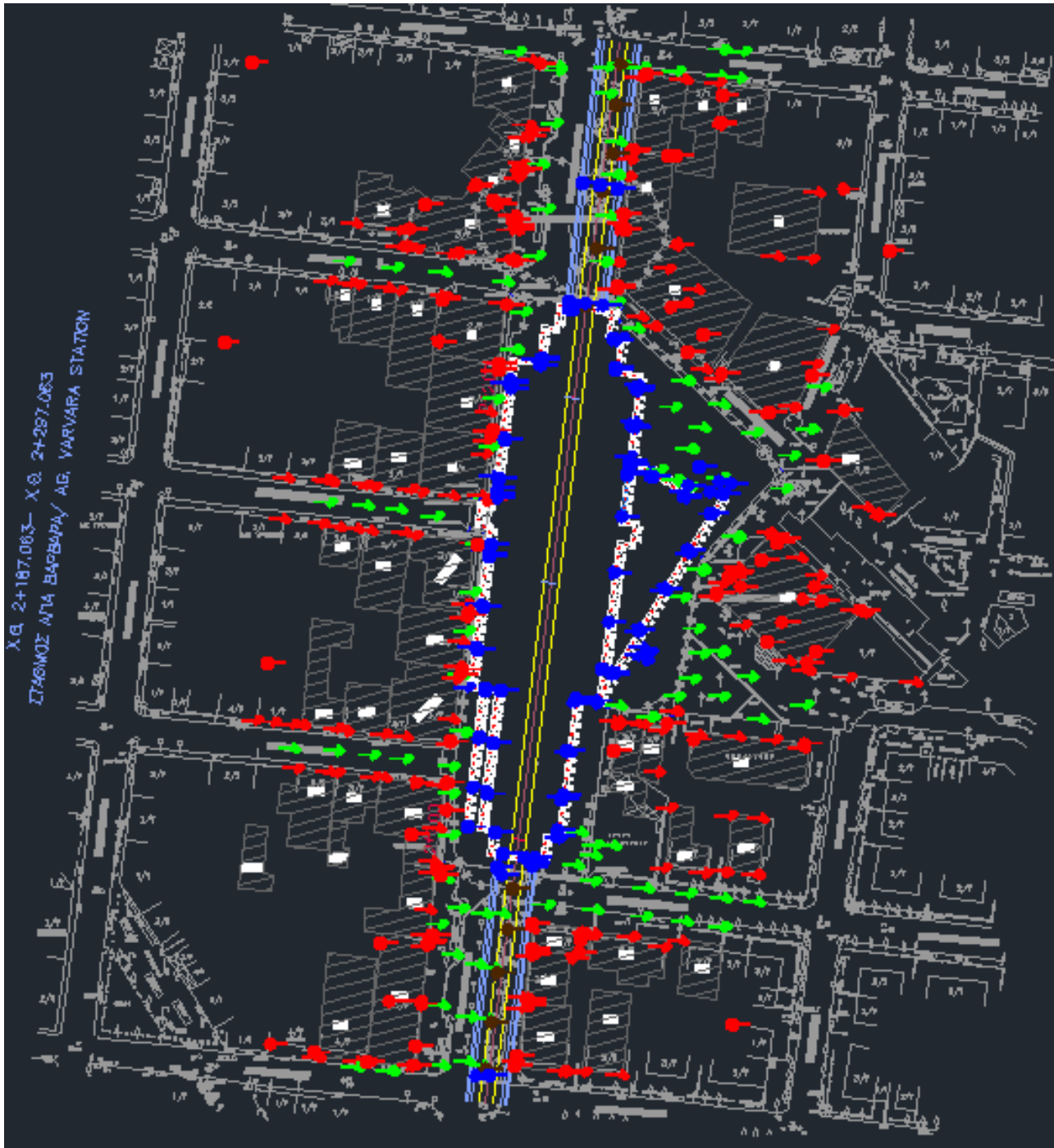
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Για την τοπογραφική παρακολούθηση του Έργου κατασκευής του Σταθμού της Αγ. Βαρβάρας τοποθετήθηκαν και πραγματοποιούνταν μετρήσεις με γεωδαιτικούς σταθμούς σε ανακλαστικές τρισδιάστατης παρακολούθησης (3D) τοποθετημένοι στο όρυγμα και στα κτήρια εντός της ζώνης επιρροής, καθώς και χωροσταθμικές μετρήσεις σε χωροσταθμικές ακίδες τοποθετημένες επί του κεφαλόδεσμου ή επί της βάσης των οικοδομικών γερανών, ακίδες επιφάνειας (πεζοδρομίου, δρόμου και εντός εργοταξιακού χώρου), και βαθιάς πάκτωσης σε κτήρια και όπου αλλού κρίθηκε απαραίτητο. Στον παρακάτω χάρτη απεικονίζονται σε οριζοντιογραφία οι θέσεις όλων των τοπογραφικών μαρτύρων (3D και χωροσταθμικών) που παρακολουθούνταν κατά την εξέλιξη των εργασιών κατασκευής και το υπόμνημα που τον συνοδεύει.

Εκκ.Στα.ακ.	▶	ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΕΣ ΑΚΙΔΕΣ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ
Εκκ.Στα.ακ.	▶	ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΕΣ ΑΚΙΔΕΣ ΕΠΙ ΤΟΥ ΚΕΦΑΛΟΔΕΣΜΟΥ / ΓΕΡΑΝΟΥ
Εκκ.Στα.ακ.	▶	ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΕΣ ΑΚΙΔΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ
Εκκ.Στα.ακ.	▶	ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΕΣ ΑΚΙΔΕΣ ΒΑΘΙΑΣ ΠΑΚΤΩΣΗΣ
Εκκ.3Dακ.ακ.	●	ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΕΣ 3D ΣΤΟ ΟΡΥΓΜΑ
Εκκ.3Dακ.ακ.	●	ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΕΣ 3D ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ

**Υπόμνημα 5.1** Υπόμνημα οριζοντιογραφίας απεικόνισης των θέσεων των τοπογραφικών μαρτύρων του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

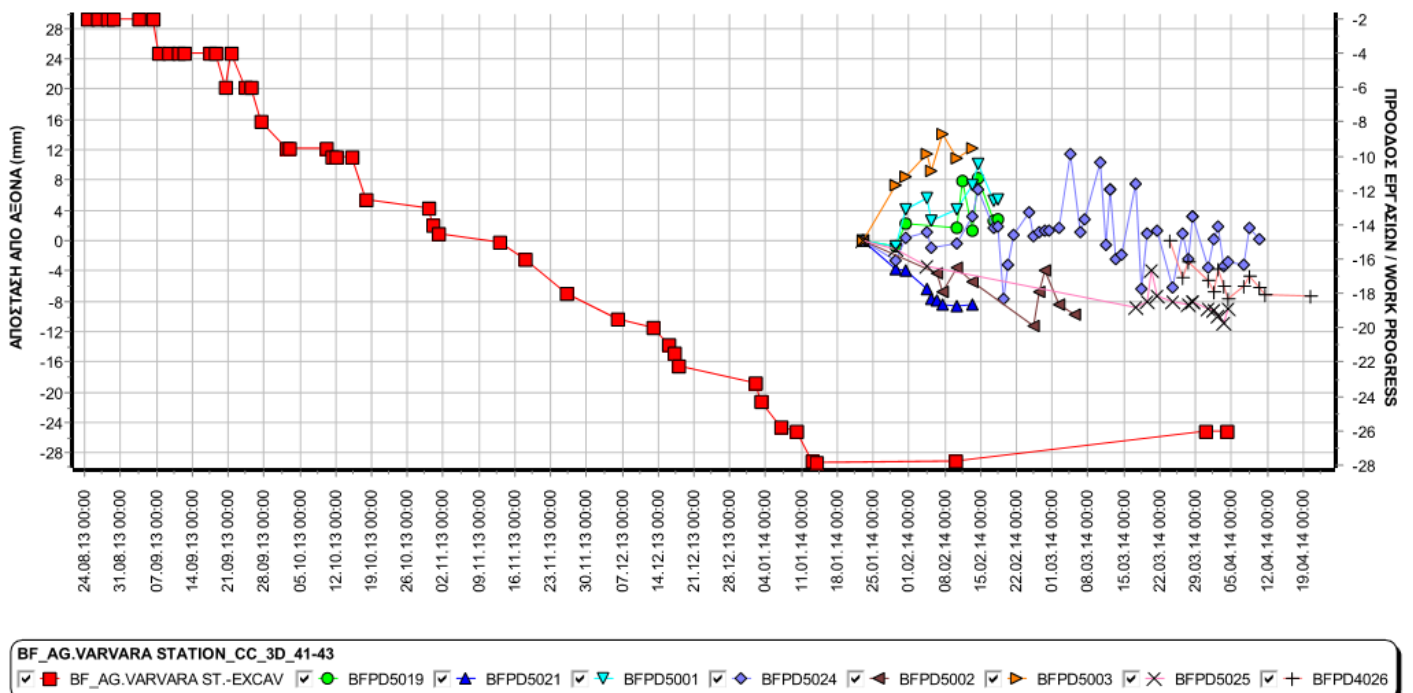


**Εικόνα 5.1** Οριζοντιογραφία απεικόνισης των θέσεων των τοπογραφικών μαρτύρων του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).



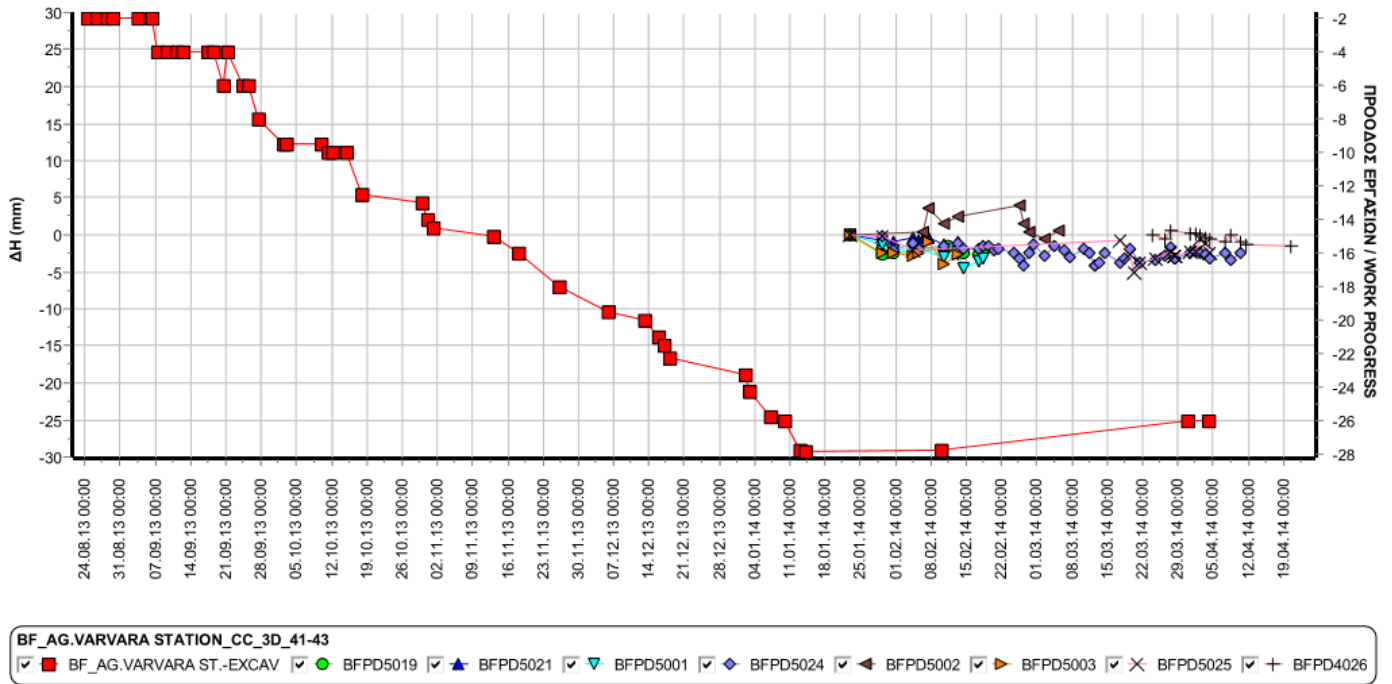
Από τις μετρήσεις των τρισδιάστατων ανακλαστήρων που πραγματοποιήθηκαν παρατίθενται παρακάτω τα διαγράμματα ανά ομάδες ανακλαστήρων, όπως προέκυψαν κατόπιν απαραίτητης επεξεργασίας αυτών, όπου απεικονίζονται οι αποκλίσεις των θέσεων των μαρτύρων από τον άξονα του έργου, των υψομέτρων τους από τα αρχικές μετρήσεις και των συντεταγμένων θέσης τους από την χιλιομετρική θέση του έργου, όπως ορίζονται από την αρχική θέση αναφοράς τους, σε σχέση με την πρόοδο των εργασιών συναρτήσει του χρόνου.

Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων



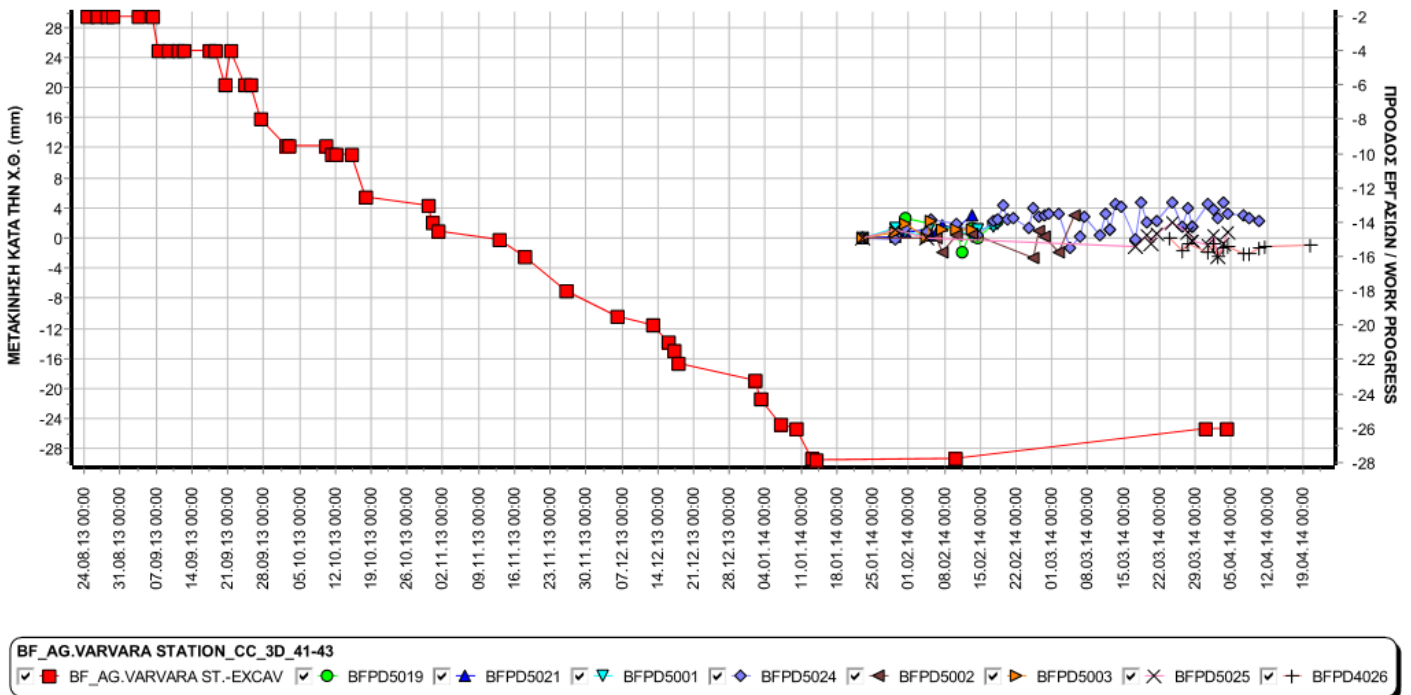
**Διάγραμμα 5.1** Διάγραμμα μετακίνησης πρώτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων από άξονα έργου (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων



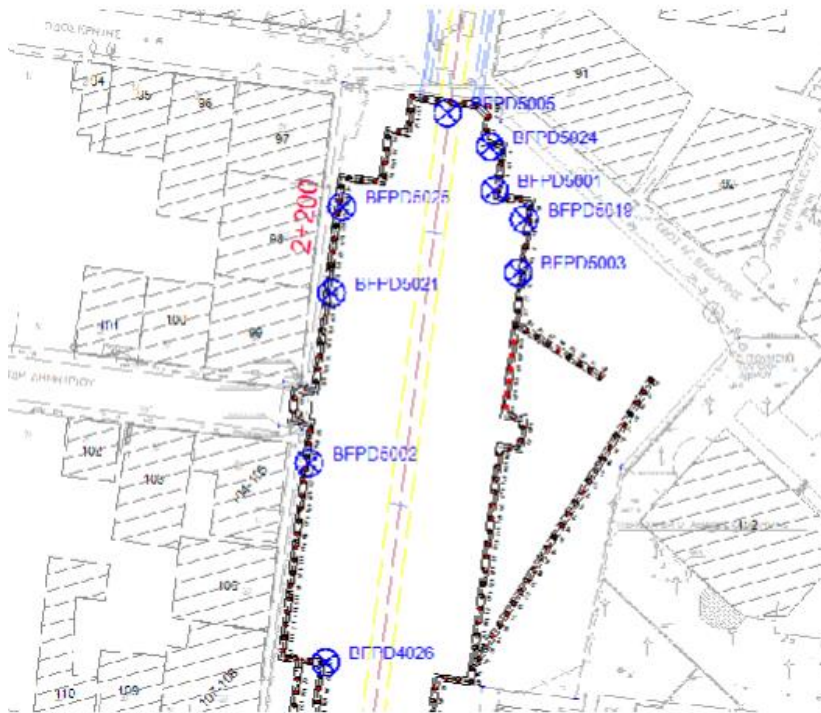
**Διάγραμμα 5.2** Διάγραμμα μετακίνησης πρώτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων υψομετρικά (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων



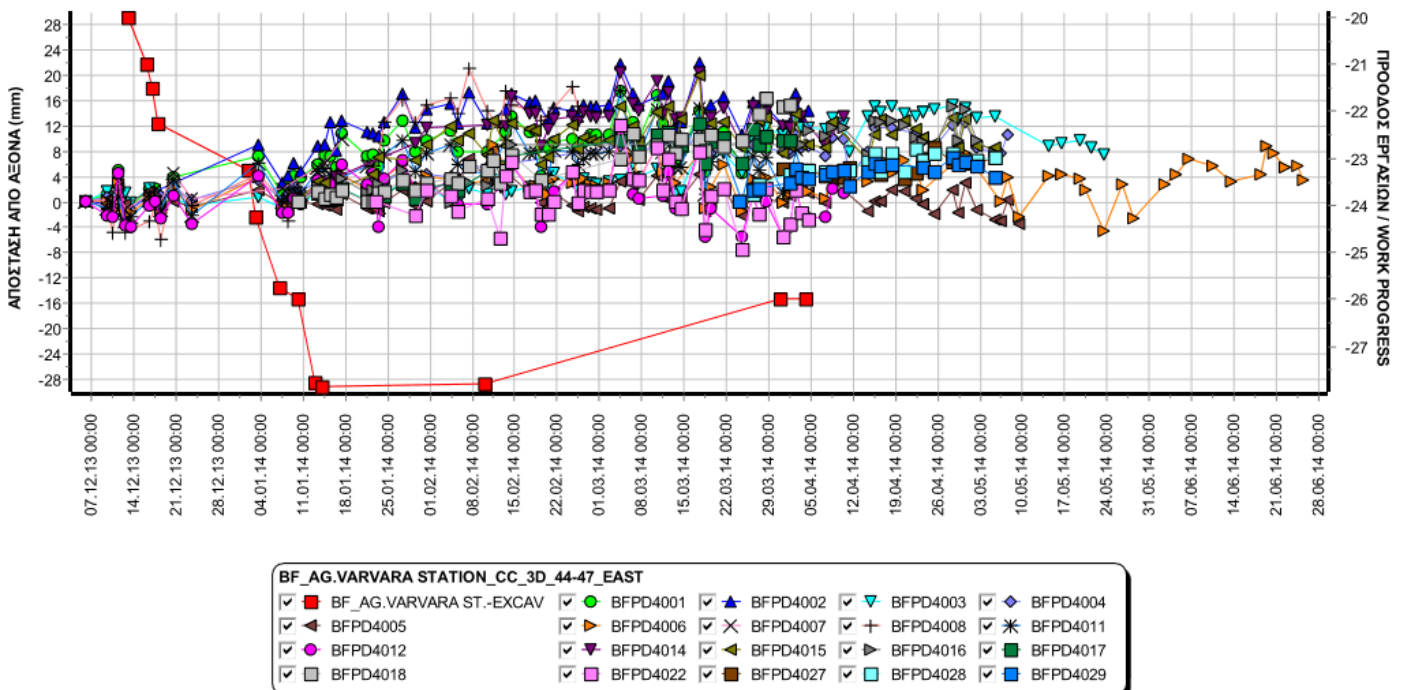
**Διάγραμμα 5.3** Διάγραμμα μετακίνησης πρώτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων από Χ.Θ. έργου (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

Οριζοντιογραφία



**Εικόνα 5.2** Οριζοντιογραφία θέσεων πρώτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων



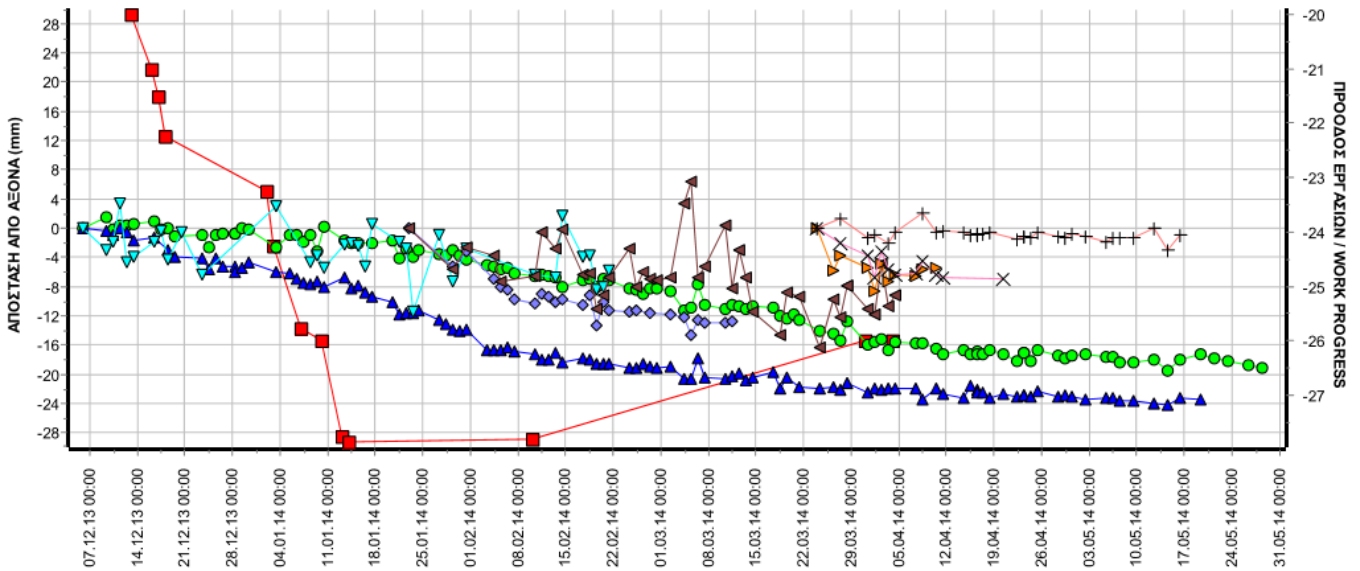
**Διάγραμμα 5.4** Διάγραμμα μετακίνησης δεύτερης ομάδας τρισδιάστατων στόχων από άξονα έργου (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

**Οριζοντιογραφία**



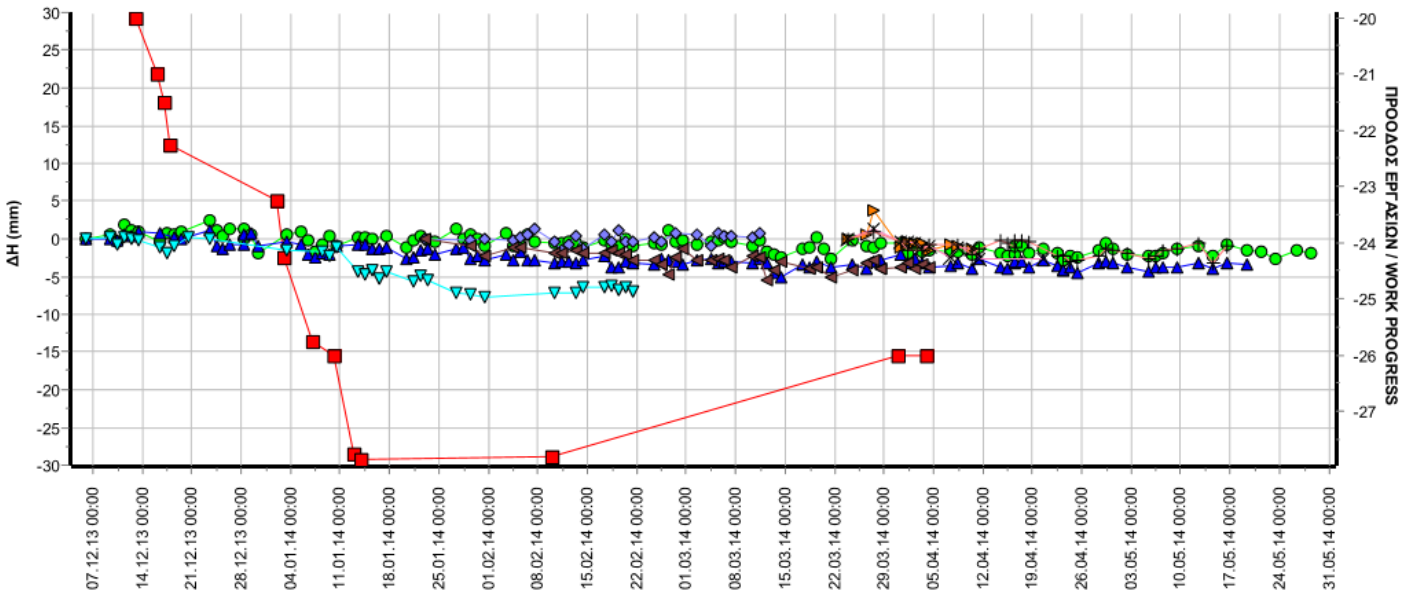
**Εικόνα 5.3** Οριζοντιογραφία θέσεων δεύτερης ομάδας τρισδιάστατων στόχων, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

[Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων](#)



**Διάγραμμα 5.5** Διάγραμμα μετακίνησης τρίτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων από άξονα έργου (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

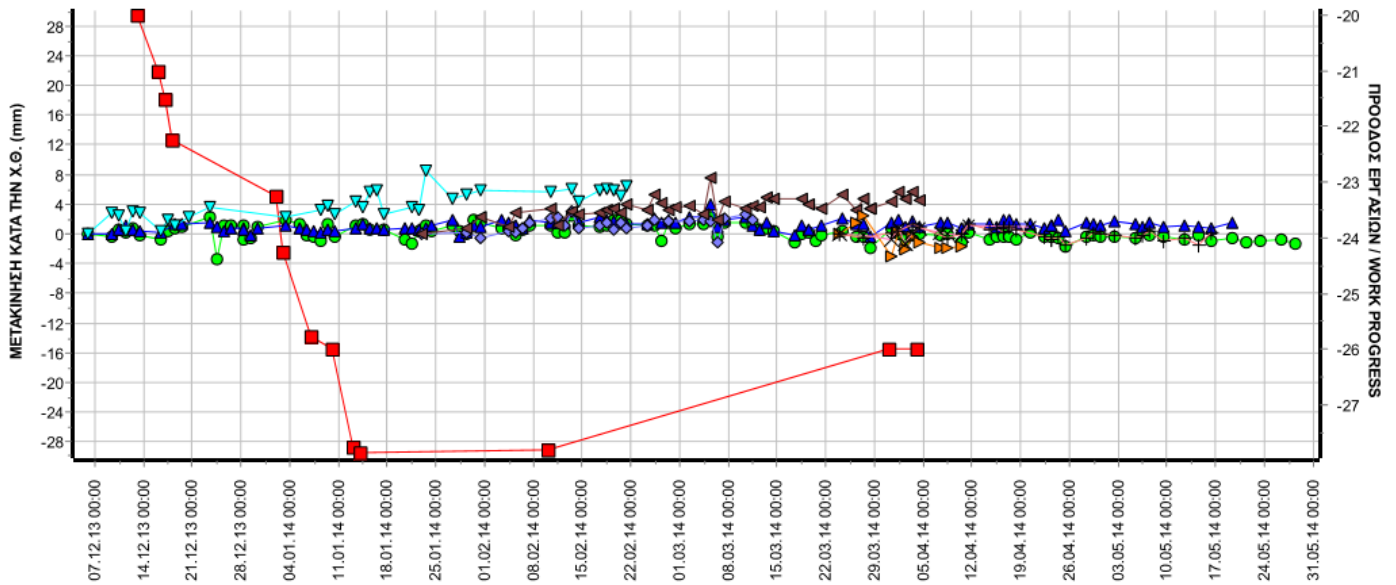
Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων



BF\_AG.VARVARA STATION\_CC\_3D\_44-47\_WEST  
BF\_AG.VARVARA ST.-EXCAV BFPD4009 BFPD4010 BFPD4013 BFPD4020 BFPD4023 BFPD4024 BFPD4025 BFPD4030

**Διάγραμμα 5.6** Διάγραμμα μετακίνησης τρίτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων υψομετρικά (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων



BF\_AG.VARVARA STATION\_CC\_3D\_44-47\_WEST  
BF\_AG.VARVARA ST.-EXCAV BFPD4009 BFPD4010 BFPD4013 BFPD4020 BFPD4023 BFPD4024 BFPD4025 BFPD4030

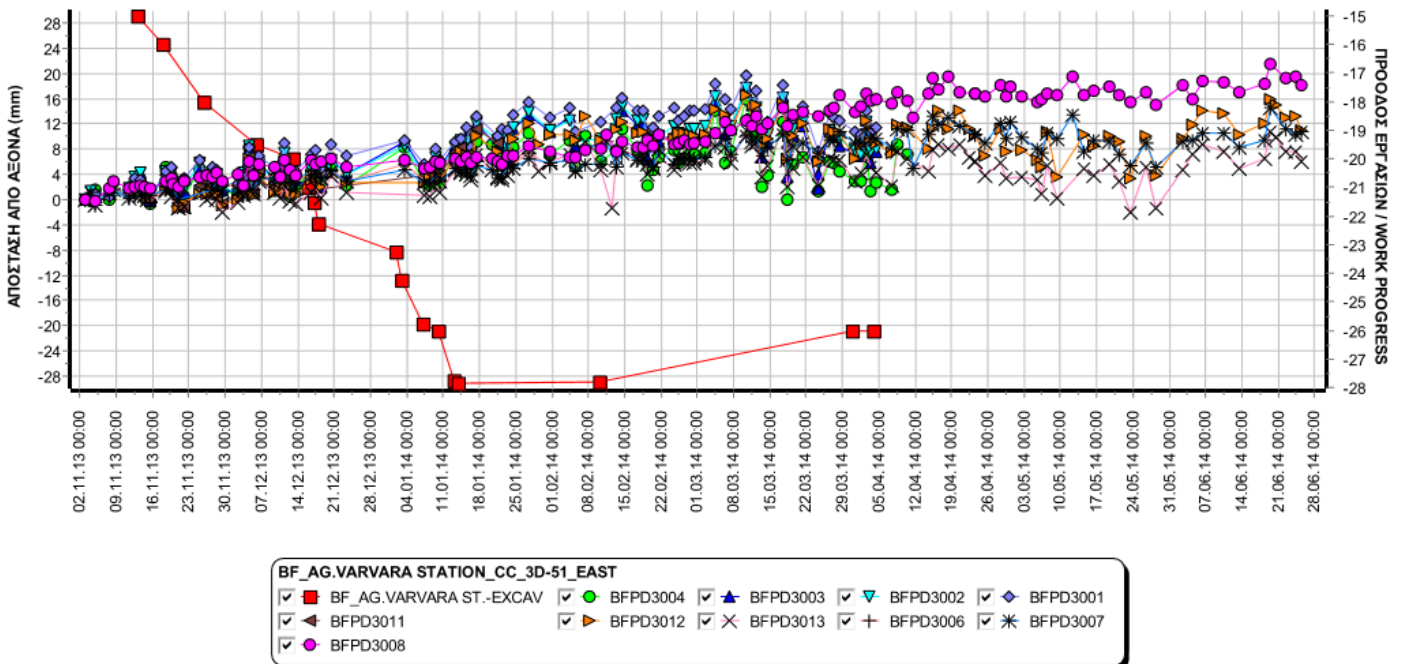
**Διάγραμμα 5.7** Διάγραμμα μετακίνησης τρίτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων από Χ.Θ. έργου (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

**Οριζοντιογραφία**



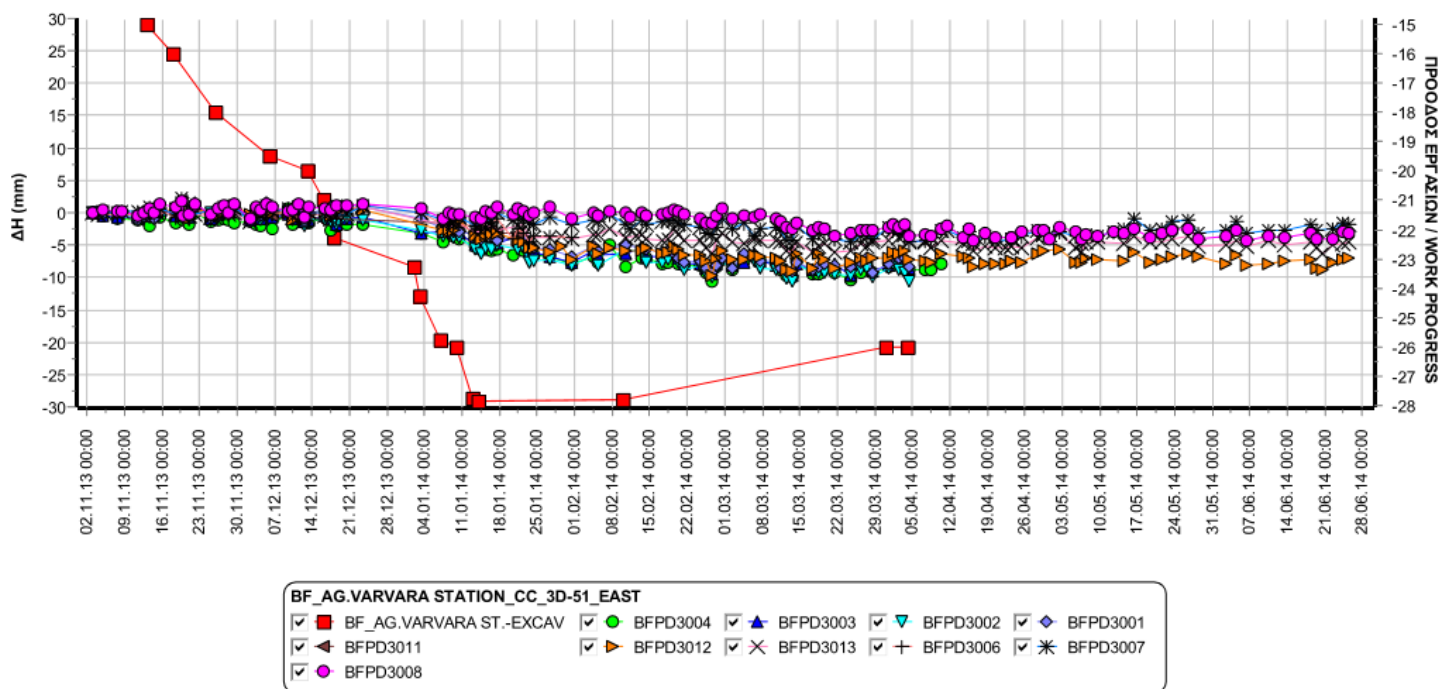
**Εικόνα 5.4** Οριζοντιογραφία θέσεων τρίτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

[Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων](#)



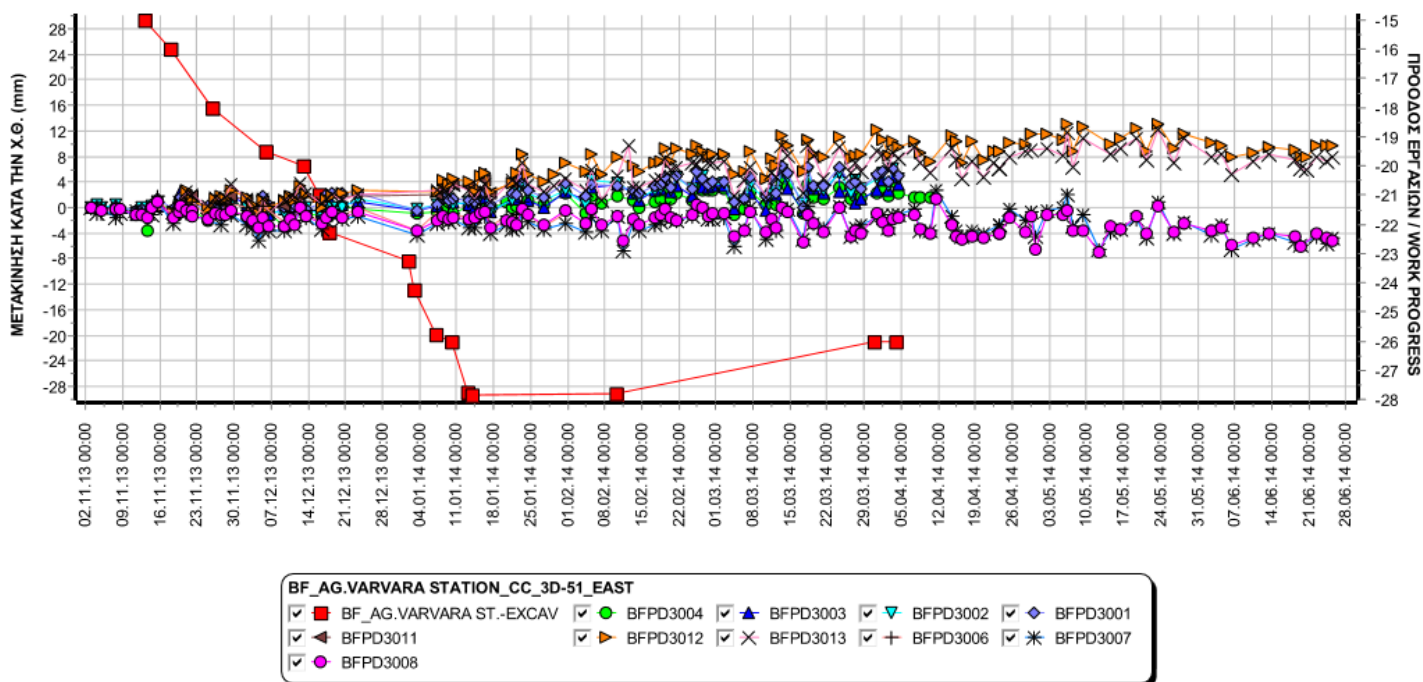
**Διάγραμμα 5.8** Διάγραμμα μετακίνησης τέταρτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων από άξονα έργου (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων



**Διάγραμμα 5.9** Διάγραμμα μετακίνησης τέταρτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων υψομετρικά (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων



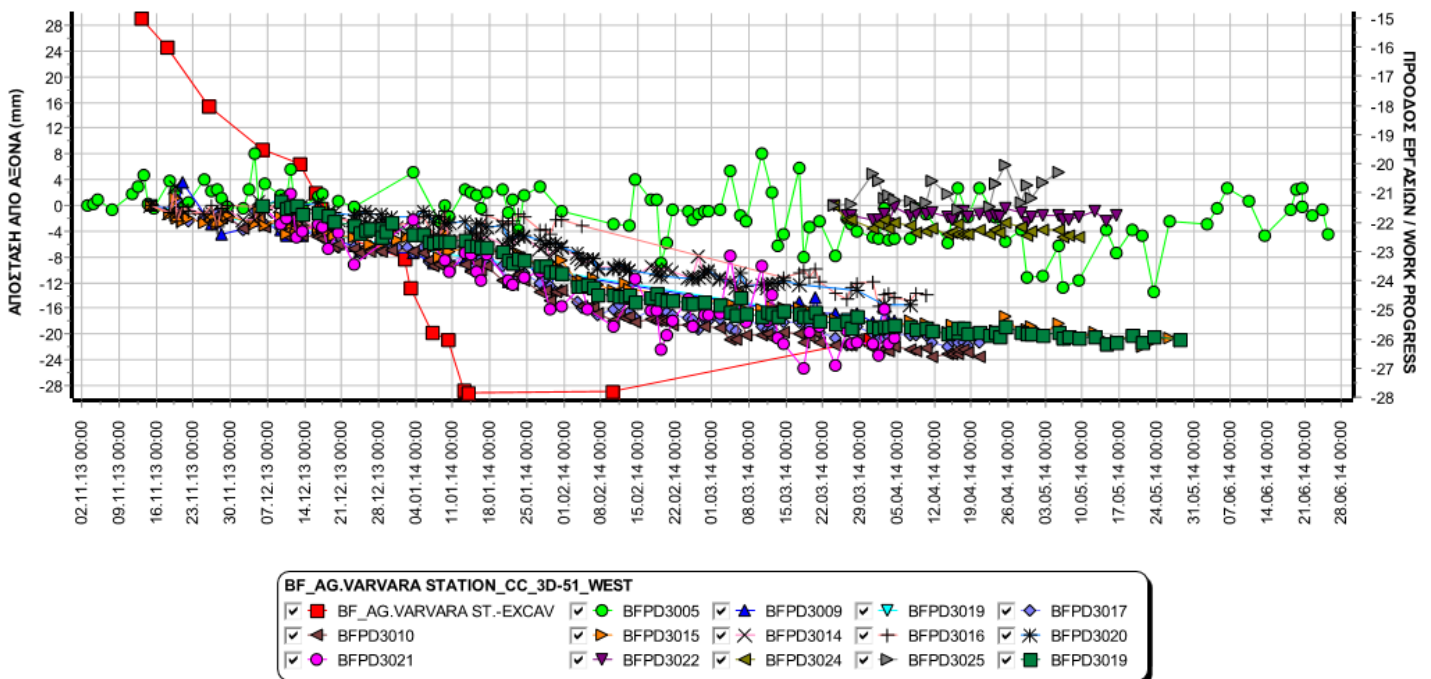
**Διάγραμμα 5.10** Διάγραμμα μετακίνησης τέταρτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων από Χ.Θ. έργου (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

**Οριζοντιογραφία**



**Εικόνα 5.5** Οριζοντιογραφία θέσεων τέταρτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

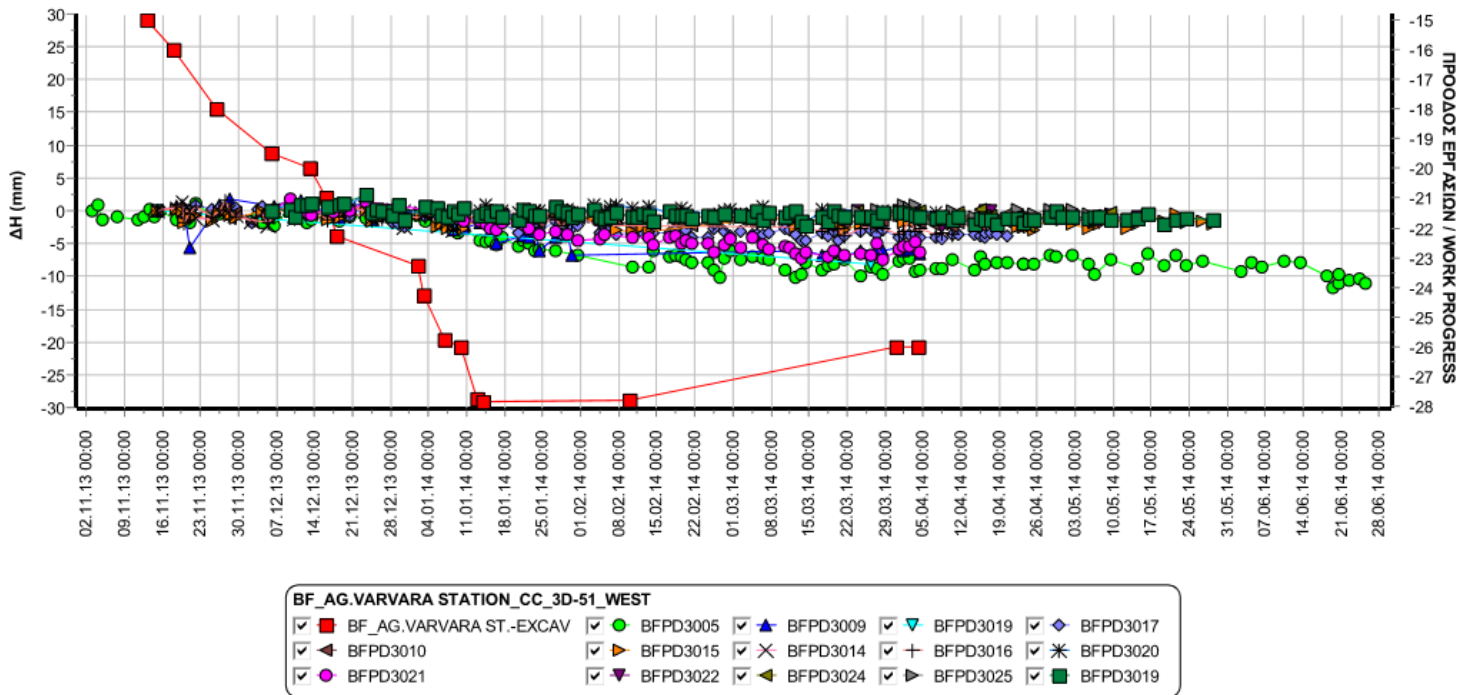
**Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων**



**Διάγραμμα 5.11** Διάγραμμα μετακίνησης πέμπτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων από άξονα έργου (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

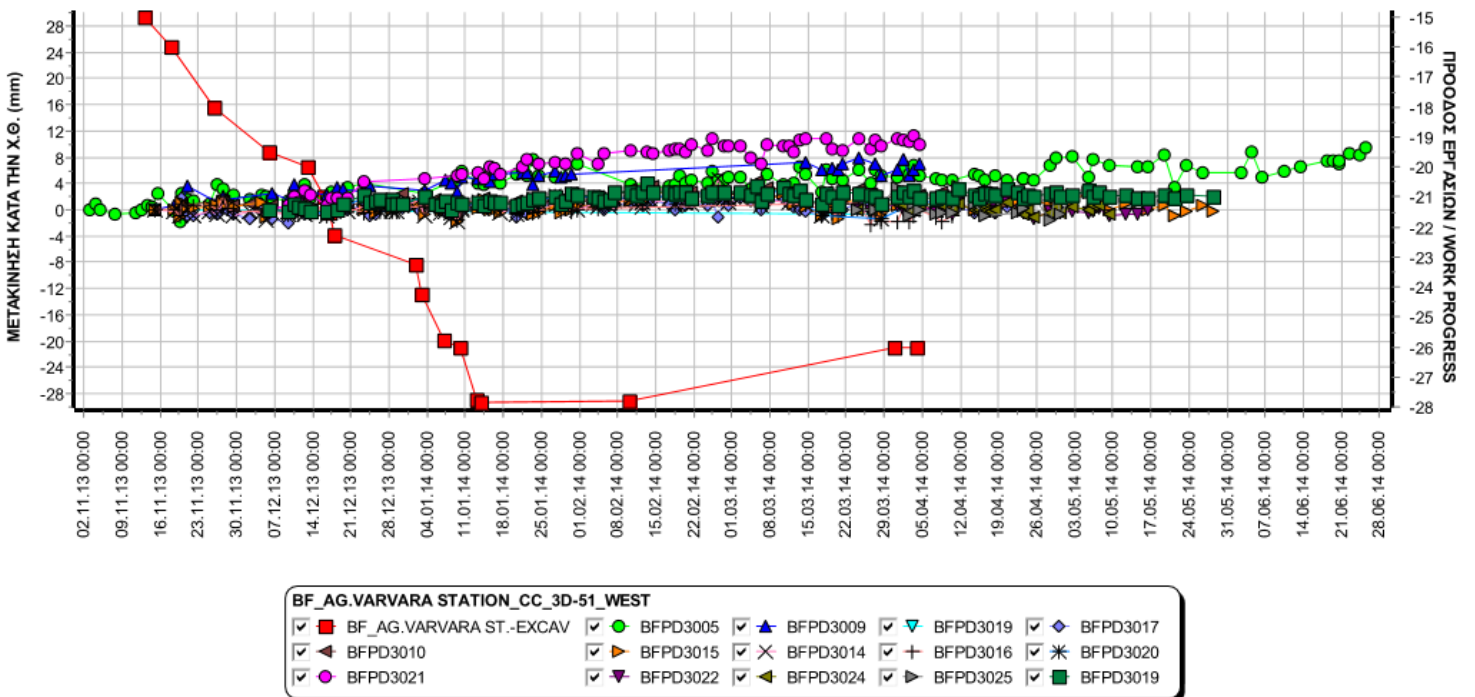


Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων



**Διάγραμμα 5.12** Διάγραμμα μετακίνησης πέμπτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων υψομετρικά (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων



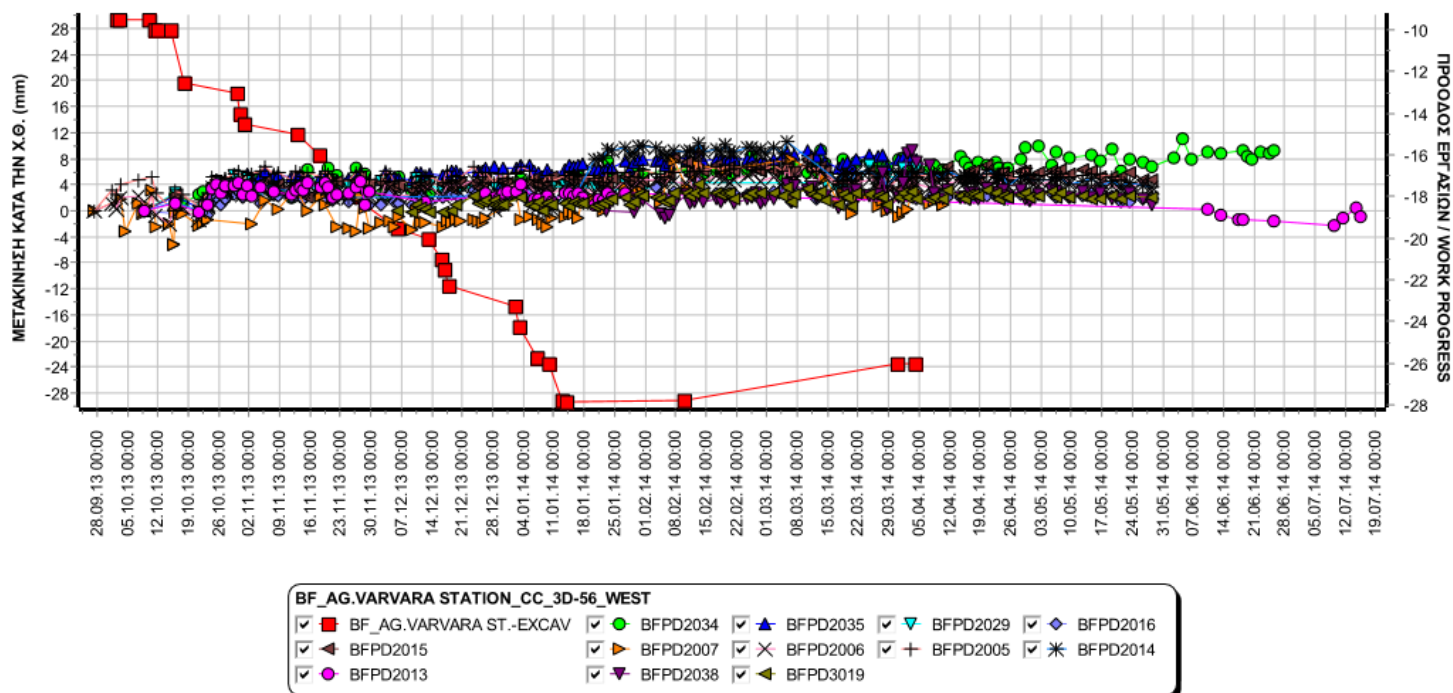
**Διάγραμμα 5.13** Διάγραμμα μετακίνησης πέμπτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων από Χ.Θ. έργου (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

