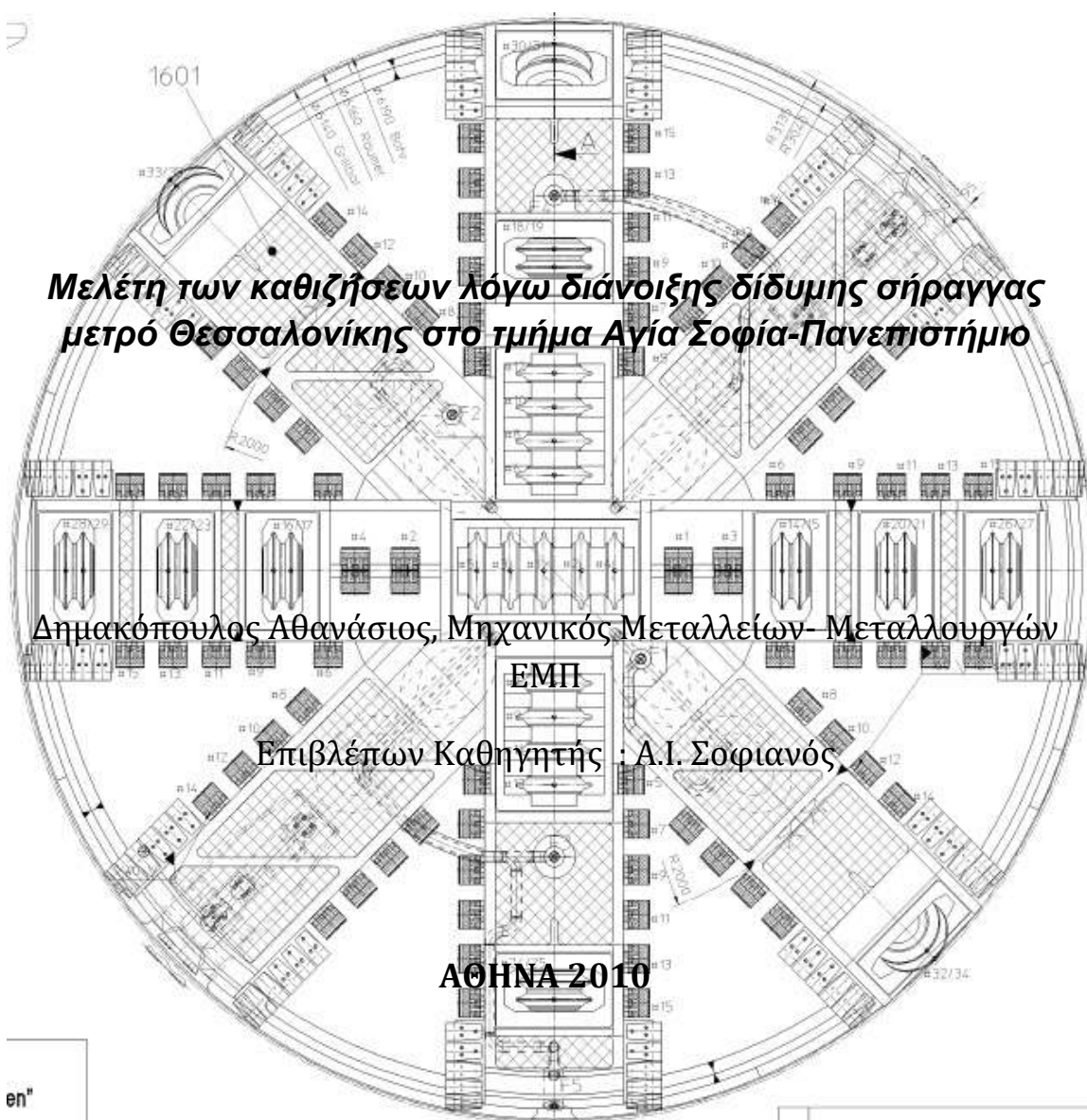




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΕΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ



Ευχαριστίες

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά την διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2009-2010.

Επιθυμώ να ευχαριστήσω, κατ' αρχάς τον καθηγητή μου και επιβλέποντα της εργασίας αυτής Καθηγητή κ. Αλέξανδρο Ι. Σοφιανό για την εμπιστοσύνη του, τον πολύτιμο χρόνο που μου διέθεσε, την παρότρυνση και την ενθάρρυνσή του προς την ολοκληρωμένη μελέτη του αντικειμένου που συνθέτει την εργασία αυτή.

Ευχαριστώ τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Βασίλειο Παπαδόπουλο για τα πολύτιμα σχόλια του κατά την κρίση της εργασίας καθώς και τον Λέκτορα κ. Παύλο Νομικό για τις συμβουλές του και τα σχόλιά του.

Επίσης εκφράζω τις ευχαριστίες μου στον κ. Στέλλιο Κουκουτά της Αττικό Μετρό Α.Ε. καθώς μου εμπιστεύθηκε όλα τα στοιχεία που αποτέλεσαν την βάση για την μελέτη του αντικειμένου της εργασίας και διέθεσε τον χρόνο του και το ενδιαφέρον του κατά το διάστημα της εργασίας μου, αλλά και για την παρουσία του κατά την κρίση της διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστώ ακόμη την υποψήφια διδάκτορα, Παρασκευή Γιούτα-Μήτρα για τις συμβουλές και την συναδελφικότητά της.

Για την υποστήριξή τους, τη συμπαράστασή τους, την υπομονή τους, ευχαριστώ την οικογένειά μου, την Ευφροσύνη Κουτσοθεοδώρου και τον Παναγιώτη Αγγελόπουλο.

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως θέμα την ανάστροφη ανάλυση των καθιζήσεων οι οποίες συντελέστηκαν στο υποτομήμα 3 του Μετρό Θεσσαλονίκης το οποίο ορίζεται μεταξύ του Σταθμού Αγία Σοφία και του Σταθμού Πανεπιστήμιο.

Αρχικά παραθέτονται οι γενικές εκείνες πληροφορίες οι οποίες αφορούν στο έργο του Μετρό Θεσσαλονίκης.

Ακολούθως περιγράφεται το γεωλογικό περιβάλλον από το οποίο διέρχεται η χάραξη του έργου και δίδεται ιδιαίτερη έμφαση στις συνθήκες οι οποίες επικρατούν στο υπό μελέτη τμήμα.

Εν συνεχεία περιγράφεται ο τύπος του μηχανήματος το οποίο επιλέχθηκε για την διάνοιξη των διδύμων σηράγγων και παρουσιάζονται όλες οι τεχνικές λεπτομέρειες και προδιαγραφές.

Παρά την καταλληλότητα του μηχανήματος κατά την διάνοιξη παρατηρήθηκαν κατακόρυφες μετακινήσεις στην περιοχή μεταξύ του Σταθμού Αγία Σοφία και του Σταθμού Πανεπιστήμιο των οποίων οι περιοχές αναγνωρίζονται και εκθέτονται τοπογραφικά δεδομένα αλλά και οι παράμετροι λειτουργίας των μηχανημάτων.

Οι αιτίες πρόκλησης των επιφανειακών καθιζήσεων κατά την μηχανοποιημένη όρυξη σηράγγων καθώς και οι μεθοδολογίες πρόβλεψης και ανάστροφης ανάλυσής τους βάσει της βιβλιογραφίας παρουσιάζονται για να ακολουθήσει ο προσδιορισμός των βέλτιστων καμπύλων οι οποίες περιγράφουν τις κατακόρυφες επιφανειακές μετακινήσεις οι οποίες σημειώθηκαν στο υπο μελέτη τμήμα.

Η περιοχή η οποία εμφάνισε την μέγιστη καθίζηση προσομοιώνεται με χρήση τριδιάστατου κώδικα πεπερασμένων στοιχείων.

Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την μελέτη των περιοχών των καθιζήσεων.

Περιεχόμενα

1 Μετρό Θεσσαλονίκης	9
Το έργο	9
1.1 Επισκόπηση του έργου	9
1.2 Πρόοδος του έργου	11
1.3 Σημαντικές βελτιώσεις στην μελέτη του έργου	11
1.4 Αρχαιολογικά θέματα.....	12
1.5 Δίκτυα οργανισμών κοινής ωφέλειας	12
1.6 Υπέδαφος	13
1.7 Μέθοδοι Κατασκευής.....	13
1.8 Πρόβλεψη επεκτάσεων συστήματος.....	13
1.9 Σύστημα θυρών επί των αποβαθρών	13
1.10 Επεκτάσεις	13
2.Γεωλογικές συνθήκες	15
Τμήμα III, Σταθμός Αγίας Σοφίας-Σταθμός Πανεπιστήμιο (Χ.Θ: ~1+908 – 3+630)	19
Τμήμα Σταθμός Αγίας Σοφίας – Σταθμός Σιντριβάνι	19
Τμήμα Σταθμός Σιντριβάνι – Διασταύρωση Σιντριβάνι	22
Τμήμα Διασταύρωση Σιντριβάνι – Σταθμός Πανεπιστήμιο	23
3.Μέθοδος διάνοιξης	26
3.1 Μηχανή με Εξισορρόπηση της πίεσης του Εδάφους (EPB).....	26
3.2 Εδαφικές συνθήκες όπου εφαρμόζεται το EPB.....	27
3.3 Τεχνική περιγραφή EPB	30
3.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά	30

3.3.2.Χαρακτηριστικά της μηχανής εκσκαφής EPB	31
3.3.3 Κοπτική κεφαλή	33
3.3.4 Διαμόρφωση της ασπίδας.....	38
3.3.5 Ανθρωποθυρίδα και θυρίδα υλικών	40
3.3.6 Έμβολα ώθησης του EPB.....	42
3.3.7 Μεταφορέας με ατέρμων κοχλία	45
3.3.8 Σύστημα μεταφοράς υλικού εκσκαφής.....	48
3.3.9 Προσθετικοί ρυθμιστικοί παράγοντες.....	49
3.3.10 Τοποθέτηση των Προκατασκευασμένων στοιχείων.....	52
3.3.11 Σύστημα ενέματος.....	54
3.3.12 Κέντρο πλοήγησης και ελέγχου του EPB	55
3.3.12 Σύστημα Υποστήριξης του EPB	57
4 Μετρήσεις καθιζήσεων	73
4.1: Σύστημα γεωμηχανικής και δομητικής παρακολούθησης τμήματος Αγία Σοφία έως Σταθμό Σιντριβάνι.....	73
4.1.2 Τιμές καθίζησης για επιφυλακή και συναγερμό	75
4.2 Σύστημα γεωμηχανικής και δομητικής παρακολούθησης στο τμήμα Σιντριβάνι έως Πανεπιστήμιο	86
4.2.1 Τιμές καθίζησης επιφυλακής και συναγερμού	89
5 Καθιζήσεις κατά μήκος της χάραξης.....	96
5.1 Καθορισμός περιοχών λεκανών καθιζήσεων.....	99
5.1.1Περιοχή από Χ.Θ. 1907 έως Χ.Θ.2000	104
5.1.2 Περιοχή από Χ.Θ. 2340 έως Χ.Θ.2392	110
5.1.3 Περιοχή από Χ.Θ.2400 έως Χ.Θ.2469	116
5.1.4 Περιοχή από Χ.Θ.2830 έως Χ.Θ.2870.....	124
6 Καθιζήσεις λόγω διάνοιξης αβαθούς σήραγγας.....	133
6.1 Οι προκαλούμενες από την διάνοιξη καθιζήσεις.....	133
6.2 Ευστάθεια μετώπου.....	135
6.3 Επέκταση των μετακινήσεων προς την επιφάνεια.....	136
6.4 Κύριοι παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν την ευστάθεια του ανοίγματος κατά την κατασκευή.	138
6.4.1 Σύγκλιση του ανοίγματος	140