Οριζοντιογραφία



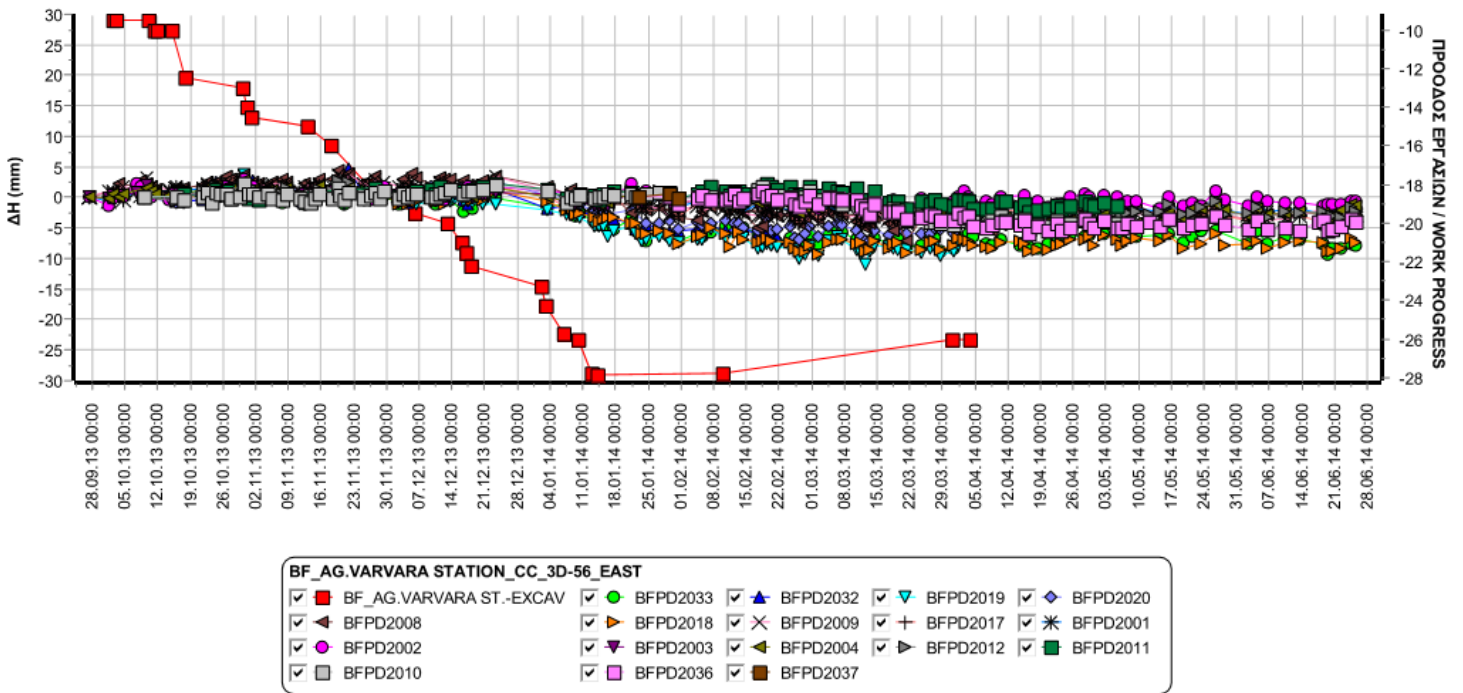
**Εικόνα 5.6** Οριζοντιογραφία θέσεων πέμπτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων



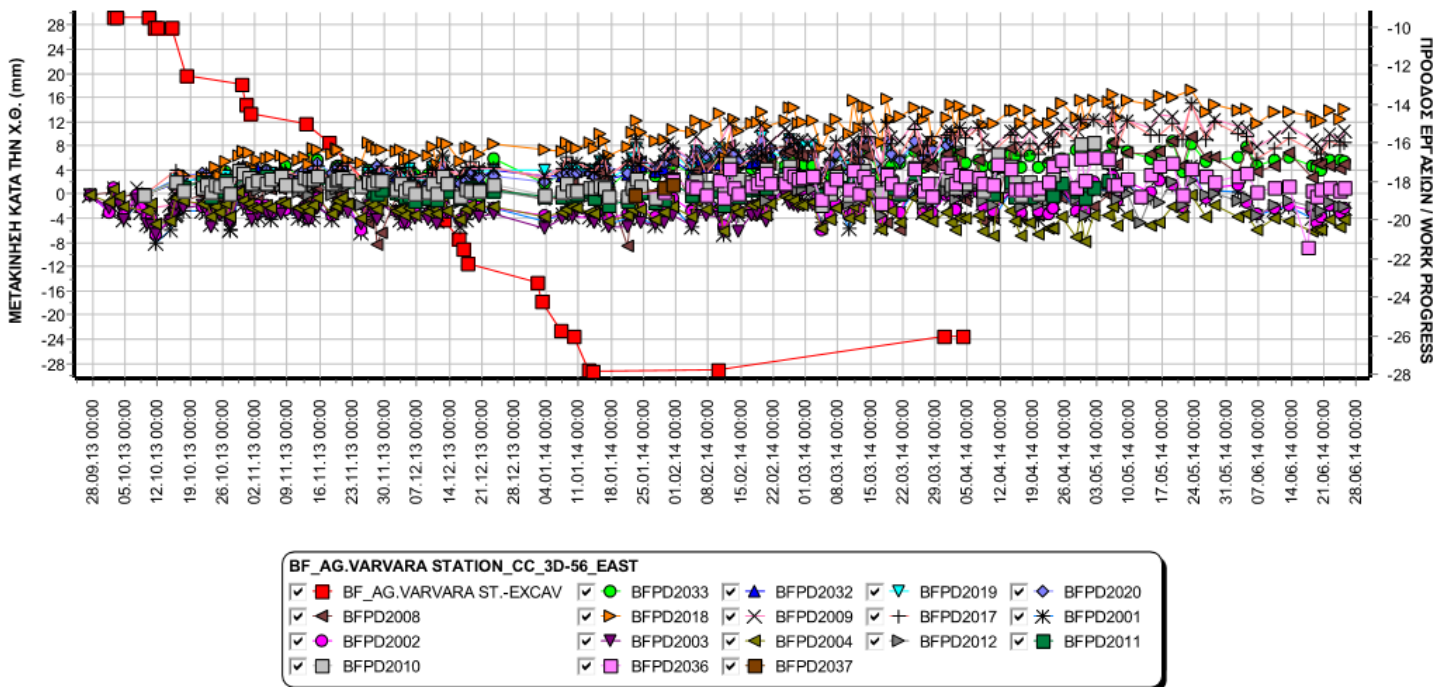
**Διάγραμμα 5.14** Διάγραμμα μετακίνησης έκτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων από άξονα έργου (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων



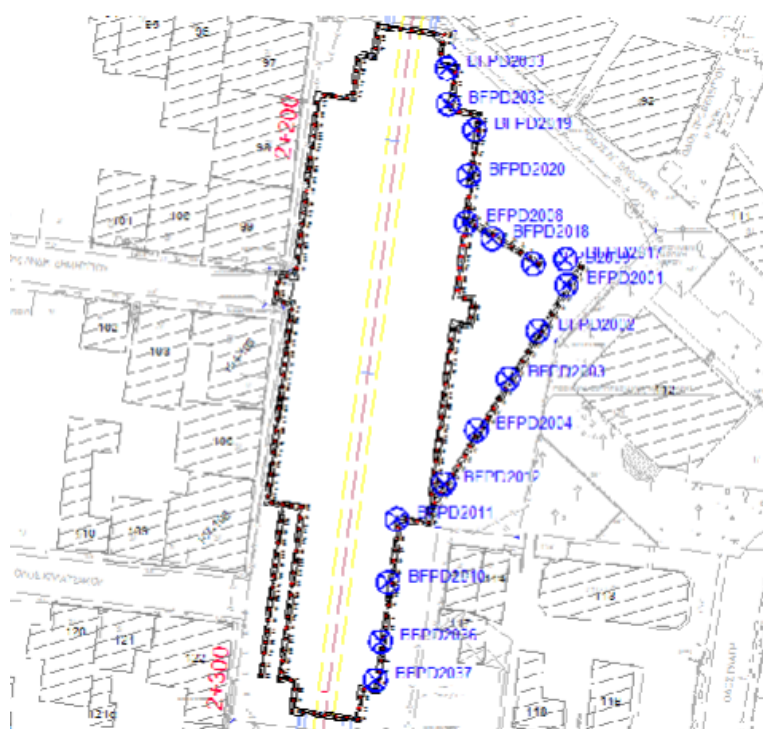
**Διάγραμμα 5.15** Διάγραμμα μετακίνησης έκτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων υψομετρικά (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων



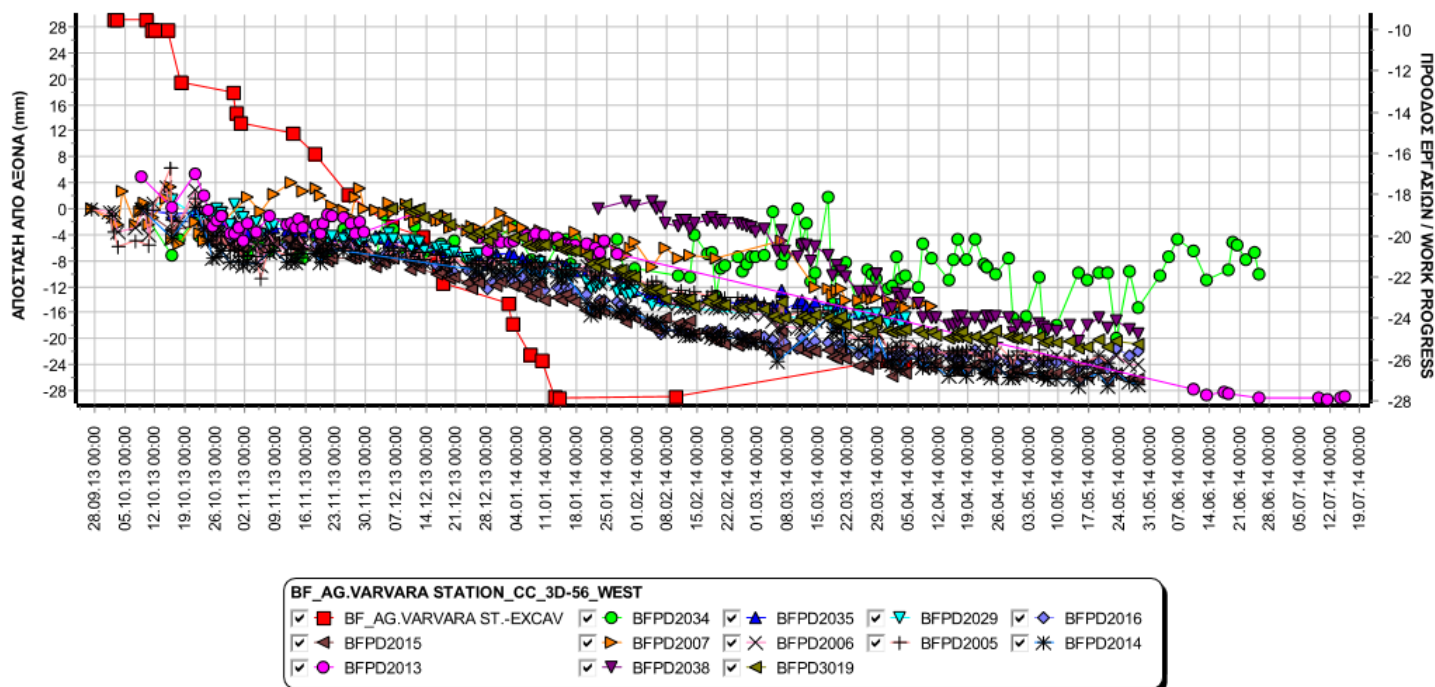
**Διάγραμμα 5.16** Διάγραμμα μετακίνησης έκτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων από Χ.Θ. έργου (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

### Οριζοντιογραφία



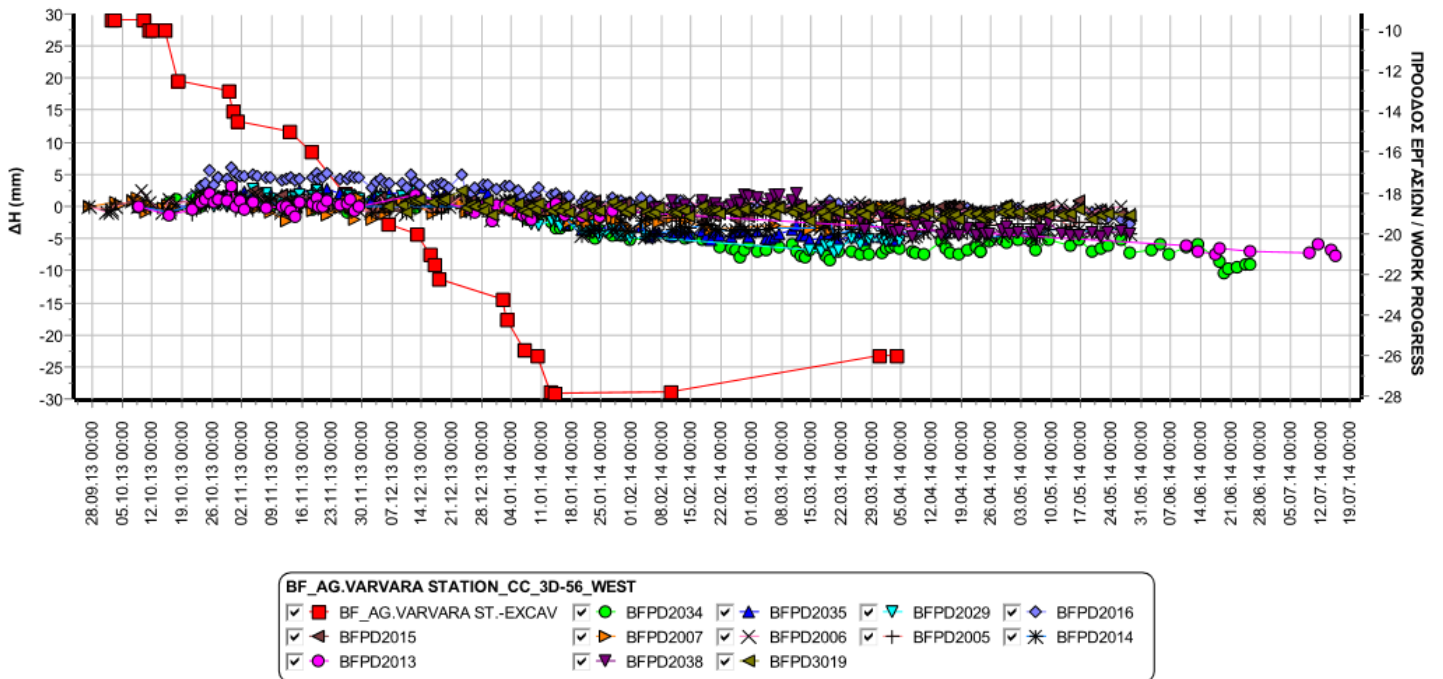
Εικόνα 5.7 Οριζοντιογραφία θέσεων έκτης ομάδας τρισδιάστατων στόχων, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

[Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων](#)



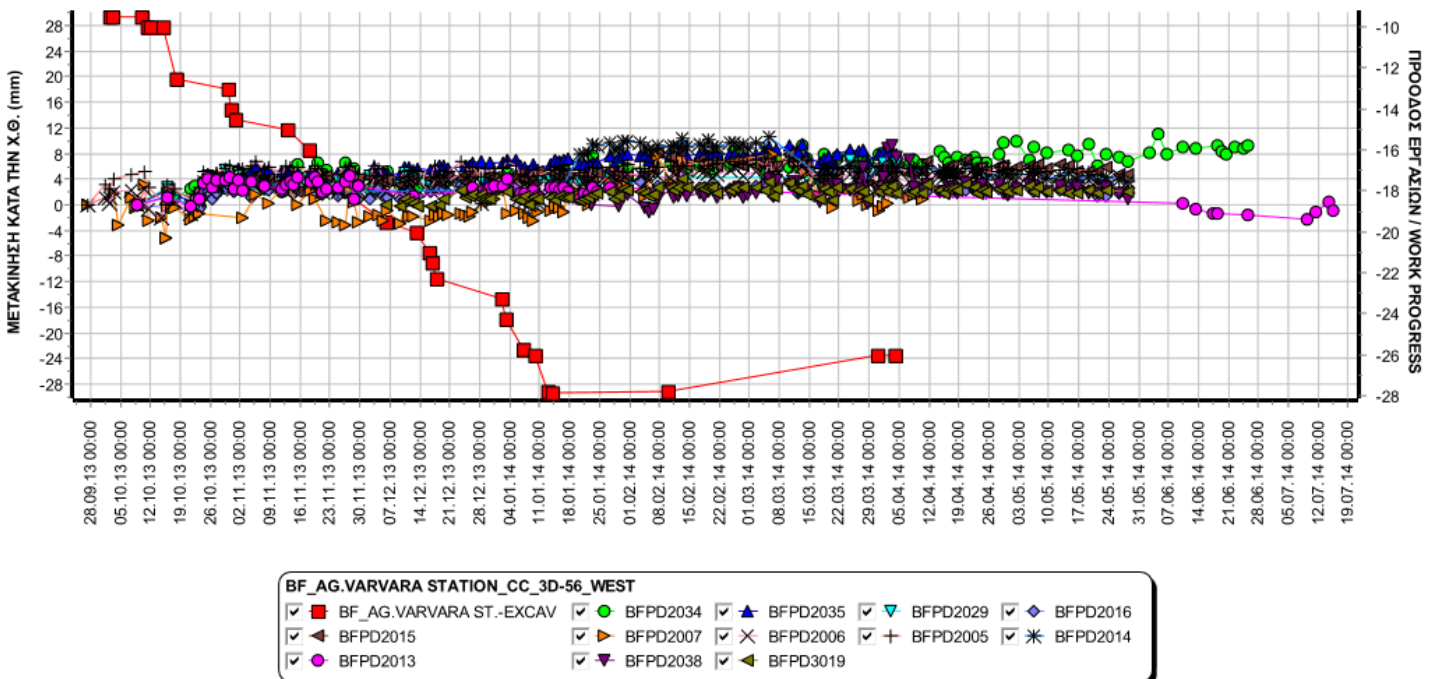
Διάγραμμα 5.17 Διάγραμμα μετακίνησης εβδομής ομάδας τρισδιάστατων στόχων από άξονα έργου (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων



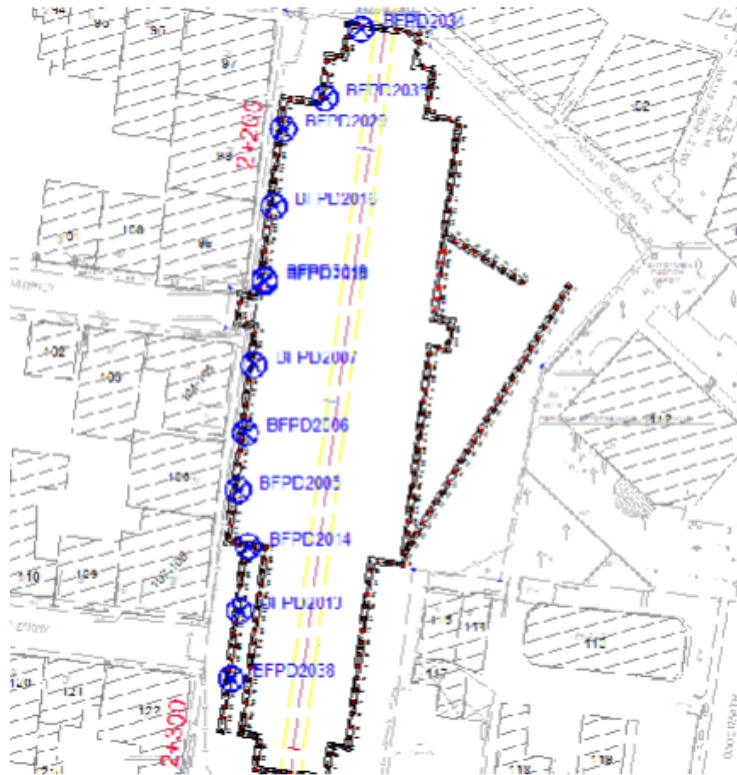
**Διάγραμμα 5.18** Διάγραμμα μετακίνησης έβδομης ομάδας τρισδιάστατων στόχων υψομετρικά (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων



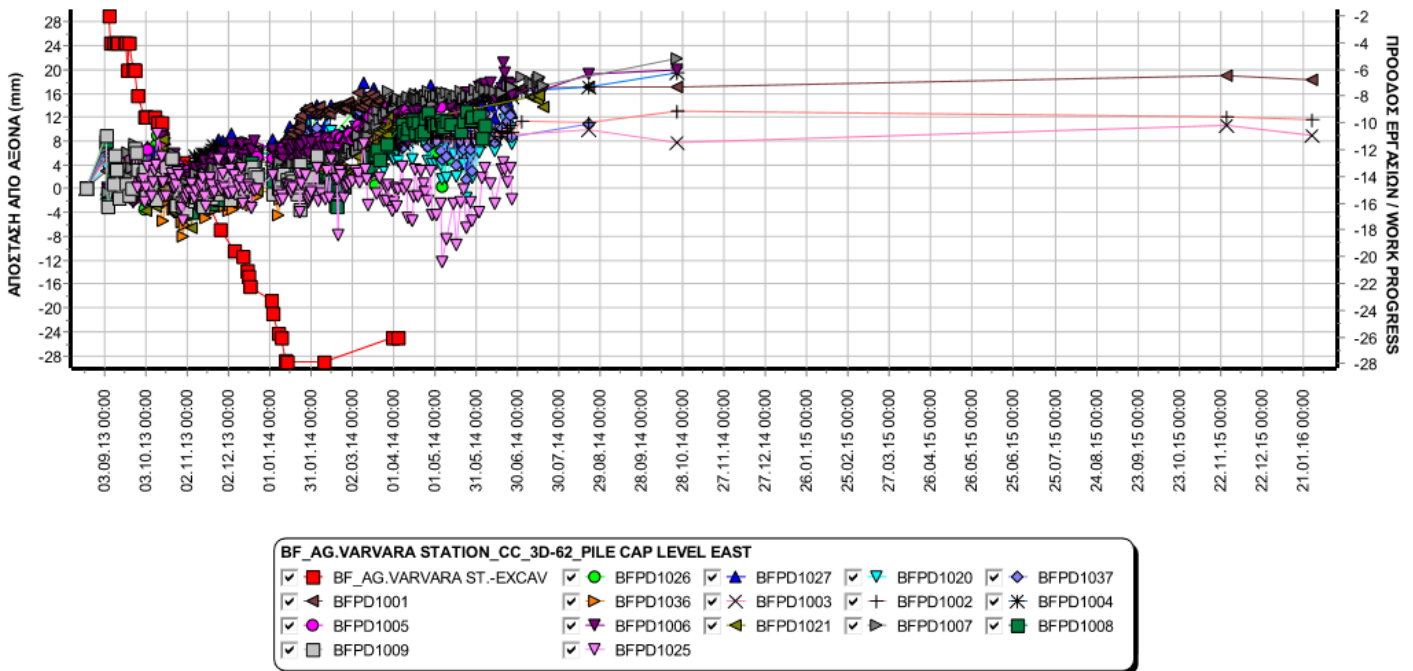
**Διάγραμμα 5.19** Διάγραμμα μετακίνησης έβδομης ομάδας τρισδιάστατων στόχων από Χ.Θ. έργου (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

### Οριζοντιογραφία



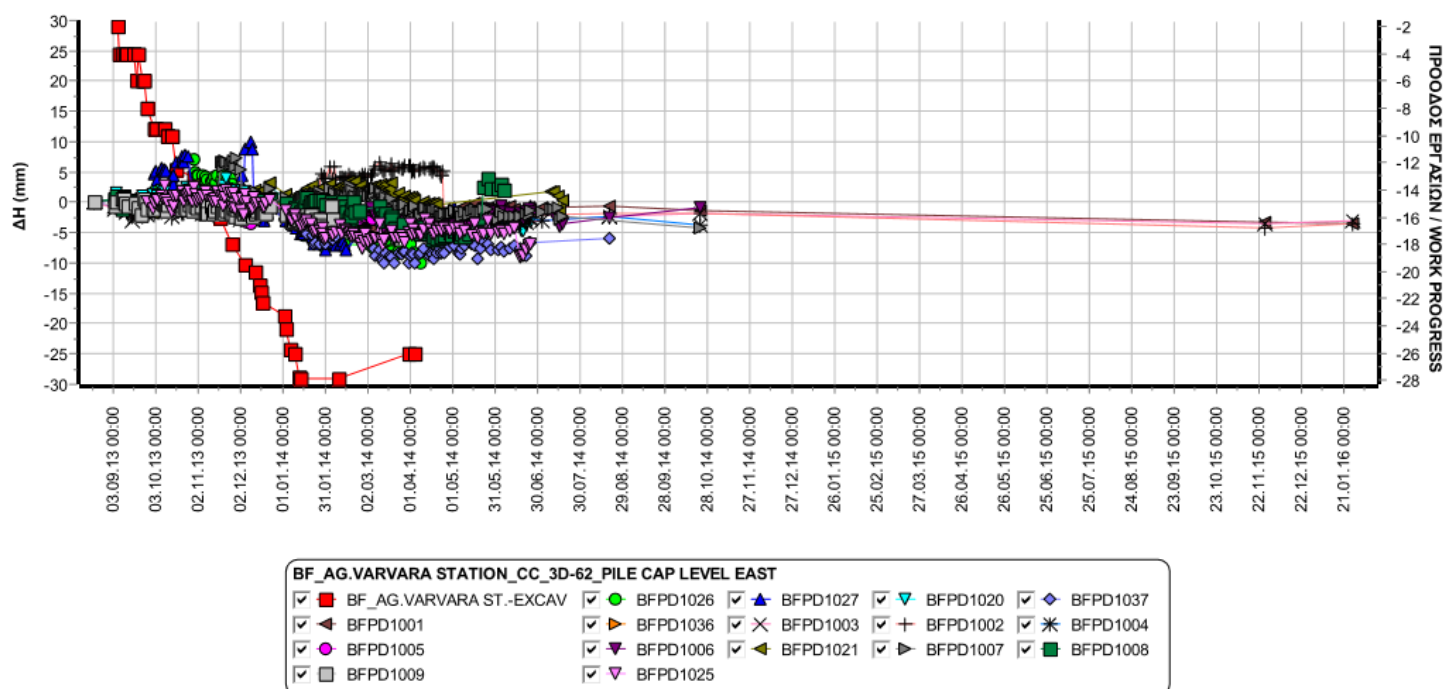
Εικόνα 5.8 Οριζοντιογραφία θέσεων έβδομης ομάδας τρισδιάστατων στόχων, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

### Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων



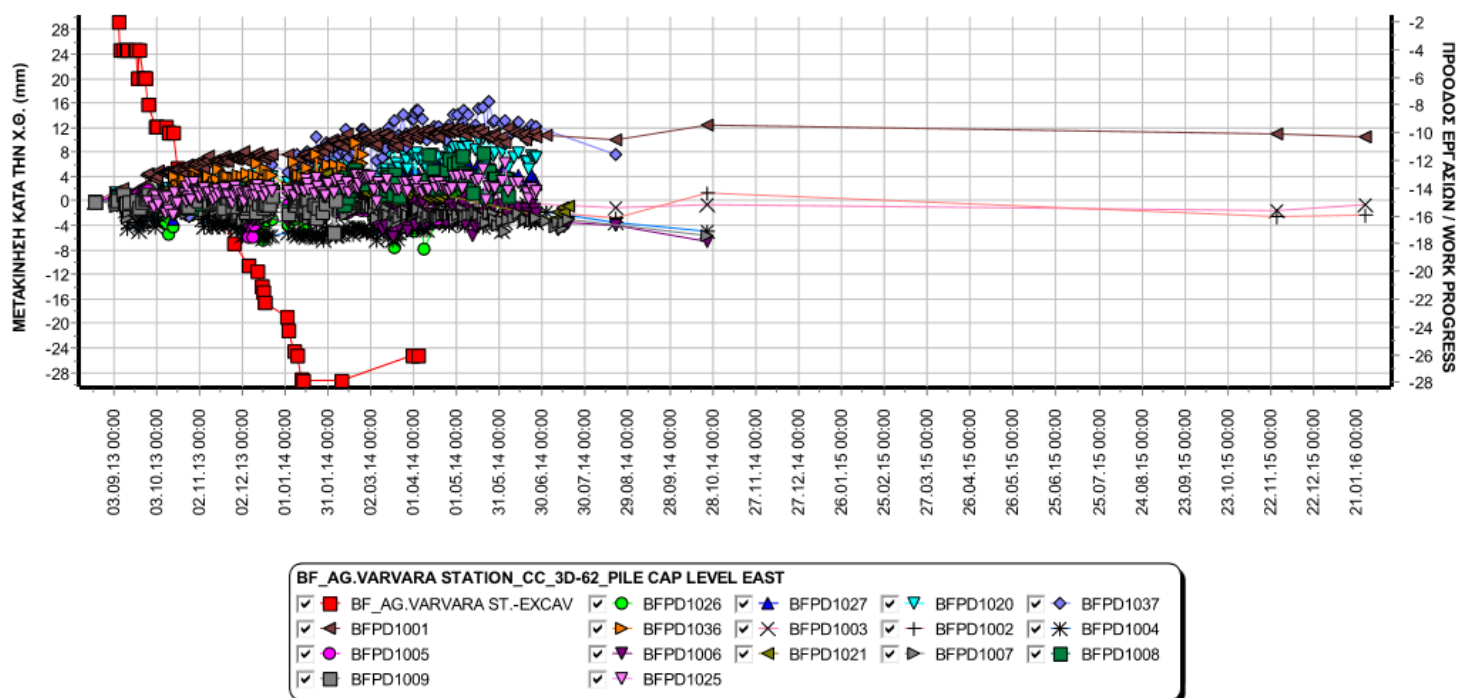
Διάγραμμα 5.22 Διάγραμμα μετακίνησης όγδοης ομάδας τρισδιάστατων στόχων από άξονα έργου (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων



**Διάγραμμα 5.21** Διάγραμμα μετακίνησης όγδης ομάδας τρισδιάστατων στόχων υψομετρικά (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων



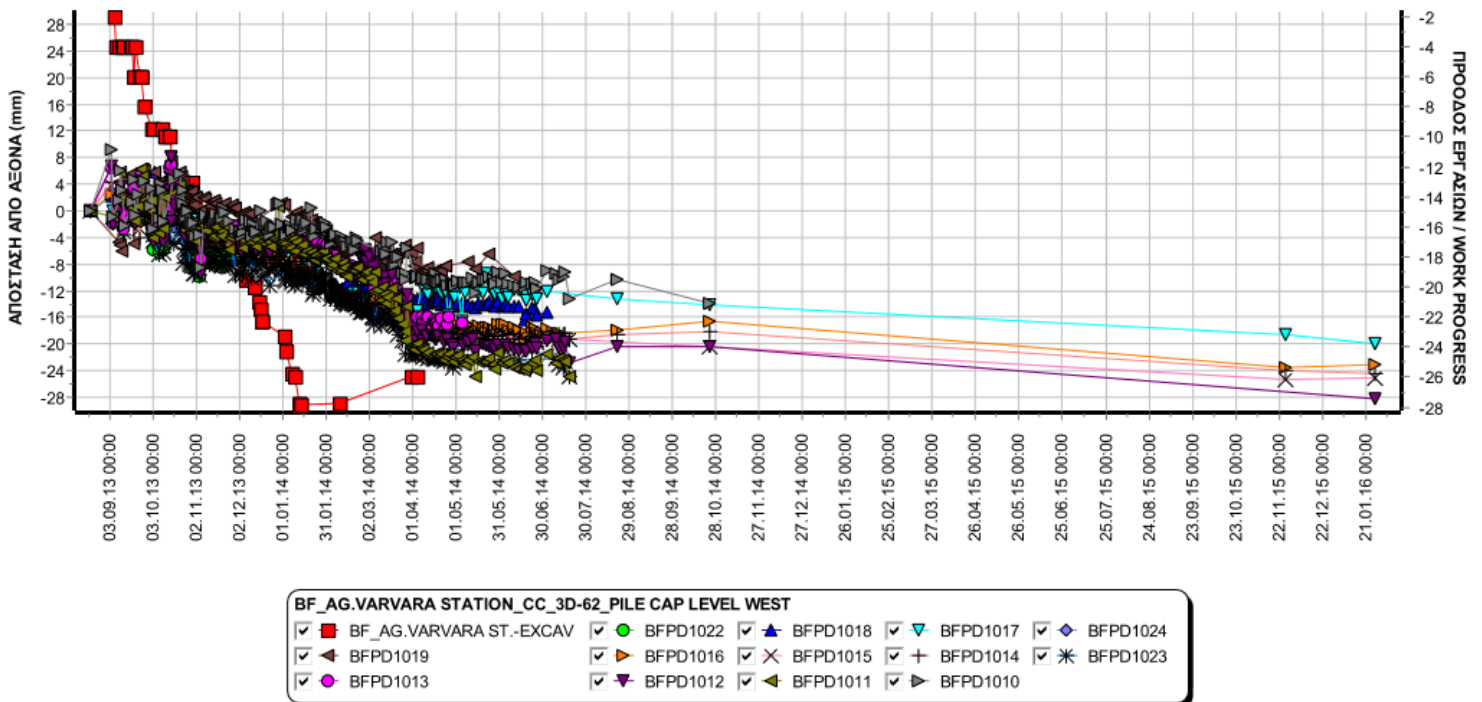
**Διάγραμμα 5.22** Διάγραμμα μετακίνησης όγδης ομάδας τρισδιάστατων στόχων από Χ.Θ. έργου (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

Οριζοντιογραφία



**Εικόνα 5.9** Οριζοντιογραφία θέσεων όγδοης ομάδας τρισδιάστατων στόχων, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

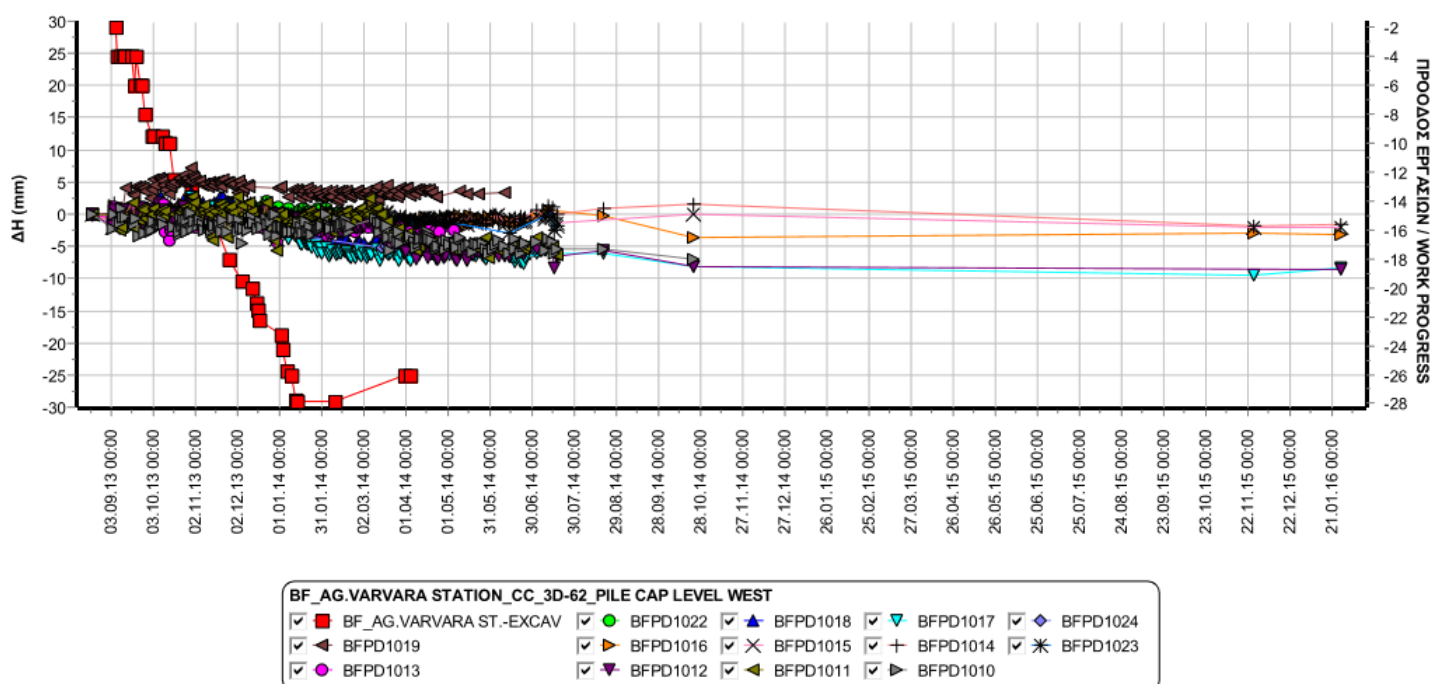
Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων



**Διάγραμμα 5.23** Διάγραμμα μετακίνησης ένατης ομάδας τρισδιάστατων στόχων από άξονα έργου (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

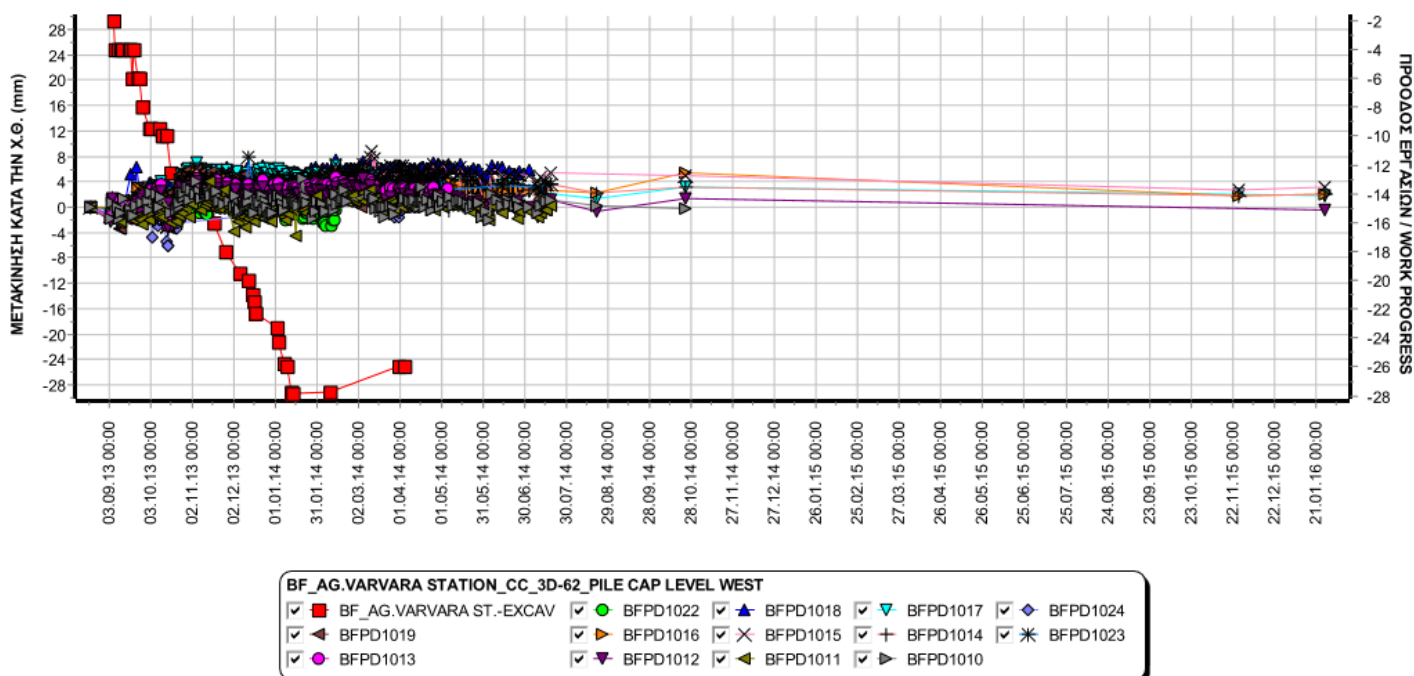


Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων



**Διάγραμμα 5.24** Διάγραμμα μετακίνησης ένατης ομάδας τρισδιάστατων στόχων υψομετρικά (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

Διαγράμματα μετακίνησης τρισδιάστατων στόχων



**Διάγραμμα 5.25** Διάγραμμα μετακίνησης ένατης ομάδας τρισδιάστατων στόχων από Χ.Θ. έργου (mm), του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

### Οριζοντιογραφία

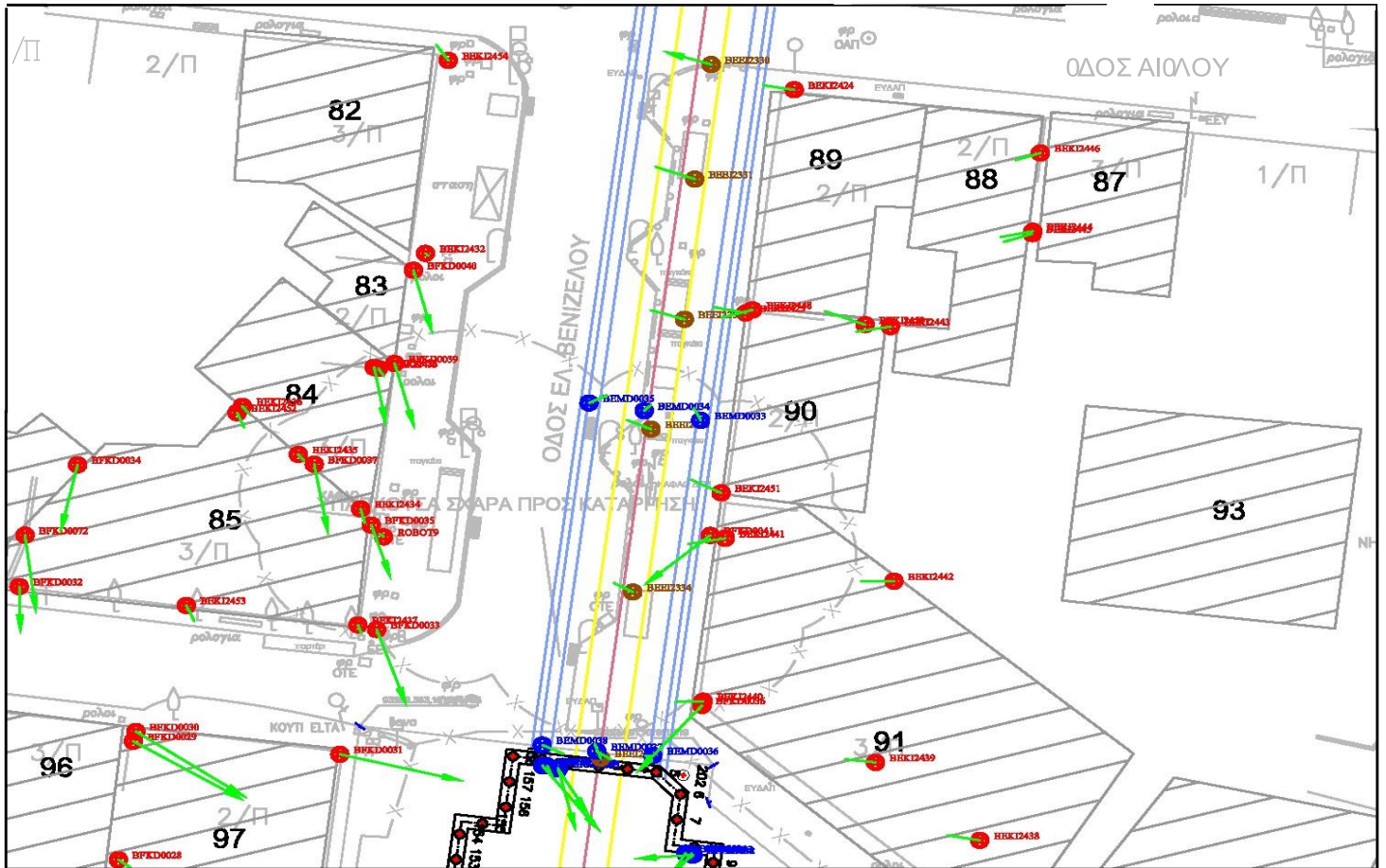


**Εικόνα 5.10** Οριζοντιογραφία θέσεων ένατης ομάδας τρισδιάστατων στόχων, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

Επίσης από τις μετρήσεις δημιουργήθηκαν τα διανύσματα μετακίνησης των ανακλαστήρων και παρουσιάζονται παρακάτω σε οριζοντιογραφία.

**Εικόνα 5.11** Οριζοντιογραφία διανυσμάτων μετακίνησης θέσεων τρισδιάστατων στόχων (κλ.διανυσμάτων: 0.5m/mm) στη ζώνη επιρροής, στο τμήμα του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου, εικόνα κάτω κλ: 1:500).





**Εικόνα 5.12** Οριζοντιογραφία διανυσμάτων μετακίνησης θέσεων τρισδιάστατων στόχων στη ζώνη επιρροής, στο τμήμα των κτηρίων βόρεια του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, κλ: 1:500 (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

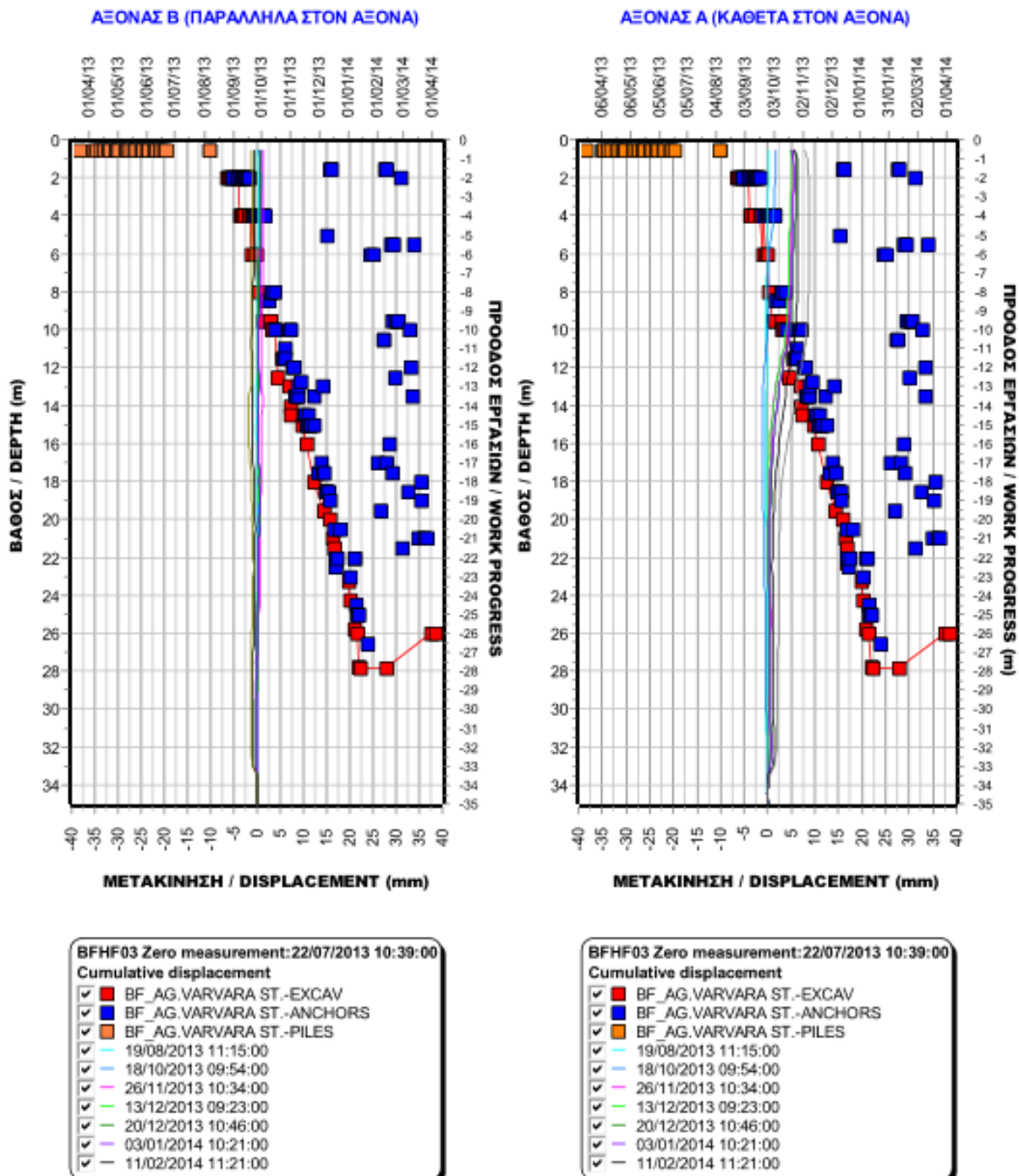
Τέλος, παρουσιάζονται σε οριζοντιογραφία και οι ισοϋψείς των μετακινήσεων των χωροσταθμικών ακίδων όπως προέκυψαν από το σύνολο των μετρήσεων. Συγκεκριμένα η ισοδιάσταση των χωροσταθμικών καμπυλών είναι - 1 mm και αναπαριστούν την συνολική καθίζηση των υψομετρικών μαρτύρων.

**Εικόνα 5.13** Οριζοντιογραφία ισοϋψών μετακινήσεων χωροσταθμικών ακίδων στη ζώνη επιρροής του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, κλ: 1:750 (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου, εικόνα κάτω).



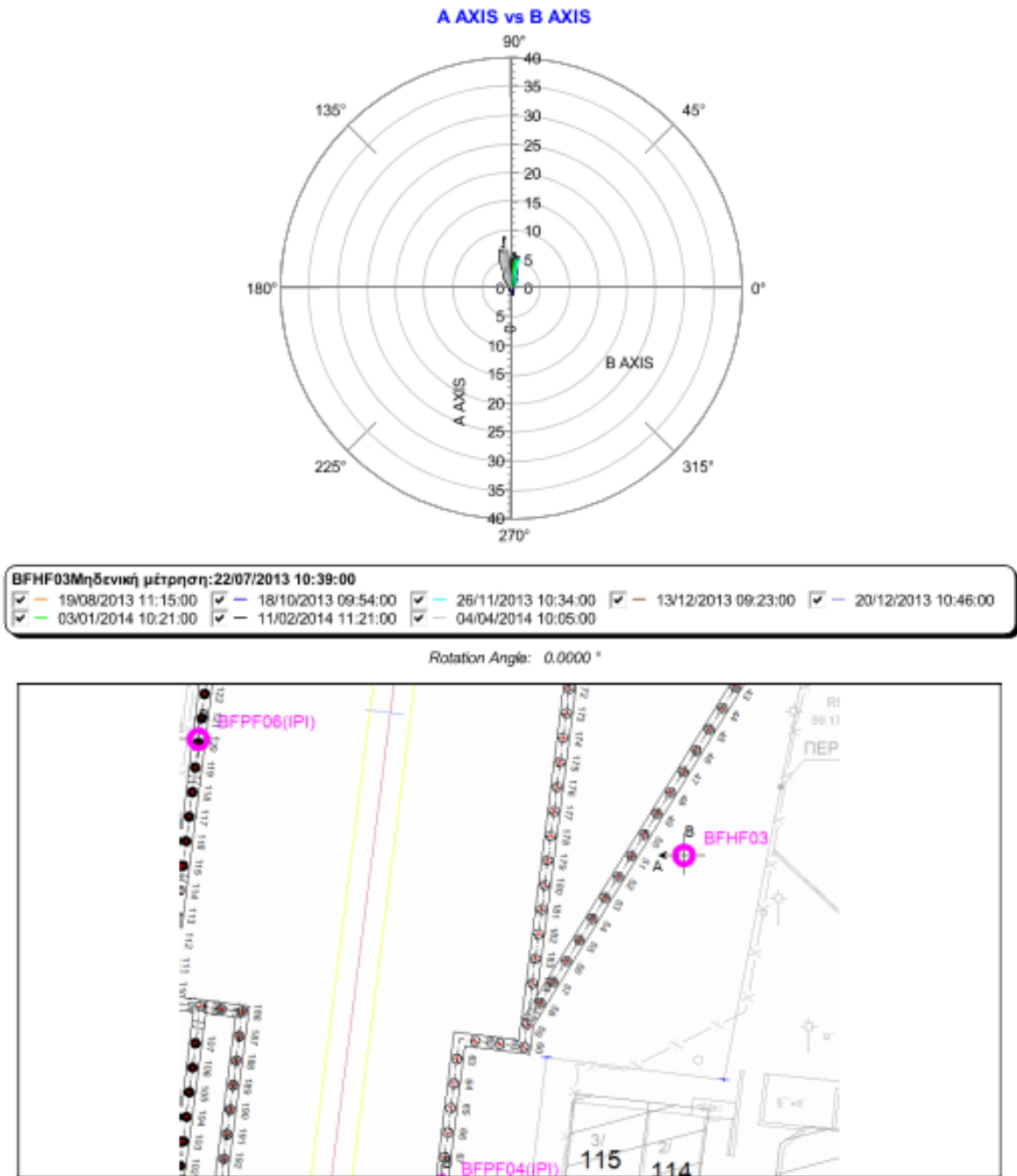
Για την γεωλογική παρακολούθηση του Έργου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε διάφορα γεωλογικά όργανα όπως περιεγράφηκε σε προηγούμενο Κεφάλαιο. Ενδεικτικά παρατίθενται παρακάτω ορισμένα από τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων σε διάφορες μορφές απεικονίσεων.