6.5 Αιτία προκαλούμενων εκ κατασκευής καθιζήσεων	141
6.5.1 Καθιζήσεις εμπρός και πίσω από το μέτωπο	142
6.5.2 Καθιζήσεις κατά μήκος της ασπίδας.....	142
6.5.3 Καθιζήσεις στο ουραίο τμήμα της ασπίδας.....	142
6.5.4 Καθιζήσεις εξαιτίας της παραμόρφωσης της υποστήριξης	143
6.6 Επίδραση των υπογείων υδάτων	143
6.7 Επίδραση των εργοταξιακών συνθηκών	144
6.8 Εκτίμηση των επιφανειακών καθιζήσεων.....	144
6.8.1 Υπολογιστικές μέθοδοι για την εκτίμηση των επιφανειακών καθιζήσεων....	144
6.8.2 Μέθοδοι εκτίμησης επιφανειακών καθιζήσεων	146
6.8.2.1 Εμπειρικές και ημιεμπειρικές μέθοδοι.....	146
6.8.2.2 Αριθμητικές μέθοδοι.....	147
6.8.3 Βασική μέθοδος για την εκτίμηση των επιφανειακών καθιζήσεων	148
6.8.3.1. Εκτίμηση απωλειών όγκου γύρω από το μέτωπο.....	148
6.8.3.2. Διάδοση των μετατοπίσεων προς την επιφάνεια	149
6.8.3.3. Εγκάρσιες καθιζήσεις και μετατοπίσεις.....	150
6.8.3.4 Οριζόντιες επιφανειακές εδαφικές μετακινήσεις κάθετα προς τον άξονα της σήραγγας.....	159
6.8.3.5 Κατακόρυφες εδαφικές επιφανειακές μετακινήσεις κατά μήκος του άξονα της σήραγγας	160
6.8.4. Αλληλεπίδραση σε δίδυμη σήραγγα	161
6.8.4.1 Μέθοδος υπέρθεσης ανεξαρτήτως αλληλεπίδρασης.....	161
6.8.4.2 Συντελεστής αλληλεπίδρασης	161
6.8.5. Ανάστροφη ανάλυση καθιζήσεων σε δίδυμη σήραγγα.....	163
6.8.6 Συσχέτιση μεταξύ μετατόπισης στέψης και επίγειας επιφάνειας	164
6.8.7. Η λεκάνη καθίζησης σε τρεις διαστάσεις	164
7 Ανάστροφη ανάλυση παρατηρούμενων καθιζήσεων στο τμήμα Αγία Σοφία Χ.Θ. 1+890.627-Πανεπιστήμιο Χ.Θ. 3+345.462.	167
7.1 Προσδιορισμός βέλτιστης καμπύλης Γκαουσιανής κατανομής	167
Βήμα Πρώτο	168
Βήμα Δεύτερο	169
Βήμα Τρίτο	169
Ακρίβεια προσαρμογής.....	169
7.2 Οι καμπύλες Γκαουσιανής κατανομής βέλτιστης προσαρμογής	170
Περιοχή Χ.Θ.1995.9,.....	172
Περιοχή Χ.Θ.2340 έως Χ.Θ.2392.....	174
Περιοχή από Χ.Θ:2400 έως Χ.Θ.2469	176
Περιοχή από Χ.Θ:2830 έως Χ.Θ.2870	181

7.3	Σύγκριση αποτελεσμάτων.....	189
	Διάνοιξη Γραμμής 1	189
	Τελική Κατάσταση.....	190
	Καθιζήσεις Λόγω Διάνοιξης Γραμμής 2 μόνον	191
	Υπέρθωση Γκαουσιανών Γραμμής 1 και Γραμμής 2.	192
	Αξιολόγηση	192
8	Προσομοίωση με χρήση αριθμητικών μεθόδων της περιοχής από Χ.Θ.2340 έως Χ.Θ.2392.....	193
8.1	Μοντέλο προσομοίωσης δίδυμης σήραγγας με μηχανήμα εξισσορόπισης εδαφικών πιέσεων	195
8.1.1	Παράμετροι και μεταβλητές.....	195
8.1.2	Διδιάστατη Γεωμετρία μοντέλου	195
8.1.3	Προσομοίωση εδαφικού υλικού και σκυροδέματος επένδυσης	196
8.1.4	Τριδιάστατη γεωμετρία μοντέλου	198
8.1.5	Αρχική κατάσταση	199
8.2	Διεξαγωγή των αριθμητικών αναλύσεων	199
8.2.1	Διάρθρωση των φάσεων υπολογισμού.....	200
8.2.2	Εκτέλεση υπολογισμών	202
8.3	Αποτελέσματα υπολογισμών.....	203
8.3.1	Κατακόρυφες επιφανειακές μετακινήσεις	204
8.3.2	Απώλεια εδαφικού όγκου.....	205
8.3.4	Μορφή του προφίλ επιφανειακών καθιζήσεων.....	206
8.3.5	Σύγκριση αποτελεσμάτων αριθμητικής ανάλυσης με τις καμπύλες βέλτιστης προσαρμογής πραγματικών δεδομένων	207
9	Συμπεράσματα	212
	Βιβλιογραφία.....	215
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΓΚΑΟΥΣΙΑΝΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ	
	Περιοχή από Χ.Θ.1907 έως Χ.Θ.2000	

Περιοχή από Χ.Θ.2340 έως Χ.Θ.2392	
Περιοχή από Χ.Θ.2400 έως Χ.Θ.2469	
Περιοχή από Χ.Θ.2830 έως Χ.Θ.2870	
Επεξεργασία αποτελεσμάτων Αριθμητικής Ανάλυσης	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ κ ΚΑΤΑ SELBY	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ ΙΣΟΥΨΕΙΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΑΠΟ Χ.Θ. 1+890.627 ΕΩΣ Χ.Θ. 3+345.462.....	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΗΚΟΤΟΜΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΑΠΟ Χ.Θ. 1+890.627 ΕΩΣ Χ.Θ. 3+345.462.....	

1 Μετρό Θεσσαλονίκης

Το έργο

1.1 Επισκόπηση του έργου

Το έργο του Μετρό Θεσσαλονίκης περιλαμβάνει υπόγεια κύρια γραμμή μήκους περίπου 9,6 χλμ δύο τροχιών, που στο μεγαλύτερο τμήμα της διέρχεται κάτω από βασικούς οδικούς άξονες και κεντρικά σημεία της πόλης, και 13 σταθμούς. Περιλαμβάνει επίσης ένα αμαξοστάσιο στην περιοχή της Πυλαίας για την εναπόθεση του τροχαίου υλικού και όλου του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού για την συντήρηση και τις επισκευές. Εντός του Αμαξοστασίου βρίσκεται το Κέντρο Ελέγχου Λειτουργίας, καθώς και το κτήριο Διοίκησης του Μετρό Θεσσαλονίκης, στοιχεία τα οποία εμπίπτουν και αυτά στο αντικείμενο εργασιών.

Η Γραμμή ξεκινά από την βορειοδυτική πλευρά της πόλης με τον Σταθμό «Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός», ο οποίος βρίσκεται εμπρός από τον Σταθμό του ΟΣΕ, και συνεχίζει έως τον τερματικό Σταθμό «Νέα Ελβετία» στην νοτιοανατολική πλευρά της πόλης. Η γραμμή ακολουθεί κυρίως τις οδούς Μοναστηρίου, Εγνατίας, Ν. Εγνατίας, Δελφών και Σόλωνος για να φθάσει στον τερματικό σταθμό «Νέα Ελβετία». Επισυνάπτεται ένα γενικό σχέδιο της διάταξης της γραμμής.

Οι προβλεπόμενοι σταθμοί είναι:

- Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός
- Πλατεία Δημοκρατίας
- Βενιζέλου
- Αγία Σοφία
- Σιντριβάνι
- Πανεπιστήμιο
- Παπάφη
- Ευκλείδη
- Φλέμινγκ
- Αναλήψεως
- Πατρικίου
- Βούλγαρη
- Νέα Ελβετία

Μετά την αποτυχημένη απόπειρα κατασκευής του Μετρό Θεσσαλονίκης με τη μέθοδο της παραχώρησης (1998 - 2003), τον Σεπτέμβριο του 2003 αποφασίστηκε το Μετρό να κατασκευαστεί ως δημόσιο έργο με χρηματοδότηση του Ελληνικού Δημοσίου και της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Με βάση τη διακήρυξη του νέου Διαγωνισμού, τον Ιούνιο του 2004 υπέβαλαν εκδήλωση ενδιαφέροντος πέντε κοινοπραξίες με σημαντικές ελληνικές και ξένες εταιρείες του κλάδου. Το πρώτο στάδιο του διαγωνισμού ολοκληρώθηκε τον Νοέμβριο του 2004. Τέσσερις (4) από τις πέντε(5) κοινοπραξίες συνέχισαν στο δεύτερο στάδιο και τον Ιανουάριο 2005 έλαβαν τα τεύχη της δημοπράτησης και τη νέα προμελέτη του έργου. Στις 12 Μαΐου 2005 οι προεπιλεγείσες κοινοπραξίες υπέβαλαν την τεχνική και οικονομική προσφορά τους και στις 19 Αυγούστου ολοκληρώθηκε η αξιολόγηση των τεχνικών και οικονομικών προσφορών των τριών κοινοπραξιών που έμειναν στο τελικό στάδιο του διαγωνισμού. Η σύμβαση με την ανάδοχο κοινοπραξία ΑΕΓΕΚ IMPREGILOANSALDOT.S.F.-SELI-ANSALDOBREDA υπογράφηκε στις 7 Απριλίου 2006 και στα τέλη Ιουνίου του ίδιου έτους ξεκίνησαν οι προπαρασκευαστικές εργασίες για την κατασκευή του έργου.

Η κατασκευή του Μετρό της Θεσσαλονίκης ενσωματώνει τα πλέον σύγχρονα τεχνολογικά δεδομένα και τις πιο απαιτητικές προδιαγραφές ποιότητας και λειτουργικότητας, με αποτέλεσμα να είναι όχι μόνο καλύτερο από το Μετρό της Αθήνας, αλλά το πιο σύγχρονο μετρό στην Ευρώπη.

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

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

Επίσης, στο πρόγραμμα ανάπτυξης χώρων στάθμευσης της Αττικό Μετρό προβλέπεται η κατασκευή υπόγειων χώρων στάθμευσης στο Μετρό της Θεσσαλονίκης, συνολικής χωρητικότητας 3.700 θέσεων. Συγκεκριμένα:

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΘΕΣΕΙΣ	ΕΠΙΠΕΔΑ
Ν. Σιδηροδρομικός Σταθμός 1	450	-4 υπόγεια
Νέος Σιδ. Σταθμός 2	600	-4 υπόγεια
Νέα Ελβετία	650	-1, ισόγειο, +2
Πανεπιστήμιο 1	1000	-4 υπόγεια
Πανεπιστήμιο 2	1000	-4 υπόγεια
Σύνολο	3700	

1.2 Πρόοδος του έργου

Για το μετρό της Θεσσαλονίκης εργάζονται καθημερινά περισσότερα από 650 άτομα διαφόρων ειδικοτήτων, ενώ η ανάδοχος κοινοπραξία έχει ήδη αναπτύξει 16 εργοταξιακούς χώρους στην πόλη και σταδιακά συνεχίζει, μετά τις απαραίτητες εγκρίσεις από όλους τους φορείς, την εγκατάσταση των υπόλοιπων εργοταξίων της κατά μήκος της Γραμμής.

Τον Νοέμβριο του 2007 έφθασε στην πόλη το πρώτο Μηχάνημα Διάνοιξης Σηράγγων («μετροπόντικας»), και στις 4 Απριλίου 2008 αφίχθη και το δεύτερο. Ο πρώτος Μετροπόντικας, ο «Κωστίκας», ξεκίνησε στις αρχές του έτους το, ενώ τον Απρίλιο ακολούθησε ο δεύτερος Μετροπόντικας, ο «Γιωρίκας». Θα κατασκευάζονται κατά μέσο όρο καθημερινά δέκα μέτρα έτοιμης σήραγγας Μετρό σε βάθος από 16 έως 31 μέτρα. Σημειώνεται ότι τα προϊόντα εκσκαφής από τα δύο Μηχανήματα μεταφέρονται από το Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό εκτός της κεντρικής περιοχής της Θεσσαλονίκης δίχως έτσι να επιβαρύνεται με κίνηση φορτηγών το κέντρο της πόλης.

Όπως συνέβη και στην κατασκευή του Μετρό της Αθήνας, για τις ανάγκες του Μετρό Θεσσαλονίκης πραγματοποιείται σήμερα η μεγαλύτερη αρχαιολογική ανασκαφή της Θεσσαλονίκης (20.000 τ.μ.) και ήδη σημαντικά και απρόβλεπτα ευρήματα έχουν έρθει στο φως.

1.3 Σημαντικές βελτιώσεις στην μελέτη του έργου

Σημαντικά ζητήματα που δεν είχαν αντιμετωπισθεί επαρκώς από την προηγούμενη μελέτη της αποτυχημένης απόπειρας κατασκευής του Μετρό της Θεσσαλονίκης με τη μέθοδο της παραχώρησης (1998-2003), αντιμετωπίστηκαν λεπτομερώς χάρις στη

νέα μελέτη του έργου. Η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΑΕ ανταπεξήλθε με επιτυχία ιδιαίτερα δύσκολες προκλήσεις σε τεχνικά θέματα κατασκευής του έργου εξασφαλίζοντας έτσι την ελαχιστοποίηση των όποιων εμπλοκών λόγω του ανεπαρκούς αρχικού

σχεδιασμού. Συγκεκριμένα, οι βασικές βελτιώσεις στον σχεδιασμό και στη μελέτη του συστήματος του Μετρό της Θεσσαλονίκης είναι οι εξής:

1.4 Αρχαιολογικά θέματα

Χάρη στην άριστη και στενή συνεργασία με τις Αρχαιολογικές Υπηρεσίες και το Υπουργείο Πολιτισμού, η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΑΕ προχώρησε στις παρακάτω ενέργειες:

- Πραγματοποίησε μελέτη αρχαιολογικής τεκμηρίωσης στην οποία καθορίστηκαν οι Σταθμοί «υψηλού αρχαιολογικού κινδύνου» όπου αναμένεται αποκάλυψη αρχαιοτήτων.
- Μετατόπισε από τις αρχικές τους θέσεις Σταθμούς των οποίων η κατασκευή θα απαιτούσε μακροχρόνια αρχαιολογική ανασκαφή (πχ. ο Σταθμός ΠΛ. ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ μετατοπίστηκε σε θέση έξω από τα αρχαία τείχη της πόλης).
- Επιλέχθηκαν οι καλύτερες δυνατές μέθοδοι για την προστασία των αρχαιολογικών ευρημάτων αλλά και για την ελαχιστοποίηση του κόστους και του χρόνου των αρχαιολογικών ανασκαφών.

Η αρχαιολογική ανασκαφή προβλέπεται να καλύψει συνολική έκταση 19.200 τ.μ. και η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΑΕ σε συνεργασία με το Υπουργείο Πολιτισμού θα

αναδείξει τα σημαντικότερα αρχαιολογικά ευρήματα σε κεντρικούς Σταθμούς του δικτύου.

1.5 Δίκτυα οργανισμών κοινής ωφέλειας

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

1.6 Υπέδαφος

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

1.7 Μέθοδοι Κατασκευής

Επιλέχθηκαν μέθοδοι κατασκευής που ελαχιστοποιούν την ενόχληση των κατοίκων της πόλης και την παρεμπόδιση της οδικής κυκλοφορίας. Οι σταθμοί κατασκευάζονταν με διαφραγματικούς τοίχους και με τη μέθοδο cover-and-cut, ενώ ελαχιστοποιούνται συγκριτικά με την προηγούμενη μελέτη οι κατασκευές σηράγγων που πραγματοποιούνται με τη μέθοδο ανοικτού ορύγματος.

1.8 Πρόβλεψη επεκτάσεων συστήματος

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

1.9 Σύστημα θυρών επί των αποβαθρών

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

1.10 Επεκτάσεις

Η Αττικό Μετρό ΑΕ έχει συμπεριλάβει στο βασικό έργο του Μετρό Θεσσαλονίκης την αναγκαία υποδομή που απαιτείται προκειμένου να υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας επεκτάσεων Μετρό δίχως διακοπή της λειτουργίας του έργου. Ήδη σήμερα κατασκευάζεται η διακλάδωση της Γραμμής στο ύψος του Σταθμού Δημοκρατίας για την βορειοδυτική επέκταση του έργου.

Στην Α' Φάση των επεκτάσεων για το Μετρό Θεσσαλονίκης προβλέπεται η κατασκευή δύο επεκτάσεων:

- **Νοτιοανατολικά προς Καλαμαριά:** 4,8 χλμ με 5 νέους σταθμούς
- **Βορειοδυτικά προς Σταυρούπολη:** 5 χλμ με 5 νέους σταθμούς.

Για αυτές τις επεκτάσεις έχουν ληφθεί υπόψη:

- Κατασκευή των απαραίτητων προβλέψεων στα έργα Πολιτικού Μηχανικού και στα Ηλεκτρομηχανολογικά και Σιδηροδρομικά Συστήματα του βασικού έργου.
- Κατασκευή πρόσθετου αμαξοστασίου στην Καλαμαριά, για το οποίο γίνονται οι απαραίτητες ενέργειες για την έγκριση χωροθέτησής του.

Στις 6 Μαΐου 2009 δημοπρατήθηκε το έργο της πρώτης επέκτασης του Μετρό Θεσσαλονίκης προς την Καλαμαριά, προϋπολογισμού 425 εκατ. €. Πρόκειται για 5 σύγχρονους σταθμούς, 4,8 χλμ. υπόγειας γραμμής, ενώ έχει συμπεριληφθεί και η κατασκευή Σταθμού Μετεπιβίβασης και χώρου στάθμευσης 1.000 ΙΧ οχημάτων στον τερματικό σταθμό της Μίκρας.

Ο διαγωνισμός θα πραγματοποιηθεί σε δύο φάσεις και αναμένεται να ολοκληρωθεί τον Ιούνιο του 2010 (υπό την προϋπόθεση να μην υπάρξουν εμπλοκές με ενστάσεις, προσφυγές, κλπ) οπότε και θα ξεκινήσει η κατασκευή της επέκτασης.

Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ο στόχος του ΥΠΕΧΩΔΕ και της Αττικό Μετρό ο οποίος είναι η δημοπράτηση και κατασκευή των επεκτάσεων να πραγματοποιηθεί παράλληλα με την κατασκευή του βασικού έργου του Μετρό Θεσσαλονίκης, και οι πρώτες επεκτάσεις του δικτύου να ολοκληρωθούν σε μικρό χρονικό διάστημα από την λειτουργία της Βασικής Γραμμής του Μετρό.

Ταυτόχρονα, εξετάζεται και η β' φάση των επεκτάσεων του Μετρό της Θεσσαλονίκης, ώστε να ενταχθούν και άλλες περιοχές της πόλης (π.χ. προς Αεροδρόμιο και Κορδελιό) προκειμένου σταδιακά να δημιουργηθεί ένα πλήρες δίκτυο Μετρό στη Θεσσαλονίκη που θα εξυπηρετεί ολοένα και περισσότερους κατοίκους.

2.Γεωλογικές συνθήκες

Γεωλογία

Η γεωλογία του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης χαρακτηρίζεται από την παρουσία νεογενών και τεταρτογενών αποθέσεων. Το αλπικό υπόβαθρο της Θεσσαλονίκης είναι κατά κύριο λόγο γνεύσιος, Μεσοζωικός σχηματισμός της Σειράς του Βερτίσκου, που εμφανίζεται Βόρεια-Βορειοανατολικά της πόλης της Θεσσαλονίκης και επικαλύπτεται από τα ανωμειοκαινικά - πλειοκαινικά ιζήματα. Πάρα ταύτα ο γνεύσιος βυθίζεται αρκετά κάτω από το επίπεδο των σηράγγων πιθανότατα λόγω της εμφάνισης κανονικών ρηγμάτων κάθετα στο βορειότερο τμήμα της πόλης. Συνεπώς, ο κύριος σχηματισμός της περιοχής του έργου είναι μια σειρά πολύ σπιφρών έως σκληρών ερυθρών αργίλων ανωμειοκαινικής – πλειοκαινικής ηλικίας. Σχηματισμοί του Τεταρτογενούς που έχουν αποθεθεί πάνω σε αυτές τις αργίλους συνίστανται από αργιλώδεις – ιλυώδεις άμμους ή/και χάλικες. Ωστόσο, λόγω της μακράς ιστορίας της πόλης, ένα στρώμα αρχαιολογικών ευρημάτων σημαντικού πάχους έχει κατατεθεί πάνω από αυτούς τους σχηματισμούς, το οποίο συναντάται κυρίως στο κέντρο της πόλης.

Τα υπόγεια ύδατα στη Θεσσαλονίκη προέρχονται κυρίως από την υδρολογική λεκάνη, που καθορίζεται από τις βουνοκορφές των γύρω λόφων που αποτελούν τα Β-ΒΑ όρια για τη λεκάνη αποστράγγισης. Η γενική υδρολογική συμπεριφορά των Νεογενών και Τεταρτογενών αποθέσεων, τα οποία βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή του έργου, καθορίζεται από τη φύση, τη θέση και το πάχος των διαφόρων λιθολογικών τύπων από τους οποίους αποτελούνται.

Από υδρογεωλογική άποψη, η σχεδιασμένη υπόγεια σήραγγα κατασκευάζεται κάτω από το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα.

Αλπικό υπόβαθρο (Σειρά Βερτίσκου)

Γνεύσιοι (Gn)

Απαντώνται γνεύσιοι διμαρμαρυγιακοί, γκριζοπράσινοι έως καστανοπράσινοι, κερματισμένοι έως κατακερματισμένοι οι οποίοι χαρακτηρίζονται από μέση αντοχή.

Οι εν λόγω σχηματισμοί σε πρωτογενή (υγιή) κατάσταση, είναι πρακτικώς αδιαπέρατοι. Παρά ταύτα, η έντονη τεκτονική καταπόνηση δύναται να προκαλέσει την κατά τόπους μικρού βαθμού δευτερογενή περατότητα τους. Επομένως όπου αυτοί ευρίσκονται στην ως άνω κατάσταση χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή διαπερατότητα.

Μεταλλικά ιζήματα

A. Νεογενές (Πλειόκαινο-Μειόκαινο)

Σειρά Ερυθρών Αργίλων (RC)

Η σειρά σχηματισμών αποτελείται από καστανέρυθρες, ερυθρές και τοπικά πολύχρωμες, πολύ στιφρές έως σκληρές αργίλους με άμμο (κατά τόπους με ασβεστιτικά συγκρίματα και οξειδία Mn), και τοπικά με χαλίκια ή ψηφίδες, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητα, με σποραδικές ενστρώσεις, πυκνών έως πολύ πυκνών αργιλωδών άμμων με χαλίκια και ψηφίδες, αμμωδών ιλύων και πυκνών έως πολύ πυκνών αμμοαργιλωδών χαλίκων. Τοπικά έχει συντελεστεί διαγένεση των σχηματισμών με την επακόλουθη εμφάνιση πολύ ασθενών έως ασθενών αργιλόλιθων, ιλυόλιθων, ψηφιδοκροκαλοπαγών και λατυποπαγών. Ομοίως, αυτοί διατρέχονται από ρωγμές, ρηγματώσεις και ενσωματώνουν τεκτονικές μικροδομές όπως επιφάνειες με γραμμές ολίσθησης. Το πάχος της Σειράς Ερυθρών Αργίλων στην περιοχή του έργου υπερβαίνει τα 48m.

Οι σχηματισμοί της σειράς Ερυθρών Αργίλων χαρακτηρίζονται από χαμηλή έως πολύ χαμηλή υδροπερατότητα. Οι αργιλικοί σχηματισμοί οι οποίοι συχνά εμφανίζονται με παρουσία άμμου, χαλικιών και σποραδικές κροκάλες θεωρούνται ως εν γένει χαμηλής υδροπερατότητας. Ομοίως και οι ενστρώσεις αργιλωδών χαλίκων, ενώ οι όποιοι βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί της σειράς (αργιλόλιθοι, ιλυόλιθοι) λογίζονται ως πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί.

Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά (Sd-M)

Η ψαμμιτομαργαϊκή σειρά συντίθεται από σχηματισμούς συνήθως μπέζ, καστανοκίτρινες και υπόλευκες στιφρές έως σκληρές, ασβεστιτικές αμμώδεις αργίλους και ιλύες, (τοπικά καστανέρυθρες αργίλους) μέσης έως υψηλής πλαστικότητα καθώς και ανοιχτές καστανές, πυκνές έως πολύ πυκνές, ασβεστιτικές ιλυώδεις ή ιλυώδεις άμμους τοπικά με χάλικες. Τοπικά, τα παραπάνω υλικά εμφανίζονται λόγω διαγένεσης ως πολύ ασθενείς έως ασθενείς μάργες, αργιλομάργες, ιλυόλιθοι και ψαμμίτες, ενίοτε δε, σε εναλλαγές με μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Κατά θέσεις εντοπίζονται οργανικά, απολιθώματα, ασβεστιτικά συγκρίματα ενώ εμφανίζεται λεπτοστρωματώδης υφή σε Άργιλους και Ιλύες. Τεκτονικές μικροδομές όπως επιφάνειες με γραμμές ολίσθησης καθώς και επιφάνειες διάτμησης παρουσιάζονται τοπικά. Στην περιοχή του έργου το πάχος της Ψαμμιτομαργαϊκής Σειράς υπερβαίνει τα 37m.