#### Διαγράμματα αποκλισιόμετρου



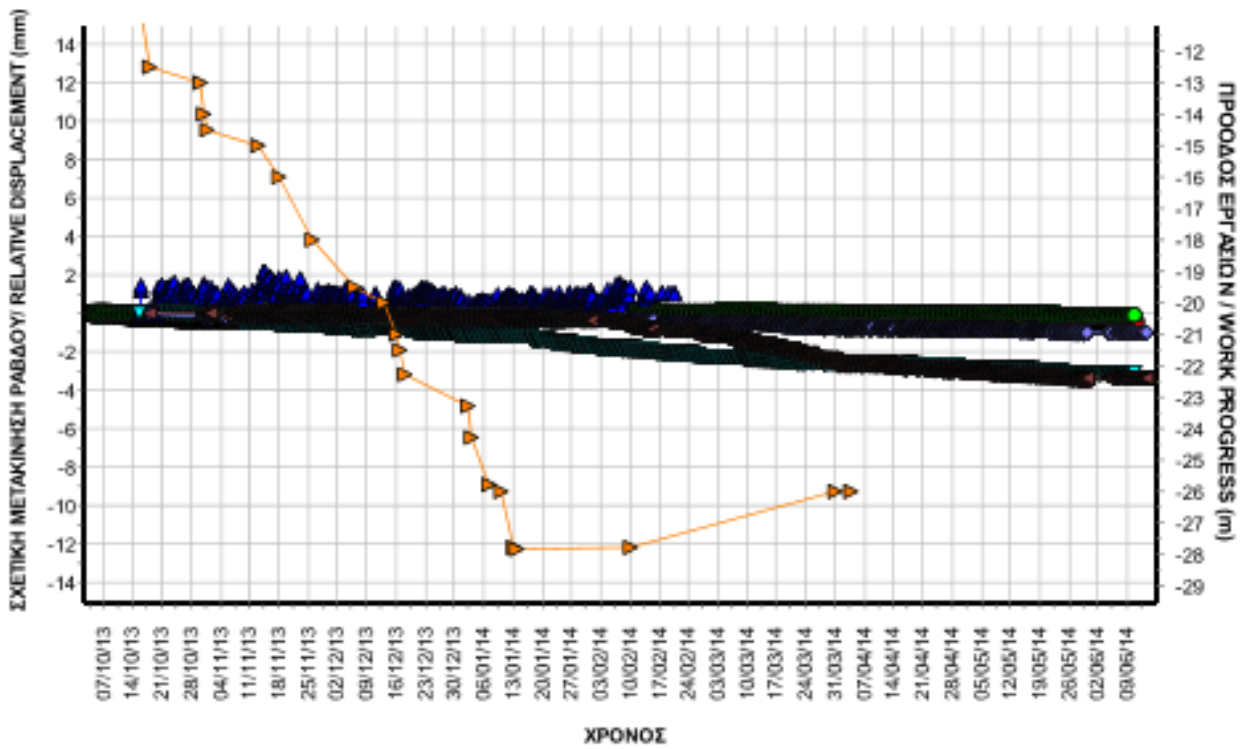
**Διάγραμμα 5.26** Διάγραμμα μετακίνησης αποκλισιόμετρου παράλληλα και κάθετα από τον άξονα αναφοράς του (mm), σε σχέση με το βάθος και την εξέλιξη των εργασιών εκσκαφής και τοποθέτησης πασσάλων και αγκυρίων του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

Διαγράμματα αποκλισιομέτρου

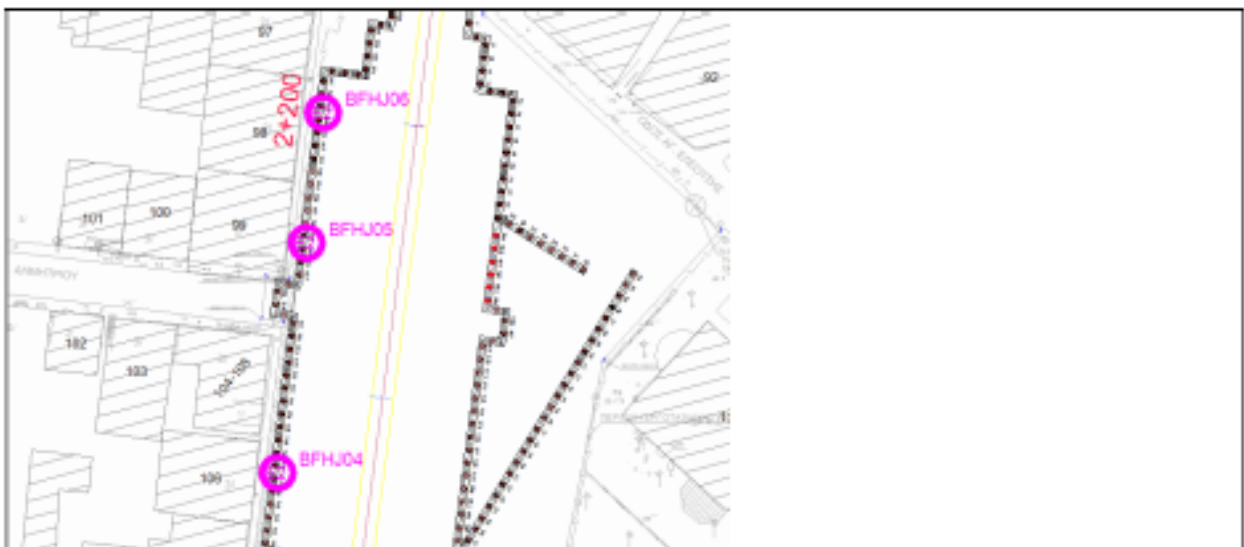


**Διάγραμμα 5.27** Διάγραμμα μετακίνησης αποκλισιομέτρου παράλληλα και κάθετα από τον άξονα αναφοράς του (mm) σε κάτοψη και οριζοντιογραφία απεικόνισης της θέσης του, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

Διαγράμμα εκτασιόμετρου

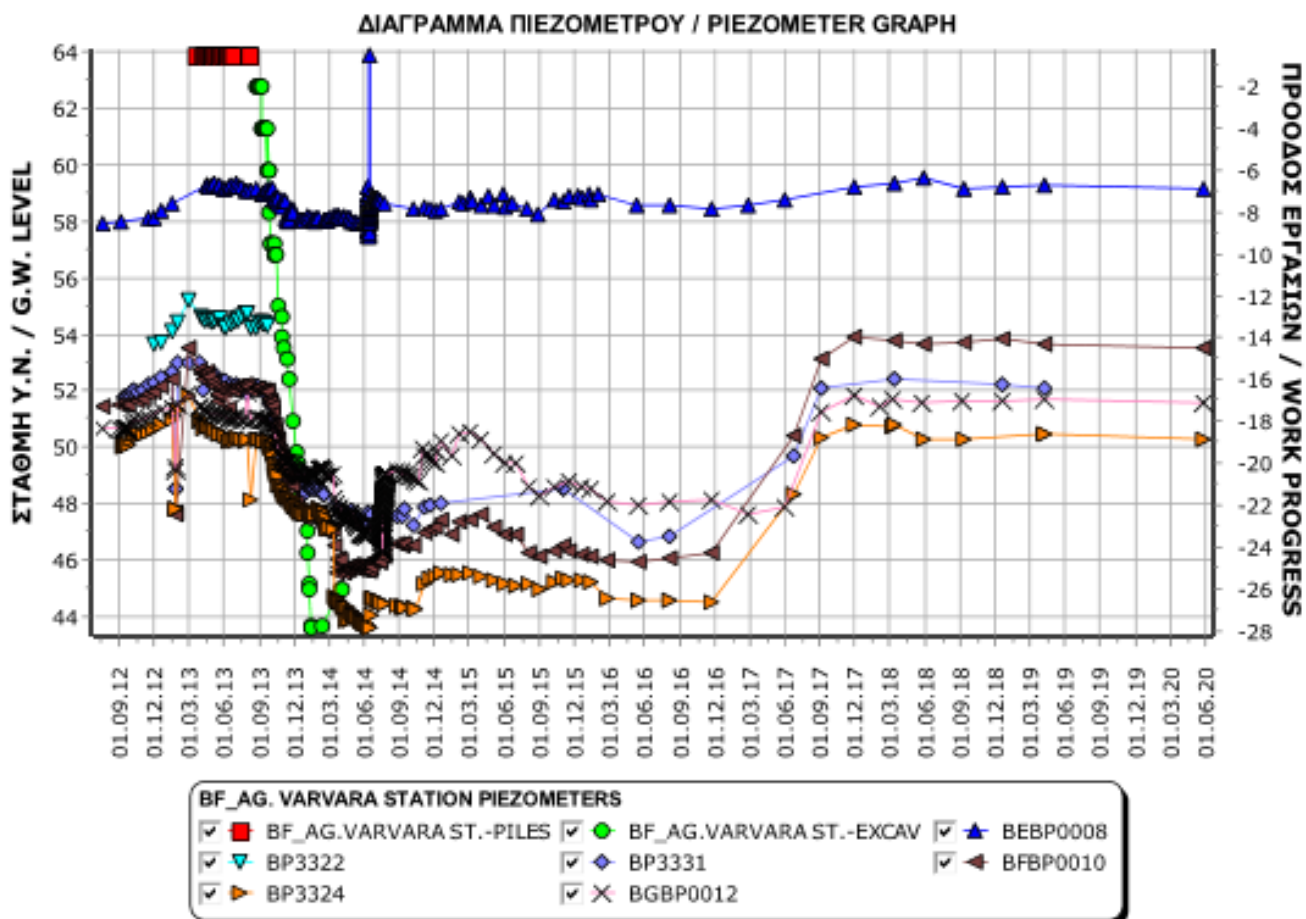


BF_AG.VARVARA ST.-HOR.EXTENSOMETER (WEST)		
<input checked="" type="checkbox"/> <span style="color: red;">■</span> BFHJ06 Rod 1(6m )	<input checked="" type="checkbox"/> <span style="color: green;">●</span> BFHJ06 Rod 2(17m )	<input checked="" type="checkbox"/> <span style="color: blue;">▲</span> BFHJ05 Rod 1(6m )
<input checked="" type="checkbox"/> <span style="color: cyan;">▼</span> BFHJ05 Rod 2(17m )	<input checked="" type="checkbox"/> <span style="color: blue;">◆</span> BFHJ04 Rod 1(6m )	<input checked="" type="checkbox"/> <span style="color: brown;">▲</span> BFHJ04 Rod 2(17m )
<input checked="" type="checkbox"/> <span style="color: orange;">▶</span> BF_AG.VARVARA ST.-EXCAV		



**Διάγραμμα 5.28** Διάγραμμα σχετικής μετακίνησης ράβδων εκτασιόμετρων (mm), σε σχέση με την εξέλιξη των εργασιών εκσκαφής και οριζοντιογραφία απεικόνισης των θέσεων τους, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).



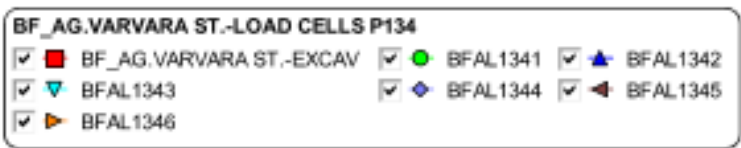
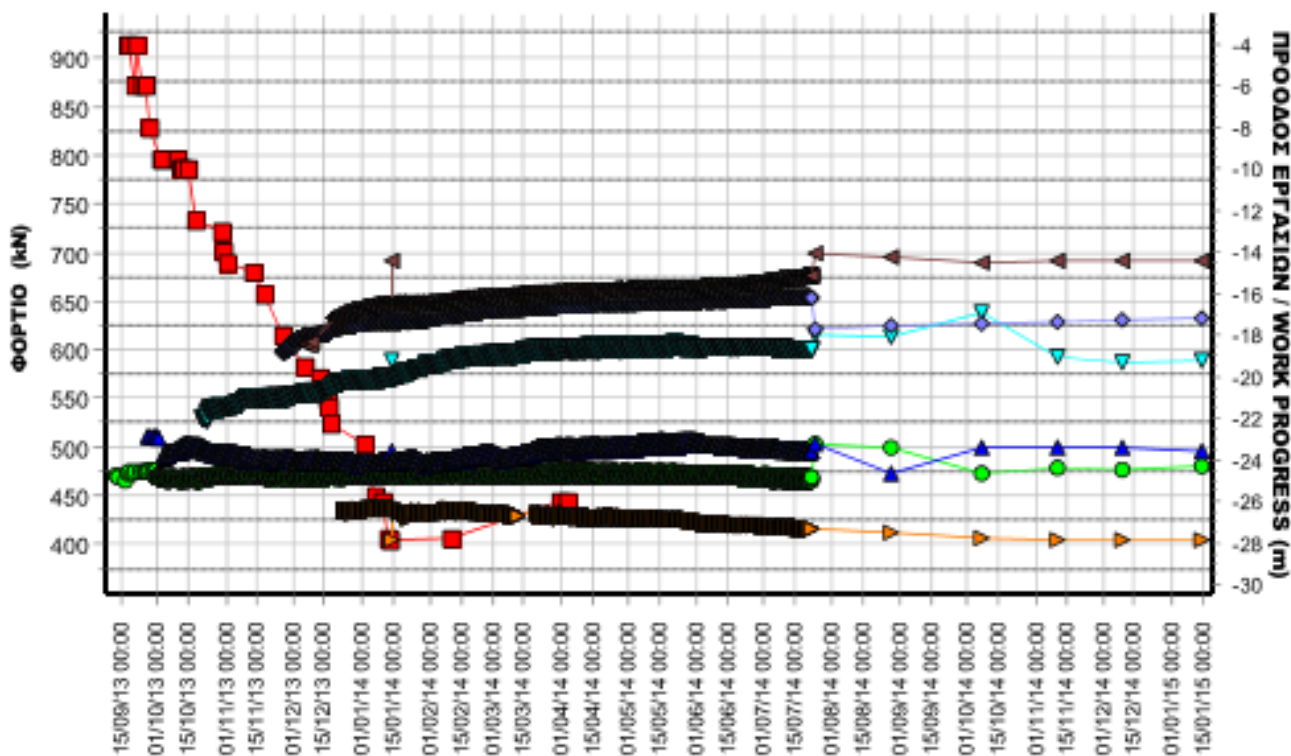


*19.03.14 BFBP0010 HIT BY ANCHOR*

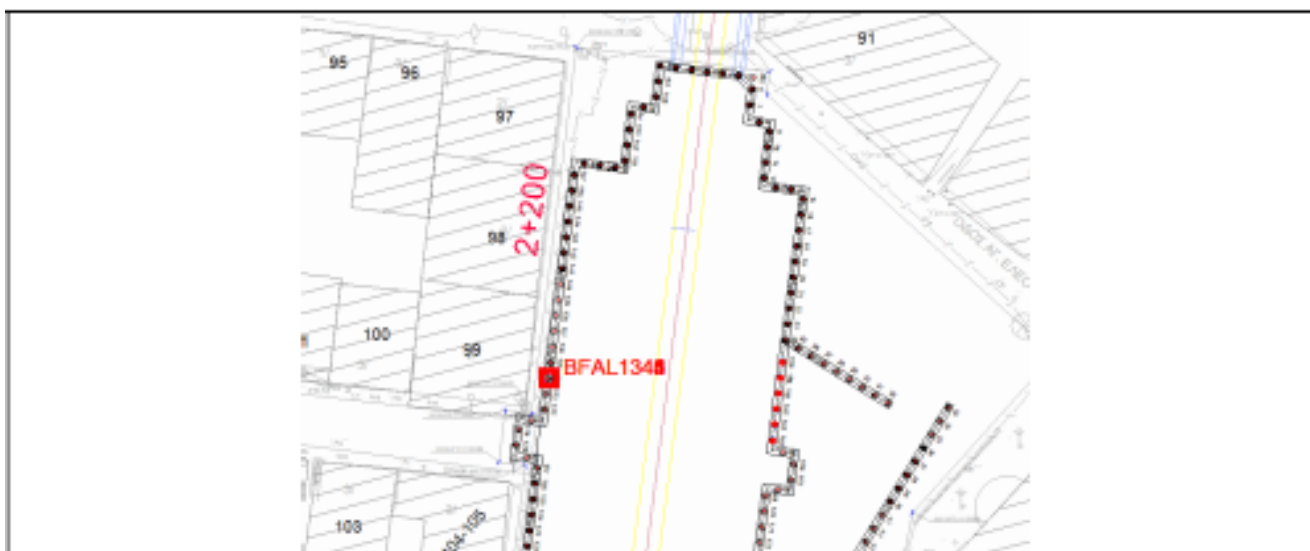


**Διάγραμμα 5.29** Διάγραμμα ενδείξεων στάθμης υπόγειου νερού πιεζόμετρων (απόλυτα υψόμετρα σε m) σε σχέση με την εξέλιξη των εργασιών εκσκαφής και οριζοντιογραφία απεικόνισης των θέσεων τους, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

### ΚΥΨΕΛΕΣ ΦΟΡΤΙΟΥ



ΣΤΟΝ ΚΩΔΙΚΟ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ, ΟΙ 3 ΠΡΩΤΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ ΔΗΛΑΝΟΥΝ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΟΥ ΠΛΑΣΣΑΛΟΥ ΚΑΙ Ο ΤΕΛΕΥΤΑΙΟΣ ΤΗ ΣΕΙΡΑ ΑΓΚΥΡΙΟΥ.  
Π.Χ. xxxxx0861: ΠΛΑΣΣΑΛΟΣ 86, ΣΕΙΡΑ 1q



**Διάγραμμα 5.30** Διάγραμμα μετρήσεων κυψελών φορτίου (kN) σε σχέση με την εξέλιξη των εργασιών εκσκαφής και οριζοντιογραφία απεικόνισης των θέσεων τους, του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

## 5.2 ΟΡΙΑ ΕΠΙΦΥΛΑΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ

Σύμφωνα με τις σχετικές νομοθεσίες και κανονισμούς, και τις προδιαγραφές όπως ορίστηκαν, προσδιορίστηκαν για τις διάφορες φάσεις κατασκευής και ανάλογα με το είδος και την κατηγορία του στοιχείου προς μελέτη, τα όρια επιφυλακής και συναγερμού των μετρήσεων της Γ.Δ.Π.. Πιο συγκεκριμένα τα όρια αυτά σε μία αρχική «προειδοποίηση» (επιφυλακή) καλούν για μια περαιτέρω διερεύνηση και παρακολούθηση του στοιχείου/περιοχής του οποίου οι μετρήσεις παρακολούθησης (τοπογραφικές ή γεωλογικές) υπερβαίνουν τα περιθώρια απόκλισης από τις μετρήσεις αναφοράς. Έτσι αποκλείονται τυχόν σφάλματα χονδροειδή των μετρήσεων και διερευνώνται τυχόν τοπικές αστοχίες/δυσχέρειες της περιοχής μελέτης που επιφέρουν τα αποτελέσματα αυτά των μετρήσεων και λαμβάνονται όλα τα απαραίτητα μέτρα προκειμένου να αποφευχθεί οποιαδήποτε αστοχία κατασκευής. Στα πλαίσια αυτά είναι πιθανή και μία τροποποίηση μικρής/τοπικής κλίμακας των μεθόδων προσωρινής αντιστήριξης ή/και μόνιμης επένδυσης. Στην περίπτωση υπέρβασης των ορίων συναγερμού οι παρακολουθήσεις των υπό εξέταση στοιχείων εντατικοποιούνται με την μεγαλύτερη δυνατή συχνότητα και συνοδεύονται με παύση εργασιών στην υπό εξέταση περιοχή, έως ότου σταθεροποιηθούν οι μετρήσεις και ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα που θα διασφαλίσουν την ομαλή έκβαση των εργασιών εκσκαφής ή κατασκευής και εξασφαλιστεί η ασφαλής διεκπεραίωση του έργου. Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες των εν λόγω ορίων για τα διάφορα μέλη/στοιχεία τα οποία συνθέτουν την κατασκευή του Σταθμού Αγ. Βαρβάρας στο σύνολο της.