Οι σχηματισμοί οι οποίοι συνθέτουν την Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά θεωρούνται ως χαμηλής έως πολύ χαμηλής υδροπερατότητας. Οι αμιγώς αργιλικοί καθώς και οι αργιλομαργαϊκοί σχηματισμοί συμπεριφέρονται ως αδιαπέρατοι σχηματισμοί, ενώ ασθενής υδροφορία δύναται να αναπτυχθεί στις αμμώδεις και ιλυοαμμώδεις στρώσεις καθιστώντας τους δεύτερους σχηματισμούς χαμηλής υδροπερατότητας. Λιθολογικοί τύποι οι οποίοι προκύπτουν από συνδυασμό των παραπάνω-με συμμετοχή και πλέον αδρομερών υλικών εμφανίζουν, κατά το αναμενόμενο, ενδιάμεση συμπεριφορά αναφορικά με την περατότητα τους. Οι βραχώδεις και

ημιβραχώδεις σχηματισμοί της σειράς όπως οι αργιλόλιθοι και οι ιλυόλιθοι εμφανίζουν χαμηλή έως πρακτικά καθόλου υδροπερατότητα, ενώ οι αμμομάργες οι ψαμμίτες, τα κροκαλολατυποπαγή και οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι χαμηλή έως πολύ χαμηλή. Η τεκτονική καταπόνηση η οποία έχει παρατηρηθεί έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία δευτερογενούς ενεργού πορώδους στους τελευταίους σχηματισμούς, το οποίο πιθανά μπορεί να δικινήσει κάποιες μικρές ποσότητες νερού.

B. Τεταρτογενές (Ολόκαινο-Πλειστόκαινο)

Ερυθρές Άργιλοι (Q2)

Το στρώμα συνίσταται από καστανές έως καστανέρυθρες, σταθερές έως στιφρές αμμώδεις αργίλους οι οποίες κατά τόπους εμφανίζονται με ασβεστιτικά συγκρίματα, χαμηλής πλαστικότητας, με ενστρώσεις χαλαρών έως πυκνών, αργιλωδών ή ιλυωδών άμμων τοπικά με ψηφίδες και χάλικες και τοπικές εμφανίσεις αμμωδών ιλύων. Το πάχος των ερυθρών αργίλων στην περιοχή έρευνας υπερβαίνει τα 14m.

Οι σχηματισμοί χαρακτηρίζονται ως χαμηλής υδροπερατότητας. Η υδρογεωλογική συμπεριφορά τους καθορίζεται από το ποσοστό των συμμετεχόντων λεπτόκοκκων υλικών. Στις θέσεις όπου παρατηρείται αυξημένη συμμετοχή αργιλικού υλικού, αναμενόμενα η υδροπερατότητα κυμαίνεται σε ακόμη χαμηλότερα επίπεδα.

Σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις και υλικά χειμάρων αποθέσεων (Q1)

Καστανές έως καστανοπράσινες, μαλακές έως σταθερές και τοπικά στιφρές αμμώδεις άργιλοι, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας και χαλαρές έως μέτρια πυκνές ιλυώδεις άμμοι με χάλικες, κατά τόπους ενστρώσεις μαλακής έως σταθερής αμμώδους ιλύος, καθώς και χαλαροί έως μέτρια πυκνοί αργιλώδεις ή ιλυώδεις χάλικες, με κυμαινόμενο ποσοστό κροκάλων. Το πάχος των υλικών στην περιοχή έρευνας υπερβαίνει τα 38m.

Οι σχηματισμοί χαρακτηρίζονται ως χαμηλής υδροπερατότητας. Η υδρογεωλογική συμπεριφορά τους καθορίζεται από το ποσοστό συμμετοχής λεπτόκοκκων υλικών στη δομή τους. Στις θέσεις όπου απαντάται το αργιλικό υλικό σε αυξημένη αναλογία, η υδροπερατότητα μειώνεται σημαντικά. Τα αδρόκοκα υλικά (αμμοχάλικα με κροκάλες), λόγω του υψηλού ποσοστού συμμετοχής λεπτόκοκκων στη δομή τους, χαρακτηρίζονται ως, εν γένει, σχηματισμοί χαμηλής υδροπερατότητας.

Τεχνητές επιχωματώσεις-Αρχαιολογικό στρώμα (F)

Πρόσφατα υλικά από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως πλίνθοι, τμήματα τοίχων, αγγεία, οστά, υλικά πυρίκαυστης ζώνης, ξύλα κ.λ.π, μέσα σε ιλυώδεις – χαλικώδεις-αργιλώδεις άμμους και προϊόντα αποσάθρωσης. Τοπικά στις αποθέσεις αυτές εμφανίζονται κενά. Το πάχος των Τεχνητών επιχωματώσεων-Αρχαιολογικού στρώματος στην περιοχή του έργου φθάνει τα 12.5m.

Πρόκειται για χαλαρά και ανομοιογενή υλικά χαμηλής συμπύκνωσης, με ύπαρξη κενών, που χαρακτηρίζονται από υψηλή έως μέση υδροπερατότητα.

Γεωλογικές, υδρογεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες κατά μήκος των σηράγγων TBM

Βάσει της λιθολογίας γεωλογικών σχηματισμών και την θέση τους αναφορικά με την σήραγγα TBM, αυτή διακρίνεται σε επτά (7) επιμέρους τμήματα όπως αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 1, παρακάτω.

Πίνακας 1 Τμήματα της σήραγγας του Μητροπολιτικού σιδηροδρόμου της Θεσσαλονίκης βάσει της λιθολογίας των σχηματισμών που συναντά.

Α/Α τμήματος	Υποτμήμα σήραγγας		Σχηματισμός	
	Από	Έως	Σήραγγα	Υπερκείμενο
I	Φρέαρ TBM	Διακλάδωση Δημοκρατίας	Τεταρτογενείς Αποθέσεις	Τεταρτογενείς Αποθέσεις
II	Διακλάδωση Δημοκρατίας	Σταθμός Αγίας Σοφίας	Σειρά Ερυθρών Αργίλων	Τεταρτογενείς Αποθέσεις
III	Σταθμός Αγίας Σοφίας	Σταθμός Πανεπιστήμιο	Σειρά Ερυθρών Αργίλων	Σειρά Ερυθρών Αργίλων
IV	Σταθμός Πανεπιστήμιο	Σταθμός Παπάφη	Τεταρτογενείς Αποθέσεις, Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά, Σειρά Ερυθρών Αργίλων	Τεταρτογενείς Αποθέσεις, Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά, Σειρά Ερυθρών Αργίλων
V	Σταθμός Παπάφη	Διασταύρωση Αναλήψεως	Τεταρτογενείς Αποθέσεις, Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά	Τεταρτογενείς Αποθέσεις, Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά
VI	Διασταύρωση Αναλήψεως	Σταθμός Βούλγαρη	Τεταρτογενείς Αποθέσεις	Τεταρτογενείς Αποθέσεις
VII	Σταθμός Βούλγαρη	Διασταύρωση Νέας Ελβετίας	Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά	Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά

Τμήμα III, Σταθμός Αγίας Σοφίας-Σταθμός Πανεπιστήμιο (Χ.Θ. ~1+908 - 3+630)

Γεωλογικές-Γεωτεχνικές-Υδρογεωλογικές συνθήκες

Στο τμήμα της χάραξης το οποίο οριοθετείται από τον σταθμό Αγίας Σοφίας έως και πέραν του σταθμού Πανεπιστημίου (Χ.Θ. 1+908 Χ.Θ. 3+630) Η γεωλογία του υπό μελέτης τμήματος, αποτελείται από δύο λιθολογικές ομάδες (μονάδες):

- ✓ Τεχνητές αποθέσεις / Αρχαιολογικό στρώμα,
- ✓ Νεογενής σειρά Ερυθρών αργίλων – Ενότητα A2 (Μονάδες A2b και A2c).

με σημαντικότερη σε εμφάνιση την Ενότητα A2c. Η Ενότητα A2 έχει χωριστεί στα A2a ($q_u < 300$ kPa), A2b ($300 < q_u < 600$ kPa) και A2c ($q_u > 600$ kPa) με βάση την αντοχή των ιζημάτων που τα αποτελούν.

Οι τεχνητές αποθέσεις είναι υπερκείμενες της σειρά Ερυθρών αργίλων (Μονάδες A2b και A2c).

Πρόκειται περί σχεδόν κατ' αποκλειστικότητα ημιβραχώδες τμήμα, με ακόμη υψηλότερα μηχανικά χαρακτηριστικά σε σύγκριση με τα προηγούμενα, καθώς σχεδόν στο σύνολό του εντοπίζονται σκληρές άργιλοι με άμμο και με σποραδικές ψηφίδες, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας έως ασθενείς αργιλόλιθοι-ιλυόλιθοι. Τοπικά απαντώνται ημιβραχώδεις ενστρώσεις καλά συγκολλημένων έως μέτρια ισχυρών ψηφιδολατυποπαγών και πυκνών έως πολύ πυκνών, αργιλωδών άμμων με χάλικες και αργιλωδών χαλίκων με άμμο.

Οι εδαφικοί σχηματισμοί της περιοχής είναι παρομοίως χαμηλής διαπερατότητας, με μετρούμενες διαπερατότητες μικρότερες από 10^{-7} m/s. Ωστόσο, εμφανίζονται κατά τόπους τμήματα με μεγαλύτερη διαπερατότητα με τιμές που κυμαίνονται από 10^{-6} έως 10^{-5} m/s και από 10^{-5} έως 10^{-4} m/s.

Η στάθμη του υπογείου νερού που μετριέται με πιεζόμετρα σταθερού σωλήνα και ποικίλει μεταξύ 0.6m (πολύ κοντά στην επιφάνεια), 3.5m και 9m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες.

Τμήμα Σταθμός Αγίας Σοφίας - Σταθμός Σιντριβάνι

Τεχνητές αποθέσεις, μέσου πάχους 7,40m, αποτελείται από μαλακή έως σφιγρή, αμμώδη άργιλο (CL) χαμηλής πλαστικότητας με χάλικια, χαλαρή, αργιλώδη / ιλυώδη άμμο (SC-SM) με χάλικια και από χαλαρά, αργιλώδη / ιλυώδη χάλικια (GM) με άμμο. Επίσης, υπάρχουν τμήματα από τούβλα ή άλλα δομικά υλικά. Αναφορικά με την αντοχή των σχηματισμών της Ενότητας, αυτή μετρήθηκε $q_u = 160$ kPa ένδειξη εμφάνισης κυρίως σφιγρής αργίλου στη Ενότητα των Τεχνητών αποθέσεων.

Τα υποκείμενα Στρώματα A2b και A2c είναι:

- ✓ A2b είναι υπερστερεοποιημένο και εκτείνεται τουλάχιστον έως τα 41m από την επιφάνεια του εδάφους στη δεξιά πλευρά του σταθμού, ενώ σταματάει στα

38.0m στην αριστερή πλευρά, υπερκαλύπτοντας το αλπικό υπόβαθρο της Θεσσαλονίκης. Η Ενότητα A2b αποτελείται από σιφρή έως πολύ σιφρή και κατά τόπους σταθερή, αμμώδη άργιλο (CL-CI) χαμηλής έως ενδιάμεσης πλαστικότητας, έως ασθενείς αργιλόλιθους – υλιώδης λίθους, με ασυνεχή τμήματα από πυκνή έως πολύ πυκνή, αργιλώδη άμμο (SC) με χαλίκια. Η άργιλος παρουσιάζει οξειδώσεις του μαγγανίου και ασβεστολιθικές συγκεντρώσεις που αυξάνουν σημαντικά το βάθος, αυξάνοντας επίσης την αντοχή των σχηματισμών που σε γενικές γραμμές είναι πολύ κοντά στα επίπεδα αντοχής των ημι-λίθων (67%~400kPa).

✓ A2c αποτελείται από σιφρή έως σταθερή, αμμώδη άργιλο (CL-CI) χαμηλής έως ενδιάμεσης πλαστικότητας, με ασβεστολιθικές συγκεντρώσεις και οξείδωση του μαγγανίου, έως ασθενείς αργιλόλιθους / ιλυώδεις λίθους, με κατά τόπους ενδιάμεσα τμήματα από πυκνή έως πολύ πυκνή, αργιλώδη άμμο (SC) με χαλίκια και πυκνά αργιλώδη χαλίκια (GC) με άμμο. Οι δοκιμές UCS που πραγματοποιήθηκαν είχαν αποτέλεσμα μια μέση τιμή αντοχής της τάξης των 860 kPa, ήτοι η αμμώδης άργιλος του στρώματος A2c είναι σταθερή, υπερστερεοποιημένη με υψηλό βαθμό διαγένεσης.

Το επίπεδο υδροφόρου ορίζοντα ποικίλει από 3.80 έως 8.80 μέτρα από την κορυφή της επιφάνειας, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες.

Στον παρακάτω πίνακα, Πίνακας 2, συνοψίζονται οι παράμετροι σχεδιασμού για το τμήμα υπό μελέτη, σύμφωνα με τη στατιστική εξέταση του συνολικού σετ δεδομένων πεδίου και εργαστηριακών δοκιμών.

Πίνακας 2 Παράμετροι σχεδιασμού του τμήματος Σταθμός Αγία Σοφία – Σταθμός Σιντριβάνι.

Παράμετροι	Λιθολογία	
	Στρώμα A2b	Στρώμα A2c
γ (kN/m ³)	21.5	21.5
c' (kPa)	110	150
ϕ' (°)	27	27
E (MPa)	180	375
ν	0.30	0.25
K (m/sec)	$1.0 \cdot 10^{-7} \div 3.3 \cdot 10^{-8}$	$5.0 \cdot 10^{-7}$

Όπου:

γ : πυκνότητα εν ξηρώ

c' : συνοχή

ϕ' : γωνία εσωτερικής τριβής

E: μέτρο ελαστικότητας

ν : λόγος Poisson

K: συντελεστής υδρο-περατότητας

qm: μόνο-αξονική αντοχή σε θλίψη.

Τμήμα Σταθμός Σιντριβάνι – Διασταύρωση Σιντριβάνι

Τεχνητές αποθέσεις, μέσου πάχους: 3.70m, μαλακή έως στιφρή, καφέ κόκκινη, αμμώδης άργιλος (CL) με χαμηλή πλαστικότητα, σποραδικά με χάλικες, όστρακα, σημάδια πυρκαγιάς, σκυρόδεμα, κεραμικά και ρίζες.

Ενότητα A2

- ✓ A2a, μέσο βάθος 8.00m, μέση πυκνότητα 4.30m. Η ενότητα αυτή βρίσκεται κάτω από την ενότητα των τεχνητών αποθέσεων, αποτελείται από στιφρή, αμμώδης άργιλος (CI) μέσης πλαστικότητας και από μέσης έως κανονικής πυκνότητας, αργιλώδης άμμο (SC) σποραδικά με χάλικες. Η θλιπτική αντοχή των σχηματισμών της ενότητας ποικίλει από 61 έως 154 kPa, με μέση τιμή $q_u = 100$ kPa.
- ✓ A2b, μέσο βάθος 18,50m – μέσο πάχος 10,50m. Στιφρή έως πολύ στιφρή, άργιλος (CL-CI) με άμμο, ασβεστώδεις εναποθέσεις και οξειδώσεις μαγγανίου, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας με κατά τόπους τμήματα μεγάλης πυκνότητας από αργιλώδη άμμο (SC) με χάλικες και από πολύ πυκνούς αργιλώδεις χάλικες (GC) με άμμο. Κατά τόπους, εμφανίζονται χάλικες και τσιμεντοποιημένα κροκαλοπαγή. Η θλιπτική αντοχή των σχηματισμών της ενότητας ποικίλει από 177 έως 392 kPa, με μέση τιμή $q_u = 310$ kPa. Τέλος, Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αναγνωρίστηκε ένα κενό στην Ενότητα (γεώτρηση TFTP22) που επεκτείνεται από -3.90 έως -4.60m από την επιφάνεια του εδάφους.
- ✓ A2c, διαμέσου των ιζημάτων της οποίας γίνεται κατασκευή της σήραγγας, αποτελείται από πολύ στιφρή έως σκληρή, (CL-CI) με άμμο, οξειδώσεις του μαγγανίου και ασβεστολιθικές εναποθέσεις, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας και από πολύ μαλακούς, αργιλόλιθους / ιλυόλιθους, που εκτείνονται τουλάχιστον μέχρι το βάθος των 33.20m από την επιφάνεια του εδάφους. Οι σχηματισμοί της ενότητας έχουν υψηλές τιμές θλιπτικής αντοχής η οποία κυμαίνεται από 386 έως 780 kPa, παρουσιάζοντας μία μέση τιμή ίση με $q_u = 560$ kPa, που σημαίνει ότι η άργιλος της Ενότητας είναι πολύ στιφρή καθώς και ότι στην ενότητα υπάρχει παρουσία πολύ μαλακών έως μαλακών ημιλίθων.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η σήραγγα σε αυτό το σημείο της χάραξης (Σταθμός Σιντριβάνι - Διασταύρωση Σιντριβάνι) θα κατασκευαστεί σε εναλλαγές από πολύ στιφρής έως σκληρής αργίλου και πολύ μαλακούς αργιλόλιθους / ιλυόλιθους.

Τμήμα Διασταύρωση Σιντριβάνι – Σταθμός Πανεπιστήμιο

Τα ιζήματα που αναμένεται να συναντηθούν κατά μήκος του τμήματος της Σήραγγας ανήκουν στη Νεογενή Γεωλογική Ενότητα Ερυθρών Αργίλων (Ενότητα A2). Ειδικότερα, από τις Γεωτεχνικές Ενότητες A2a, A2b και A2c στις οποίες ανήκουν οι σχηματισμοί Ερυθρών Αργίλων, με βάση τις διαφορετικές τιμές της θλιπτικής αντοχής που παρουσιάζουν, η σήραγγα θα κατασκευαστεί αποκλειστικά στους σχηματισμούς της Ενότητας A2c.

Τεχνητές αποθέσεις, μέσου πάχους συνολικά 4,20m. Ήτοι, Χ.Θ. 3+001 – Χ.Θ. 3+100, μέσο πάχος: 1.50m γκρι ιλύς / άργιλος με άμμο, σκυρόδεμα και κεραμικά, και Χ.Θ. 3+100 – Χ.Θ. 3+345, μέσο πάχος: 2,70m χαλίκια και σκύρα.

Ενότητα A2

- ✓ A2a, συναντάται μόνο στο τμήμα της Σήραγγας μεταξύ Χ.Θ. 3+001 και Χ.Θ. 3+100 και επεκτείνεται σε μέσο βάθος περίπου 9.50m από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ το μέσο πάχος είναι περίπου 8m. Βρίσκεται κάτω από την Ενότητα των Τεχνητών Αποθέσεων αποτελείται από Στιφρή έως πολύ στιφρή άργιλο (CL-CI) με άμμο, χαμηλής έως μεσης πλαστικότητας με τοπικά τμήματα από πυκνούς αργιλώδεις χάλικες (GC) με άμμο. Οι σχηματισμοί της ενότητας έχουν τιμές θλιπτικής αντοχής η οποία κυμαίνεται από 157 έως 436 kPa, παρουσιάζοντας μία μέση τιμή ίση με $q_u = 295$ kPa.
- ✓ A2b, συναντάται μόνο στο τμήμα της σήραγγας μεταξύ Χ.Θ. 3+001 και Χ.Θ. 3+100, βρίσκεται κάτω από το στρώμα A2a και επεκτείνεται σε μέσο βάθος περίπου 26.50m από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ το μέσο πάχος είναι περίπου 17m. Αποτελείται από πολύ στιφρή, άργιλο (CL-CI) με άμμο, ασβεστώδεις εναποθέσεις και οξειδωση μαγγανίου, χαμηλής έως μεσης πλαστικότητας με κατά τόπους τμήματα μεγάλης πυκνότητας από αργιλώδη άμμο (SC) με χάλικες και από πολύ πυκνούς αργιλώδεις χάλικες (GC) με άμμο. Οι σχηματισμοί της ενότητας έχουν τιμές θλιπτικής αντοχής η οποία κυμαίνεται από 236 έως 487 kPa, παρουσιάζοντας μία μέση τιμή ίση με $q_u = 360$ kPa,
- ✓ A2c, μέσω των ιζημάτων στα οποία κατασκευάζεται η σήραγγα, αποτελείται από σκληρή έως κατά τόπους πολύ στιφρή άργιλο (CL-CI) με άμμο, έως από αμμώδη άργιλο με οξειδώσεις του μαγγανίου και ασβεστολιθικές εναποθέσεις, χαμηλής έως μεσης πλαστικότητας, και από πολύ μαλακούς, αργιλόλιθους / ιλυόλιθους με κατά τόπους ενδιάμεσα τμήματα από πυκνή έως πολύ πυκνή, αργιλώδη άμμο (SC) με χάλικες, από αργιλώδεις χάλικες (GC) με άμμο και από τσιμεντοποιημένα κροκαλοπαγή, που εκτείνεται τουλάχιστον σε βάθος 38.80 από την επιφάνεια του εδάφους. Οι σχηματισμοί της ενότητας έχουν υψηλές τιμές θλιπτικής αντοχής η οποία κυμαίνεται από 288 έως 1570 kPa, παρουσιάζοντας μία μέση τιμή ίση με $q_u = 715$ kPa, που σημαίνει ότι η άργιλος της Ενότητας είναι πολύ στιφρή και ότι στην ενότητα υπάρχει παρουσία πολύ μαλακών έως μαλακών ημιλίθων.

Η ενότητα A2c συναντάται σε όλο το μήκος του τμήματος της Σήραγγας μεταξύ της Διασταύρωσης Σιντριβάνι και του Σταθμού Πανεπιστήμιο (Χ.Θ. 3+001 έως Χ.Θ. 3+345). Στο τμήμα της σήραγγας μεταξύ Χ.Θ. 3+001 και Χ.Θ. 3+100, το στρώμα A2c βρίσκεται κάτω από το στρώμα A2b και επεκτείνεται τουλάχιστον σε βάθος 37m από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ στο τμήμα της σήραγγας μεταξύ Χ.Θ. 3+100 και Χ.Θ. 3+345, συναντάται κάτω από την Ενότητα των Τεχνητών αποθέσεων (δεν συναντώνται τα στρώματα A2a και A2b) και επεκτείνεται τουλάχιστον σε βάθος 49.00m από την επιφάνεια του εδάφους.

Το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα ποικίλει από 0.60 (πολύ κοντά στην επιφάνεια εξαιτίας της παρουσίας ενός αρτεσιανού υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή) έως 3.50 μέτρα από την κορυφή της επιφάνειας, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες.

Στον παρακάτω πίνακα, Πίνακας 3, συνοψίζονται οι παράμετροι σχεδιασμού για το τμήμα υπό μελέτη, σύμφωνα με τη στατιστική διερεύνηση του συνολικού σετ δεδομένων πεδίου και εργαστηριακών δοκιμών. Θα πρέπει να εφαρμοστούν για τους βασικούς τύπους εδάφους, που αντιπροσωπεύουν τα διαφορετικά συναντούμενα γεωυλικά.

Πίνακας 3 Παράμετροι σχεδιασμού του τμήματος Σταθμός Σιντριβάνι – Σταθμός Πανεπιστήμιο

Παράμετροι	Λιθολογία	
	Στρώμα A2b	Στρώμα A2c
γ (N/m ³)	21.5	21
c' (kPa)	75	150
ϕ' (°)	26	28
E (MPa)	200	375
ν	0.30	0.25
K (m/sec)	1.0*10 ⁻⁴	1.0*10 ⁻⁴

Όπου:

γ : πυκνότητα εν ξηρό

c' : συνοχή

ϕ' : γωνία εσωτερικής τριβής

E: μέτρο ελαστικότητας

ν : λόγος Poisson

K: συντελεστής υδρο-περατότητας

q_u : μόνο-αξονική αντοχή σε θλίψη.

Τέλος, αναφέρεται ότι τα Νεογενή ιζήματα της σειράς Ερυθρών Αργίλων, που θα συναντώνται κατά μήκος του συνολικού τμήματος της σήραγγας είναι υπερ-στερεοποιημένα, έως κατά τόπους πολύ έντονα υπερ-στερεοποιημένα στην περιοχή των ημιλίθων, με τιμές OCR γύρω στο 2.00 ή και μεγαλύτερες.