Κτήρια. Όρια επιφυλακής και συναγερμού σύμφωνα με τις περιοριστικές τιμές που ορίστηκαν στη ΜΕΤΣΔΙΚΚ και τους πίνακες 13.1 και 13.2 της παραγράφου 13.2.4.2 των ΠΜΕΠΜ.												
Κωδικός	Φ.Ο	Βαθμολογία Ir	Surface sett.		Angle Def.		Horiz Def.		Surface sett. rate		Crack rate	
			mm	mm	1/	1/	%	%	mm/day	mm/day	mm/day	mm/day
			Alert	Alarm	Alert	Alarm	Alert	Alarm	Alert	Alarm	Alert	Alarm
82	Οπλισμένο σκυρόδεμα	98	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
83	Οπλισμένο σκυρόδεμα	87	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
83A	αέριουσα Τοιχοποιία	96	9	12	1200	900	0.1	0.15	2	3	0.5	1
84	Οπλισμένο σκυρόδεμα	99	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
85	Οπλισμένο σκυρόδεμα	89	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
86	Οπλισμένο σκυρόδεμα	63	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
87	Οπλισμένο σκυρόδεμα	105	15	20	933.3	700	0.1	0.15	2	3	0.5	1
88	Οπλισμένο σκυρόδεμα	81	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
89	Οπλισμένο σκυρόδεμα	104	15	20	933.3	700	0.1	0.15	2	3	0.5	1
90	Οπλισμένο σκυρόδεμα	97	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
91	Οπλισμένο σκυρόδεμα	99	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
92	Οπλισμένο σκυρόδεμα	95	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
93	Οπλισμένο σκυρόδεμα	85	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
94	Οπλισμένο σκυρόδεμα	89	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
94A	αέριουσα Τοιχοποιία	84	11.25	15	1067	800	0.1	0.15	2	3	0.5	1
95	Οπλισμένο σκυρόδεμα	71	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
96	Οπλισμένο σκυρόδεμα	86	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
97	Οπλισμένο σκυρόδεμα	121	15	20	933.3	700	0.1	0.15	2	3	0.5	1
98	Οπλισμένο σκυρόδεμα	113	15	20	933.3	700	0.1	0.15	2	3	0.5	1
99	Οπλισμένο σκυρόδεμα	110	15	20	933.3	700	0.1	0.15	2	3	0.5	1
100	Οπλισμένο σκυρόδεμα	104	15	20	933.3	700	0.1	0.15	2	3	0.5	1
101	Οπλισμένο σκυρόδεμα	125	15	20	933.3	700	0.1	0.15	2	3	0.5	1
101A	Οπλισμένο σκυρόδεμα	102	15	20	933.3	700	0.1	0.15	2	3	0.5	1
101B	Οπλισμένο σκυρόδεμα	92	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
102	Οπλισμένο σκυρόδεμα	119	15	20	933.3	700	0.1	0.15	2	3	0.5	1
102A	αέριουσα Τοιχοποιία	89	11.25	15	1067	800	0.1	0.15	2	3	0.5	1
103	Οπλισμένο σκυρόδεμα	71	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
104-105	Οπλισμένο σκυρόδεμα	111	15	20	933.3	700	0.1	0.15	2	3	0.5	1
106	Οπλισμένο σκυρόδεμα	110	15	20	933.3	700	0.1	0.15	2	3	0.5	1

**Πίνακας 5.1.α.** Όρια επιφυλακής και συναγερμού για τα κτηριακά δομικά στοιχεία εντός της ζώνης επιρροής του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

107-108	Οπλισμένο σκυρόδεμα	115	15	20	933.3	700	0.1	0.15	2	3	0.5	1
109	Οπλισμένο σκυρόδεμα	90	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
110	Οπλισμένο σκυρόδεμα	94	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
111	Οπλισμένο σκυρόδεμα	83	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
112	αέριουσα Τοιχοποιία	105	9	12	1200	900	0.1	0.15	2	3	0.5	1
113	Οπλισμένο σκυρόδεμα	71	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
114	Οπλισμένο σκυρόδεμα	79	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
115	Οπλισμένο σκυρόδεμα	87	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
116	Οπλισμένο σκυρόδεμα	86	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
117	Οπλισμένο σκυρόδεμα	90	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
118	Οπλισμένο σκυρόδεμα	81	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
119	Οπλισμένο σκυρόδεμα	86	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
120	Οπλισμένο σκυρόδεμα	79	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
120a	αέριουσα Τοιχοποιία	96	9	12	1200	900	0.1	0.15	2	3	0.5	1
121	Οπλισμένο σκυρόδεμα	113	15	20	933.3	700	0.1	0.15	2	3	0.5	1
121a	Οπλισμένο σκυρόδεμα	122	15	20	933.3	700	0.1	0.15	2	3	0.5	1
122	Οπλισμένο σκυρόδεμα	108	15	20	933.3	700	0.1	0.15	2	3	0.5	1
123	Οπλισμένο σκυρόδεμα	94	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
124	Οπλισμένο σκυρόδεμα	105	15	20	933.3	700	0.1	0.15	2	3	0.5	1
125	Οπλισμένο σκυρόδεμα	78	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
126	Οπλισμένο σκυρόδεμα	106	15	20	933.3	700	0.1	0.15	2	3	0.5	1
127	Οπλισμένο σκυρόδεμα	82	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
128	Οπλισμένο σκυρόδεμα	70	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
129	Οπλισμένο σκυρόδεμα	84	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1
130	Οπλισμένο σκυρόδεμα	100	15	20	933.3	700	0.1	0.15	2	3	0.5	1
131	Οπλισμένο σκυρόδεμα	98	18.75	25	800	600	0.1	0.15	2	3	0.5	1

**Πίνακας 5.1.β.** Όρια επιφυλακής και συναγερμού για τα κτηριακά δομικά στοιχεία εντός της ζώνης επιρροής του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

Προσωρινή αντιστήριξη. Όρια επιφυλακής και συναγερμού σύμφωνα με τη Μελέτη Προσωρινής Αντιστήριξης (3SW6CW395C901D) και τους πίνακες 13.1 και 13.2 της παραγράφου 13.2.4.2 των ΠΜΕΠΜ.			
Μετρούμενη παράμετρος / Measured parameter	Ομάδα πασσάλων / Pile group	Όριο επιφυλακής / Alert limit	Όριο συναγερμού / Alarm limit
Οριζόντια μετακίνηση (mm) / Horizontal displacement	1	34	43
	2	34	43
	3	33	42
	4	33	41
	5	37	46
	6	19	24
	7	18	23
	8	12	15
	9	12	15
	10	18	22
	11	30	37
	12	29	37
	13	29	36
	14	29	36
	15	10	13
	16	18	23
	17	31	38
	18	26	32
	19	27	33
	20	27	34
	21	28	35
	21a	28	35
	22	28	35
	23	17	21
	24	13	16
24a	13	16	
25	23	29	
Φορτίο αγκυρώσεων / Anchors load (kN)	6κλ ωνο	957	1196
	5κλ ωνο	826	1033
	4κλ ωνο	660	825
	3κλ ωνο	490	607
Ρυθμός μεταβολής ανοίγματος ρωγμής / Crack opening change rate (mm/day) <sup>(1)</sup>		0.5	1.0

**Πίνακας 5.2.** Όρια επιφυλακής και συναγερμού για τα δομικά στοιχεία στην φάση της προσωρινής αντιστήριξης του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

Ελεύθερο πεδίο, οδοί, πεζοδρόμια, δίκτυα ΟΚΩ. Όρια επιφυλακής και συναγερμού σύμφωνα με τους πίνακες 13.1 και 13.2 της παραγράφου 13.2.4.2 των ΠΜΕΠΜ.		
Παράμετρος	Όριο συναγερμού / Alarm limit	Όριο συναγερμού / Alarm limit
Συνολική κατακόρυφη μετακίνηση (m m)	22	30
Γωνιακή παραμόρφωση	1:650	1:500
Ρυθμός μεταβολής ολικής καθίζησης (mm/day) <sup>(1)</sup>	3	4

(1) Ρυθμός μεταβολής για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των δύο (2) ημερών

**Πίνακας 5.3.** Όρια επιφυλακής και συναγερμού για τα δομικά στοιχεία του ελεύθερου πεδίου εντός της ζώνης επιρροής του σταθμού Αγ. Βαρβάρας, (πηγή: Αρχείο Γ.Δ.Π. του Ανάδοχου).

## **5.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΚΒΑΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ**

### **5.3.1 Αξιολόγηση μεθόδων προσωρινής αντιστήριξης και μόνιμης επένδυσης**

Η μελέτη και η υλοποίηση της προσωρινής αντιστήριξης και της μόνιμης επένδυσης για την κατασκευή του Σταθμού της Αγ. Βαρβάρας αξιολογείται ως προς το κριτήριο συμπεριφοράς των υποδομών και του ελεύθερου πεδίου εντός της ζώνης επιρροής κατά την διάρκεια των εργασιών εκσκαφής και κατασκευής των επί μέρους τμημάτων του σταθμού μέχρι την ολοκλήρωση των εργασιών κατασκευής.

Συμπερασματικά, η υλοποίηση του έργου καλύπτει τις προδιαγραφές, οριζόμενων από τις σχετικές νομοθεσίες και μελέτες, όπως και τα όρια ανοχής. Τα όρια δηλαδή εκείνα εντός των οποίων οι αποκλίσεις των παρατηρήσεων (από τις αρχικές τιμές αναφοράς) της Γ.Δ.Π., της υπό εξέταση περιοχής εντός της ζώνης επιρροής, είναι αποδεκτές. Επιπρόσθετα η έκβαση του έργου θεωρείται επιτυχής και στο σύνολό του το γεωλογικό μοντέλο όπως αρχικά εκτιμήθηκε βάση της γεωλογικής έρευνας, επιβεβαιώθηκε.

### **5.3.2 Αξιολόγηση του έργου της Γ.Δ.Π.**

Οι αρμοδιότητες και οι εργασίες της Γ.Δ.Π. ορίστηκαν στα πλαίσια του κατασκευαστικού έργου του Σταθμού Αγ. Βαρβάρας προκειμένου να επιτευχθεί η αποφυγή οποιασδήποτε είδους αστοχίας κατά την διάρκεια των απαραίτητων εργασιών εκσκαφής και κατασκευής του σταθμού και η αντιμετώπιση πιθανών κινδύνων από φυσικά, γεωλογικά, τεχνικά ή και κατασκευαστικά αίτια. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν καθ' όλη την διάρκεια των εργασιών, τα «ως κατασκευάσθη» σχέδια καθώς και η σύγκριση όλων των αναφερόμενων με τα όρια επιφυλακής, συναγερμού και ανοχής όλων των επί μέρους τμημάτων από τα οποία αποτελείται το έργο, σε όλα τα στάδια εκσκαφής και κατασκευής, επιβεβαιώνουν τους στόχους του τμήματος. Η συγκέντρωση, η επεξεργασία και η διεξαγωγή των μετρήσεων πιο συγκεκριμένα, που πραγματοποιήθηκαν από τον τομέα της Γ.Δ.Π. πριν την έναρξη των εργασιών εκσκαφής έως και την ολοκλήρωση του έργου – υπηρεσίες του γεωλογικού και τοπογραφικού δυναμικού, τις οποίες παρείχα και η ίδια στα πλαίσια της συνεργασίας μας με την κοινοπραξία του Ανάδοχου σε όλο το χρονικό διάστημα κατασκευής του έργου, από την υλοποίηση του τοπογραφικού δικτύου έως και την μόνιμη επένδυση του σταθμού και το πέρας των μετρήσεων, αποτελεί την ταυτότητα συμπεριφοράς όλων των επί μέρους στοιχείων που βρίσκονταν, επί ή υπό της ζώνης επιρροής. Οι αποκλίσεις του εδάφους και των δομικών στοιχείων επί αυτού, αποτυπώνουν συνολικά μια φυσική ακολουθία μεταξύ τους, ταύτιση δηλαδή της κατεύθυνσης του διανύσματος εκτροπής από την αρχική θέση. Υπάρχει, βέβαια και μία ακολουθία ως προς το τμήμα της περιοχής που πραγματοποιήθηκε απώλεια εδαφικού όγκου. Τελικά, οι αποκλίσεις αυτές είναι εντός των οριακών προβλεπόμενων τιμών, και

αποφεύχθηκε κάθε είδους αστοχία και επιβεβαιώθηκαν οι εκτιμήσεις πιθανών κινδύνων.

### 5.3.3 Συμπεράσματα – Γενικές παρατηρήσεις

Η διερεύνηση τμήματος του τεχνικού έργου κατασκευής υπόγειας σήραγγας ΜΕΤΡΟ, και συγκεκριμένα ενός σταθμού αυτού, ως προς την παρακολούθηση των δομικών και αλληλοεπιδρώντων στοιχείων που βρίσκονται εντός της ζώνης επιρροής του, κατά την διάρκεια εξέλιξης του, σε συνδυασμό με τις τεχνικές προσωρινής αντιστήριξης και μόνιμης επένδυσης, αποτέλεσε σημαντικό εργαλείο για την διεξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με το καθοριστικής σημασίας έργο της γεωδομητικής παρακολούθησης ενός τέτοιου έργου.

Κατά το χρονικό διάστημα που πραγματοποιούνται οι εργασίες εκσκαφής, γίνεται η παρακολούθηση των γαιών και των υποδομών που αλληλοεπιδρούν με αυτές είτε επηρεάζονται άμεσα (βρίσκονται εντός ζώνης επιρροής της εκσκαφής), διασφαλίζοντας τις ίδιες τις κατασκευές, την ομαλή λειτουργία όλων των χρήσεων περιμετρικά του έργου (κατοικίες, επαγγελματικοί χώροι, ιεροί ναοί, πάρκα αναψυχής κ.τ.λ.) και την με ασφάλεια έκβαση όλων των εργασιών εντός του εργοταξίου. Ακόμα δίνεται μια πολύ καλή εικόνα για μελλοντικά παρόμοια έργα, προκειμένου να γίνει μία καλύτερη πρόβλεψη, της συμπεριφοράς των εδαφικών μετακινήσεων καθώς οι μηχανικές ιδιότητες του εδάφους και τα φορτία που τελικά επικρατούν προκύπτουν από υπολογισμούς με προσεγγιστικές σχέσεις οι οποίες εμπεριέχουν σφάλματα. Στην ίδια βάση, η ακριβής εκτίμηση των πιθανών αστοχιών των υπερκείμενων κατασκευών είναι ένα πολύπλοκη διαδικασία σε ένα υπόγειο έργο, η οποία απαιτεί σύνθετες προσομοιώσεις, πολλές παραδοχές και εμπεριέχει αρκετές άγνωστες παράμετρούς. Οι οριακές τιμές που καθορίζουν τα όρια της ανοχής των εκτιμημένων τιμών, προκύπτουν εμπειρικά και διατίθενται από πραγματοποιούμενα έργα, όπως δύναται να συμβεί και για το υπό μελέτη έργο. Με την γεωλογική παρακολούθηση επιπλέον, επιβεβαιώνεται το γεωλογικό μοντέλο του υπεδάφους και η ορθότητα της σχετικής μελέτης.

Επιπρόσθετα, με την έναρξη των εργασιών προσωρινής αντιστήριξης από τις παρατηρήσεις της Γ.Δ.Π. εντοπίζονται τυχόν αδυναμίες σε τοπικές «κακές» ποιότητες εδάφους, σε δυσμορφωλογικές περιοχές και γενικότερα σε επισφαλείς συνθήκες που δυσχεραίνουν την υλοποίηση των απαιτούμενων εργασιών, και προτείνονται τρόποι αντιμετώπισης αυτών προκειμένου να αποφευχθούν τυχόν καθυστερήσεις και αστοχίες. Τέλος η παρακολούθηση των κατασκευών και των υποδομών της μόνιμης επένδυσης επιβεβαιώνει την στατική μελέτη που έχει προηγηθεί και πραγματοποιείται έλεγχος της σταθεροποίησης του εδάφους εντός της ζώνης επιρροής στην νέα κατάσταση ισορροπίας, όπως και των κτηριακών και άλλων υποδομών εντός αυτής.

Για όλους τους παραπάνω λόγους η παρουσίαση μιας ολοκληρωμένης μελέτης και της τελικής «ως κατασκευάσθη» κατάσταση αυτής, σε συνδυασμό με τις μετρήσεις



παρακολούθησης της Γ.Δ.Π. του έργου, θα μπορούσε να αξιοποιηθεί ως ένα σημαντικό εργαλείο και μία πρόταση βελτίωσης μελλοντικών παρόμοιων έργων, αξιολόγησης και τελικά διαχείρισης πιθανών κινδύνων έργου για την αντιμετώπιση ή μείωση των επιπτώσεων αυτών.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Πηγές αρχείων Αναθέτουσας αρχής - ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. και Αναδόχου - J&P Avax Α.Ε..