3.Μέθοδος διάνοιξης

3.1 Μηχανή με Εξισορρόπηση της πίεσης του Εδάφους (EPB)

Η ανάπτυξη των μηχανών ολομέτωπης κοπής με ασπίδα εξισορρόπησης της πίεσης του εδάφους (EPB), ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 70 στην Ιαπωνία.

Η πρώτη μηχανή EPB, χρησιμοποιήθηκε στο Τόκιο το 1974 με διάμετρο εκσκαφής 3,72m και για μήκος σήραγγας 1900m.

Η αρχή λειτουργίας της μηχανής με ασπίδα EPB σε αποσαθρωμένο βράχο και χαλαρά εδάφη είναι η ελαχιστοποίηση των επιφανειακών καθιζήσεων μέσω του ελέγχου της φυσικής εδαφικής πίεσης (υποστήριξη εξισορρόπησης της εδαφικής πίεσης) στο μέτωπο της σήραγγας.

Η πίεση εξισορρόπησης του εδάφους πρέπει να είναι ισοδύναμη ή ελάχιστα υψηλότερη από την επικρατούσα πίεση του περιβάλλοντος εδάφους, για να αντιστέκεται στις μετακινήσεις και στη δυναμική εισροή νερού.

Η πίεση του εδάφους ποικίλει από 1 έως 4 bars και εξαρτάται από το υπερκείμενο έδαφος.

Η εξισορρόπηση του μετώπου καθώς το EPB προωθείται επιτυγχάνεται κρατώντας τον θάλαμο της κοπτικής κεφαλής, μπροστά από το κλειστό διάφραγμα και τον ατέρμων κοχλία μεταφοράς προϊόντων εκσκαφής, γεμάτο από εκσκαμμένο υλικό.

Το εξορυγμένο υλικό αποσπάται με ελεγχόμενο τρόπο μέσω του μεταφορικού ατέρμονα κοχλία, μαζί με τους ρυθμιστικούς παράγοντες, από το θάλαμο της κοπτικής κεφαλής.

Στις μηχανές με ασπίδα EPB το εκσκαμμένο υλικό, αποτελείται από 70% στερεά και 30% υγρά, μεταφέρεται διαμέσου της σήραγγας και για αυτό το λόγο δεν είναι αναγκαίες οι εγκαταστάσεις διαχωρισμού, στην επιφάνεια του εργοταξίου όπως αυτό απαιτείται στα μηχανήματα Πολφού καθώς και δεν υπάρχουν απαιτήσεις για άντληση, για την βελτίωση του υπό εκσκαφή υλικού με ενέσεις λάσπης ή άλλους ρυθμιστικούς πρόσθετους παράγοντες.

Η κεφαλή κοπής είναι εξοπλισμένη, με σταθερούς κοπτικούς δίσκους, σιαγώνες σύνθλιψης και ρυθμιζόμενους έκκεντρους μονταρισμένους κοπτικούς δίσκους, οι οποίοι επιτρέπουν υπέρ εκσκαφή 40 mm περιμετρικά της κεφαλής κοπής.

3.2 Εδαφικές συνθήκες όπου εφαρμόζεται το EPB

Τα Αργιλώδη – Ιλυώδη και τα Ιλυώδη – Αμμώδη εδάφη με πολφώδη έως αραιή σύσταση είναι απόλυτα κατάλληλα για χρήση, μηχανής EPB. Εξαρτώμενα από τη σύσταση του εδάφους, είτε δεν χρειάζεται καθόλου ανάμιξη νερού, είτε απαιτείται ελάχιστη ποσότητα.

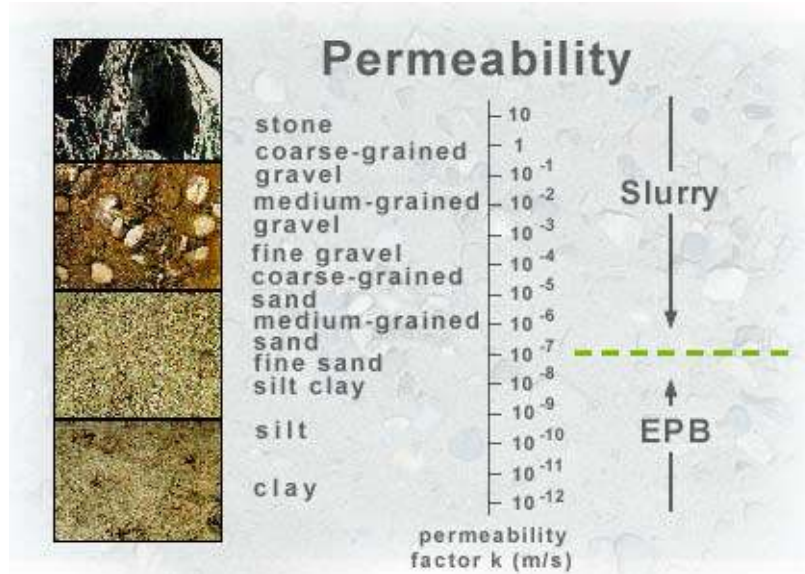
Οι καλύτερες εδαφικές συνθήκες συναντιόνται όταν το υπό εκσκαφή έδαφος έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Καλή πλαστική παραμορφωσιμότητα
- Πολφώδη έως αραιή σύσταση
- Μικρή εσωτερική τριβή
- Μικρή διαπερατότητα.

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

Τα κριτήρια για την επιλογή μιας μηχανής EPB πρέπει να είναι:

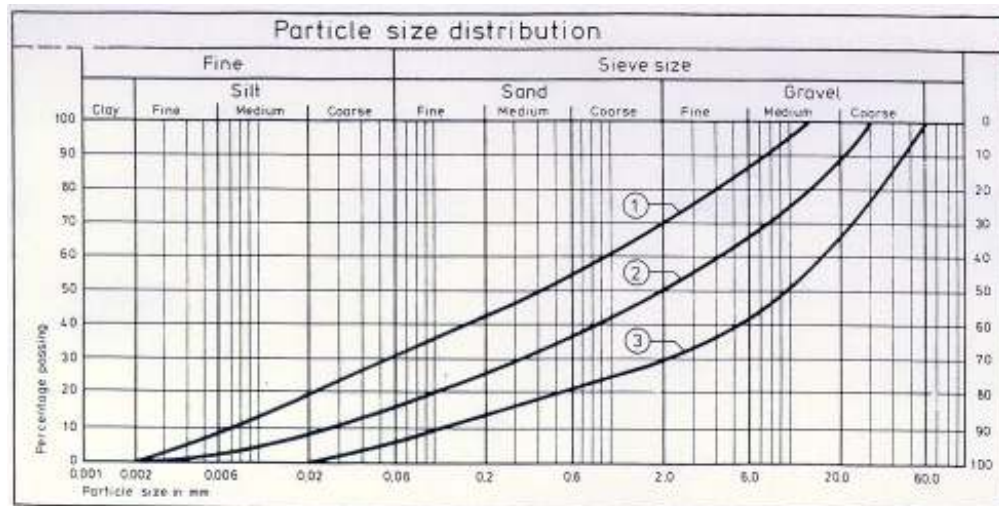
- Η κοκκομετρική καμπύλη (μέγεθος κόκκου) του εδάφους .
- Η διαπερατότητα του εδάφους ,(συντελεστής διαπερατότητας $k(m/s) < 10^{-5}$).
- Τα όρια σύστασης {(περιεκτικότητα σε νερού (W), όριο υγρών (LL), δείκτης πλαστικότητας (PI), PL, I_c και άλλα) }, αραιά έως μαλακά εδάφη.
- Η ορυκτολογία του βράχου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



Εικόνα 1 Διαπερατότητα στην εφαρμογή των μηχανημάτων εκσκαφής Πολφού (slurry) και EPB

Κατά την λειτουργία του EPB ,μπορούν να εφαρμοσθούν τεχνικές με χρήση η όχι αφρού έκχυσης ή μπεντονίτη για τον έλεγχο του υλικού, (Εικόνα 2).

Πρόσθετοι ρυθμιστικοί παράγοντες απαιτούνται για να μειώσουν τη διαπερατότητα του εδάφους και όταν υπάρχουν σχετικά μικρά επίπεδα πίεσης του υπογείου νερού.



Εικόνα 2 Όρια εφαρμογής πρόσθετων ρυθμιστικών παραγόντων στο EPB

Βασικά, εάν το υλικό δεν είναι συνεκτικό, το ποσοστό του υλικού λίπανσης που απαιτείται είναι μικρότερο, επειδή το υλικό δεν έχει την τάση να κολλά στην κεφαλή κοπής και στον ατέρμονα κοχλία (όπως οι Άμμοι).

Τα κολλώδη, ιξώδη υλικά, όπως η άργιλος, έχουν την τάση να προσκολλούνται στον ατέρμονα κοχλία και αντιστέκονται στην απόθεσή τους στην πρώτη μεταφορική ταινία.

Διαπερατότητα της τάξεως των 10^{-5} m/s, είναι ένα εμπειρικό όριο λειτουργίας του EPB, και μπορεί να ελεγχθεί με έκχυση μπεντονίτη ή άλλων πρόσθετων παραγόντων.

3.3 Τεχνική περιγραφή EPB

3.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Το EPB είναι κατασκευασμένο να λειτουργεί σε ετερογενή εδάφη αποφεύγοντας τη δημιουργία υπέρ εκσκαφών (cavern) και επιφανειακών καθιζήσεων κατά τη διάρκεια της προώθησης μέσα από κατοικημένες περιοχές.

Το EPB έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί από την Γερμανική εταιρεία Herrenknecht A.G.

Για την διαδικασία εκκίνησης του EPB, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ένα χαλύβδινο πλαίσιο εκκίνησης, το οποίο τοποθετήθηκε πίσω από την ασπίδα και στερεώθηκε στην κάτω πλάκα σκυροδέματος του φρεατίου εκκίνησης, έτσι ώστε το TBM να μπορεί να στηρίξει τα έμβολα προώθησης του στο πλαίσιο. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η περιστροφή της ασπίδας και υποδοχή των δυνάμεων κατά την ώθηση του μηχανήματος. Επιπλέον το χαλύβδινο πλαίσιο χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση των προκατασκευασμένων στοιχείων της σήραγγας.

Το κύριο σύστημα προώθησης του EPB TBM έχει σχεδιαστεί ώστε να διαθέτει πάντα την προωθητική δύναμη που απαιτείται για την εκσκαφή υπό φυσιολογικές συνθήκες και την εφεδρεία προωθητικής δύναμης που χρησιμοποιείται σε περίπτωση εξαιρετικά απρόσμενων και μη προβλέψιμων περιστατικών όπου και απαιτείται υψηλότερη προωθητική δύναμη σε σχέση με το όριο εκσκαφής. Συνεπώς, έχει ληφθεί υπόψη τιμή προωθητικής δύναμης 43.000 kN στα 350 bar για την πραγματική διάμετρο των σηράγγων. Επιπλέον, λόγω της διαμόρφωσης τμηματικής επένδυσης, ο αριθμός κυλίνδρων προώθησης είναι 16 προς αποφυγή παρεμβολής κυλίνδρων στους αρμούς σε περίπτωση περιστροφής του δακτυλίου.

- Οι χαρακτηριστικές λεπτομέρειες της σήραγγας είναι:
- Μήκος εκσκαφής της σήραγγας είναι ≈ 8.000 m.
- Ελάχιστη ακτίνα ευθυγράμμισης: 200 m οριζόντια, ± 1.250 m κατακόρυφα.
- Ελάχιστη ακτίνα διόρθωσης για λόγους αλλαγής πορείας: 160 m
- Ελάχιστη ακτίνα εκσκαφής της σήραγγας (καμπύλη διόρθωσης): 160 m
- Μέγιστο όριο κλίσης: $\pm 4\%$.
- Εξωτερική διάμετρος εκσκαφής: $\varnothing 6,19$ m
- Εσωτερική διάμετρος της επένδυσης: $\varnothing 5,30$ m
- Το υπερκείμενο από την ασπίδα κυμαίνεται μεταξύ 16 m – 31m

3.3.2.Χαρακτηριστικά της μηχανής εκσκαφής EPB

Η ασπίδα EPB είναι ικανή να λειτουργήσει σε ανοιχτή λειτουργία (open mode όπου ο θάλαμος της κεφαλής κοπής δεν λειτουργεί υπό πίεση) και σε κλειστή λειτουργία (closed mode όπου ο ατέρμων κοχλίας και ο θάλαμος της κεφαλής κοπής, λειτουργεί υπό πίεση).

Το EPB χωρίζεται σε δυο κύρια τμήματα:

- Στην κεφαλή ολομέτωπης κοπής με ασπίδα.
- Και στο σύστημα υποστήριξης (Back –up)

Η κεφαλή κοπής και το σύστημα υποστήριξης του EPB χωρίζονται σε τομείς για τη εύκολη μεταφορά και συναρμολόγησή τους στο εκάστοτε εργοτάξιο έναρξης εργασιών.

Τα στοιχεία της ασπίδας έχουν σχεδιαστεί ώστε να διευκολύνουν την μεταφορά, συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση, καθώς επίσης την μετακίνηση μέσα στη σήραγγα και την εγκατάλειψη της ατράκτου (κέλυφος) για υποστήριξη του εδάφους σε περίπτωση ανάγκης. Όλα τα εξαρτήματα του EPB που δεν αντικαθίστανται έχουν ελάχιστη διάρκεια ζωής 10.000 ωρών λειτουργίας.

Η πίεση λειτουργίας είναι 5 bars και η εξωτερική διάμετρος της μπροστινής ασπίδας είναι Φ 6,170 m. Το συνολικό μήκος του EPB, συμπεριλαμβανομένου και του υποστηρικτικού τμήματος, είναι 85 m.





Εικόνα 3 Συναρμολόγηση κοπτικής κεφαλής & τμήμα της πρόσθιας ασπίδας στο εργοστάσιο.

Οι αρχές λειτουργίας του EPB συναινούν τις ακόλουθες μη-εξαντλητικές μεθόδους:

- Μέθοδος αυτόματης όγκο μέτρησης του εδάφους ανά προχώρηση και την σύγκριση με την πραγματική προχώρηση του EPB για να αποτρέψει εσφαλμένους χειρισμούς που θα οδηγήσουν σε υπέρ εκσκαφές και εδαφικές καθιζήσεις.
- Καταγραφή της πίεσης και του όγκου του εισπνεζόμενου ενέματος (υδαρές τσιμεντοκονίαμα) στο προκατασκευασμένο δακτυλίδι ανά προχώρηση. Ο κενός χώρος μεταξύ της εξωτερικής επιφάνειας του δακτυλίου και της περιφέρειας που έχει εκσκαφθεί γεμίζει με ένεμα, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι εδαφικές καθιζήσεις και να σταθεροποιηθεί η επένδυση της σήραγγας.

Σχετικά με την μηχανική κατασκευή στοιχείων του EPB, τα ακόλουθα μπορούν να παρατηρηθούν:

- Όλες οι ευαίσθητες συγκολλημένες κατασκευές της κοπτικής κεφαλής είναι απαλλαγμένες από φορτίσεις για να εξαλειφθούν οι εσωτερικές τάσεις της κατασκευής πριν την μηχανουργική κατεργασία.
- Καμία μεγάλη εργασία συγκόλλησης δεν πραγματοποιείται μετά την μηχανουργική κατεργασία, στην περιοχή των κατεργασμένων κατασκευών.
- Η συναρμολόγηση και η αποσυναρμολόγηση απαιτούν κάρφωμα και ξεκάρφωμα μόνο. Καμία κατεργασία εν θερμό, όπως η συγκόλληση ή η κοπή με φλόγα, δεν επιτρέπεται.

3.3.3 Κοπτική κεφαλή

Η κοπτική κεφαλή είναι σχεδιασμένη σύμφωνα με όλα τα φορτία εδάφους, νερού, κυκλοφορίας και εργασίας αλλά και τις αναμενόμενες συνθήκες φθοράς, είναι μια βαριά μεταλλική κατασκευή, που παρέχει την αναγκαία μηχανική υποστήριξη στο μέτωπο της σήραγγας. Επίσης, είναι εφοδιασμένη με την αναγκαία αποξεστική προστασία ώστε να επιτρέψει στην ασπίδα να ολοκληρώσει την εκσκαφή της σήραγγας μέσα στους διάφορους γεωλογικούς παράγοντες .

Η κοπτική κεφαλή εγκαθίσταται στο εσωτερικό του κυρίου εδράνου το οποίο απορροφά τα προωστικά και τα αξονικά φορτία.

Χαρακτηριστικά κοπτικής κεφαλής	Διάμετρος	Ø6170 mm
	Μήκος	
	Βάρος χωρίς επένδυση	41 tones
	Διεύθυνση περιστροφής κατά τη λειτουργία	Αριστερά / Δεξιά
Χαλύβδινη κατασκευή	Ποιότητα χάλυβα	S355J2G3
	Λόγος ανοίγματος	42%
	Ράβδοι	HARDOX 450

Στο σύνολο της η κοπτική κεφαλή περιλαμβάνει της ένα ολοκληρωμένο σύστημα αποξεστών μαλακού εδάφους (κοπτικά ελάσματα) και χείλη κάδων τοποθετημένα έτσι που να επιτυγχάνεται η εκκαθάριση των προϊόντων εκσκαφής από την περιφέρεια. Επιπλέον, η κοπτική κεφαλή είναι εξοπλισμένη με 2 φρέζες αντιγραφής για εργαλεία μαλακού εδάφους οι οποίες είναι σχεδιασμένες για υπερεκσκαφή της κανονικής διαμέτρου εκσκαφής με ακτίνα 40 mm περιμετρικά της κεφαλής κοπής, 360⁰, σε καθορισμένα τμήματα με δυνατότητα προγραμματισμού (επιλογή προφίλ υπερεκσκαφής -επέκταση φρεζών- από την καμπίνα ελέγχου TBM).

Όλα τα κοπτικά εργαλεία της κεφαλής έχουν σχεδιαστεί ώστε να αντικαθίστανται από το πίσω μέρος της κοπτικής κεφαλής μέσα από τον θάλαμο αποκομιδής των προϊόντων εκσκαφής και ενσωματώνουν τις πιο σύγχρονες τεχνολογίες υλικών ενάντια στις φθορές .

Αναμοχλεύτες (κοπτικά με ελάσματα)

Κοπτικά εργαλεία	Αριθμός / Τύπος	80 Heavy Duty
-------------------------	-----------------	---------------

Αποξέστες (κάδοι σωρού εδάφους)

Αριθμός / Τύπος	8 Heavy Duty
-----------------	--------------

Φρέζες αντιγραφής	2 (υπερεκσκαφή 40 mm)
-------------------	------------------------------

Ο σχεδιασμός της έγινε με τέτοιο τρόπο που τα ανοίγματα της να περιορίζουν το μέγεθος των τεμαχών. Ενώ, η προς τα πίσω κλίση των ανοιγμάτων εξυπηρετεί την ροή των προϊόντων εκσκαφής από το μέτωπο προς το μεταφορέα με ατέρμονο κοχλία και ταυτόχρονα υποστηρίζει το ιδανικό προφίλ μετώπου.



Εικόνα 5 Σιαγόνες σύνθλιψης και κοπτικοί δίσκοι της κοπτικής κεφαλής του EPB

Επιπρόσθετα, με την βοήθεια της διόδου περιστροφικής μετάδοσης, τα ακροφύσια της κοπτικής κεφαλής τροφοδοτούνται με αφρό, μπετονίτη ή πολυμερή για την ρύθμιση των προϊόντων εκσκαφής.

Ο μηχανισμός κίνησης της κοπτικής κεφαλής κατασκευάζεται ως δακτύλιος κίνησης και ενσωματώνεται στο κέντρο της ασπίδας. Η κίνηση της κοπτικής κεφαλής επιτυγχάνεται με υδραυλικούς κινητήρες που παρέχουν την απαιτούμενη ροπή και την ευκολία να ελέγχεται αυτή καθώς και η ταχύτητα περιστροφής και η ρύθμιση μικροκινήσεων. Κατά τον καθορισμό της ροπής αυτής τηρήθηκε το άρθρο 91 του «Ιαπωνικού Προτύπου Διάνοιξης Σηράγγων με Ασπίδα», έκδοση 1996.

<u>Υδραυλική κίνηση & επιλογή για VFD</u>		
	Κινητήρες	9
Κίνηση κοπτικής κεφαλής	Ισχύς	1200 kW
	Ταχύτητα περιστροφής	0 – 3.0 rpm
	Ροπή	5400 kNm στις 1,4 rpm
	Ροπή απεμπλοκής	7280 kNm

Για να διατηρηθεί ο έλεγχος του εδάφους σε συναρτήσε με την αποκομιδή των προϊόντων εκσκαφής με μια μηχανή EPB, η εκσκαφή ξεκινά περιστρέφοντας την κοπτική κεφαλή και ρυθμίζοντας στον ατέρμονα κοχλία το άνοιγμα της θύρας αποκομιδής του υλικού. Καθώς τα έμβολα προώθησης του μηχανήματος εκτείνονται, τα προϊόντα εκσκαφής γεμίζουν τον θάλαμο της κεφαλής κοπής, παρέχοντας στήριξη, με αποτέλεσμα το έδαφος μπροστά από το EPB και μέσα στην κοπτική κεφαλή είναι υπό πίεση.

Η εδαφική πίεση στο εσωτερικό του θαλάμου εκσκαφής παρακολουθείται από 6 αισθητήρες εδαφικής πίεσης οι οποίοι βρίσκονται σε διαφορετικά επίπεδα στο διάφραγμα, 1m πίσω από το μέτωπο. Από την καμπίνα ελέγχου παρακολουθούνται,

η εδαφική πίεση, η πίεση στήριξης και το φαινόμενο βάρος του εδάφους. Επιπλέον, δυο αισθητήρες εδαφικής πίεσης στον μεταφορέα με ατέρμονο κοχλία, είσοδο – έξοδο, παρακολουθούν τα προϊόντα εκσκαφής που υποβάλλονται σε επεξεργασία με αφρό κατά την εξαγωγή τους από το θάλαμο της κοπτικής κεφαλής με ελεγχόμενο τρόπο μέσω του μεταφορέα με ατέρμονο κοχλία.

Ακολουθεί συνοπτικός πίνακας όπου δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μηχανήματος, της κοπτικής κεφαλής και των κοπτικών εργαλείων, Πίνακας 1.

Περιγραφή	Τιμή
Τύπος μηχανήματος	Earth Pressure Balance_EPB (εξισορρόπηση με εδαφική πίεση)
Μέγιστη πίεση λειτουργίας	5 bar
Διάμετρος εκσκαφής	6190 mm
Ελάχιστη ακτίνα εκσκαφής	200 (160 m σχεδιασμός)
Ελάχιστη ακτίνα ευθυγράμμισης ¹	± 1250 m
Μέγιστη ταχύτητα όρυξης	130 mm/min
Μέγιστη κλίση	4 %
Συνολικό μήκος TBM (με πίσω μέρος_back up)	85 m
Μέγιστο βάρος TBM (με πίσω μέρος_back up)	300 ton
Δύναμη ώθησης TBM	42575 (350 bar) kN
Αριθμός κυλίνδρων προσβολής	2*16

Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς	2000	kW
Διάμετρος κοπτικής κεφαλής	6170	m
Μήκος κοπτικής κεφαλής	1740	mm
Βάρος κοπτικής κεφαλής	42.5	tons
Υλικό κατ/ης κοπτικής κεφαλή	S355J2G3	
Λόγος ανοίγματος κοπτικής κεφαλή	38	%
Ράβδοι κοπτικής κεφαλή	HARDOX 450	
Εγκατεστημένη Ισχύς κοπτικής κεφαλής	1200	kW
Ταχύτητα περιστροφής κοπτικής κεφαλής	0 - 3	rpm
Μέγιστη Τάση κοπτικής κεφαλής	7280.8	kNm
Αριθμός κοπτικών εργαλείων απόξεσης	84	
Προβολή κοπτικών εργαλείων απόξεσης	50	mm
Αριθμός κοπτικών εργαλείων μετώπου (κάδοι σωρού)	40	
Αριθμός κοπτικών εργαλείων περιφέρειας (κάδοι σωρού)	80	
Προβολή κοπτικών εργαλείων κάδοι σωρού	50	mm
Συνολικός αριθμός κοπτικών δίσκων	35	
Προστασία έναντι φθοράς δακτυλίου κοπτικών δίσκων	βολφράμιο	
Προβολή κοπτικών δίσκων	140	mm

Διάμετρος κοπτικών δίσκων	17	inch
Πλάτος δακτυλίου κοπτικών δίσκων	3/4	inch
Μέγιστο φορτίο ανά κοπτικό δίσκο	245 - 250	kN
Απόσταση κοπτικών δίσκων		mm
Κοπτικοί δίσκοι διπλοί , συνολικός αριθμός	16	
Κοπτικοί δίσκοι μονός , συνολικός αριθμός	0	
Κοπτικοί δίσκοι τριπλοί , συνολικός αριθμός	1	
Αριθμός κοπτικών στο κέντρο	0	
Φρέζες αντιγραφής (δίδυμες)	2	
Φρέζες υπερεκσκαφής	3	

Πίνακας 4 Τεχνικά χαρακτηριστικά μηχανήματος TBM EPB και της κοπτικής κεφαλής με τα κοπτικά

3.3.4 Διαμόρφωση της ασπίδας

Η ασπίδα του EPB, σχεδιάστηκε για να αντέχει όλα τα φορτία και τις δυνάμεις που θα εμφανιστούν από,

α) το υπερκείμενο έδαφος

και

β) όλα τα φορτία και τις δυνάμεις από τη λειτουργία του EPB, τόσο στην κανονική λειτουργία όσο και στις λειτουργίες που απαιτείται διόρθωση της ευθυγράμμισης της σήραγγας ακτίνας 160 m. Αποδεκτές είναι μόνο οι οριακές εκείνες παραμορφώσεις, από αυτά τα φορτία, που επιτρέπουν την ανενόχλητη λειτουργία του EPB.



Εικόνα 6 Το πρόσθιο μέρος της ασπίδας με την κεφαλή κοπής του EPB.

Η πρόσθια ασπίδα είναι ουσιαστικά ανεξάρτητη από την υπόλοιπη ασπίδα και συνδέεται με την οπίσθια ασπίδα με σύστημα παθητικής ελκόμενης άρθρωσης. Χρησιμοποιούνται κύλινδροι άρθρωσης η διαδρομή των οποίων είναι συμβατή με το επιλεγμένο μήκος του δακτυλίου τμηματικής επένδυσης (1500mm), με την ονομαστική ακτίνα οριζόντιας καμπύλης σχεδιασμού χάραξης της σήραγγας (200m) και την επιλεγμένη ελάχιστη ακτίνα σχεδιασμού (160m). Οι κύλινδροι άρθρωσης οποίοι λειτουργούν με πίεση 250 bars, επιτρέπουν τον προσανατολισμό της πίσω ασπίδας, σε σχέση με την μπροστινή, σε κάθε διεύθυνση στο χώρο.

Κύλινδροι άρθρωσης της ασπίδας	Αριθμός κυλίνδρων	10
	Κύλινδρος	∅ 380/300/200 mm
	Διαδρομή κυλίνδρου	200 mm

3.3.5 Ανθρωποθυρίδα και θυρίδα υλικών

Η ανθρωποθυρίδα αποτελείται από 2 τουλάχιστον θαλάμους άμεσα συνδεδεμένους μεταξύ τους, έναν κύριο θάλαμο και έναν θάλαμο εισόδου προσβάσιμο από την πλευρά των συνθηκών ατμοσφαιρικής πίεσης. Ειδικότερα, οι δυο θάλαμοι του EPB TBM είναι,

- 1) ο κύριος θάλαμος (3 ατόμων)
- και
- 2) ο θάλαμος εκτάκτου ανάγκης (1 άτομο)

η μέγιστη πίεση λειτουργίας των οποίων κυμαίνεται στα 4 – 5 bar.

	Θέση θαλάμων	πάνω ασπίδας / ζώνη / πρόσθια ασπίδα
Χαρακτηριστικά ανθρωποθυρίδας	Αριθμός ατόμων εργαζομένων / 3 άτομα στον κυρίως θάλαμο	
	Διαστάσεις θαλάμου εργασίας	1600 mm
	Αριθμός ατόμων στον θάλαμο εκτάκτου ανάγκης	1 άτομα
	Μέγιστη πίεση ελέγχου	5 bars εμπρόςθια θύρα (4 bars θυρίδα αέρα)

Ως ελάχιστη απαίτηση, κάθε θάλαμος είναι εξοπλισμένος με όργανα και ανοίγματα εξυπηρέτησης, όπως περιγράφονται ακολούθως,:

Όργανα

- Εξοπλισμός ελέγχου πίεσης, ελεγχόμενος εξωτερικά και εσωτερικά
- Διάταξη μέτρησης εσωτερικής πίεσης, με ένδειξη πίεσης εξωτερικά στον πίνακα ελέγχου και εσωτερικά στο θάλαμο
- Διάταξη καταγραφής της πίεσης σε κάθε θάλαμο, εξωτερική εγκατάσταση
- Θερμόμετρο εσωτερικό
- Ρολόι εσωτερικό και εξωτερικό

Ανοίγματα εξυπηρέτησης

- Γραμμή δειγματοληψίας για την ανάλυση αερίων
- Παράθυρα παρατήρησης γυάλινα με αντοχή σε πρόσκρουση μεταξύ του πίνακα και του θαλάμου πίεσης και μεταξύ των θαλάμων
- Βάσεις για την εγκατάσταση μονάδας παροχής οξυγόνου, ο αριθμός των αναπνευστικών μονάδων θα είναι κατά αντιστοιχία της χωρητικότητας του θαλάμου με μια τουλάχιστον μονάδα αντικατάστασης

Η ανθρωποθυρίδα είναι εφοδιασμένη με εξοπλισμό παροχής νωπού αέρα 50 l/min ανά άτομο, τουλάχιστο, μετρούμενη σε συνθήκες πίεσης θαλάμου.

Άλλες γενικές απαιτήσεις που αφορούν την ανθρωποθυρίδα περιλαμβάνουν, φωτισμό εσωτερικό και εκτάκτου ανάγκης, σύστημα φωνητικής επικοινωνίας, σύστημα θέρμανσης / ψύξης, σύστημα πυρόσβεσης με νερό, μειωτήρες θορύβου.

Η θυρίδα των υλικών είναι αρκετά μεγάλη ώστε να επιτρέπει την είσοδο 1 ατόμου για φόρτωση – εκφόρτωση του υλικού και είναι εξοπλισμένη με,

- Εξοπλισμό ελέγχου πίεσης, εξωτερικά ελεγχόμενο
- Διάταξη μέτρησης πίεσης, εξωτερική
- Μέσα παρατήρησης του εσωτερικού της θυρίδας
- Φωτισμός.

3.3.6 Έμβολα ώθησης του EPB

Τα 16 έμβολα ώθησης είναι τοποθετημένα γύρω από την οπίσθια ασπίδα ομαδοποιημένα ανά δύο σε ένα πέδιλο, ορθογώνιου παραλληλόγραμμου που στρώχουν τα προκατασκευασμένα στοιχεία.



Εικόνα 7 Θάλαμος αποσυμπίεσης και έμβολα προώθησης

Έξι έμβολα ώθησης έχουν μετρητή γραμμικό μορφοτροπέα, και συνδέονται με το κέντρο ελέγχου. Το υδραυλικό σύστημα των γρύλων είναι σχεδιασμένο να παρέχει δυο λειτουργίες, προέκτασης και επαναφοράς.

- Κατά την προχώρηση του μηχανήματος που συμπίπτει με την φάση εκκαφής, τα έμβολα έχουν μικρή ταχύτητα έκτασης και ασκούν μεγάλη πίεση.
- Κατά την τοποθέτηση της επένδυσης των προκατασκευασμένων στοιχείων – 7 κανονικά στοιχεία και ένα “κλειδί” (σφήνα). Τα έμβολα λειτουργούν με μεγάλη ταχύτητα έκτασης και επαναφοράς και ασκούν μικρές πιέσεις ώστε να επιτραπεί η τοποθέτηση και να αποτραπεί η κατάρρευση του προκατασκευασμένου δακτυλίου. Σε όλη την φάση των εργασιών υπάρχει μια ελάχιστη πίεση που ασκούν τα έμβολα στο δακτύλιο για να το κρατούν στην θέση του.

Σε όλες τις περιπτώσεις, η πίεση των εμβόλων διατηρείται μόνιμα, έτσι ώστε να αποτρέψει την κατάρρευση του προκατασκευασμένου δακτυλίου της επένδυσης καθ’

όλη την διάρκεια του κύκλου εκσκαφής και τοποθέτησης στοιχείων , χωρίς να πέσει η πίεση. Η πίεση ώθησης του EPB προσαρμόζεται αναλόγως της τριβής μεταξύ της ασπίδας και του εδάφους.

Η πίεση που εφαρμόζεται στην μόνιμη επένδυση των προκατασκευασμένων στοιχείων είναι ένας συνδυασμός μεταξύ της υποστήριξης του προκατασκευασμένου δακτυλίου και της ακινησίας του μηχανήματος. ακόμα και κατά το διάστημα προσωρινής διακοπής της παραγωγής του μηχανήματος.

Η ονομαστική πίεση λειτουργίας στο υδραυλικό σύστημα είναι περιορισμένη στα 350 bars.

Η έκταση των εμβόλων είναι συνάρτηση του μήκους του δακτυλίου (1,5 m), της άνετης τοποθέτησης της σφήνας και της απρόσκοπτης λειτουργίας της άρθρωσης της ασπίδας. Στη λειτουργία της τοποθέτησης του προκατασκευασμένου δακτυλίου: Δύο, τέσσερις ή έξι γρύλοι δουλεύουν μαζί σε μειωμένη πίεση λειτουργίας.

	Κύλινδροι	Ø 300/220 mm
Χαρακτηριστικά κυλίνδρων πρόωσης	Βήμα κυλίνδρου	100 mm
	Μέγιστη δύναμη πρόωσης	43000 kN
	Αριθμός κυλίνδρων με σύστημα μέτρησης επιμήκυνσης	4
	Ταχύτητα προώθησης	130 mm/min

Η οπίσθια ασπίδα σκοπό έχει να,

α) εφοδιάζει συνεχώς με ένεμα (τσιμεντοκονίαμα) το κενό μεταξύ του προκατασκευασμένου δακτυλίου της σήραγγας και του εδάφους μέσω διόδων στο οπίσθιο τμήμα της ασπίδας . Η έγχυση ενέματος πίσω από τα προκατασκευασμένα στοιχεία εκτελείται ταυτόχρονα κατά την διαδικασία εκσκαφής.

β) να αποτρέπει την εισροή υπόγειου νερού ή ενέματος στο χώρο τοποθέτησης των προκατασκευασμένων στοιχείων, μέσω δύο περιμετρικών σειρών συρματινών βουρτσών τοποθετημένων στο άκρο της πίσω ασπίδας.

Η διάρκεια ζωής της συρματοβουρτσας είναι 1000 m σήραγγας.

Χαρακτηριστικά οπίσθιου τμήματος	Εξωτερική διάμετρος	∅ 6150 mm
	Μήκος	4200 mm
	Πάχος χάλυβα της ασπίδας	50 mm
	Αριθμός βουρτσών σφράγισης	3 σειρές
	Αριθμός σημείων ενέματος λιπαντικών	12 ανά χώρο
	Αριθμός γραμμών ενεμάτων	6

Ένα σύστημα αντί-κύλισης είναι σχεδιασμένο για να ελέγχει την οδήγηση του EPB.

Κύλινδροι αντί-κύλισης	Κύλινδροι	∅ 180/80 mm
	Βήμα κυλίνδρου	150 mm
	Αριθμός κυλίνδρων	14



Εικόνα 8 Σύστημα Σφράγισης τύπου Συρματόβουρτσας

3.3.7 Μεταφορέας με ατέρμων κοχλία

Ο μεταφορέας με ατέρμονο κοχλία που χρησιμοποιείται για την μεταφορά του υλικού είναι εγκατεστημένος στο κάτω τμήμα της μετωπικής ασπίδας. Όταν η κοπτική κεφαλή περιστρέφεται το σύστημα προώθησης ενεργοποιείται, και ο ατέρμων κοχλίας ξεκινά. Η ταχύτητα περιστροφής του κοχλία είναι που καθορίζει το ρυθμό της εκσκαφής και με την ελεγχόμενη αποκομιδή του υλικού της κεφαλής εξασφαλίζεται και η ευστάθεια του μετώπου.

Ο ατέρμων κοχλίας έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Ισχύς	250 kW
Συνολικό μήκος	14,2 m
Ονομαστική διάμετρος κοχλία	Ø 700 mm

Διαμόρφωση ατέρμωνα κοχλίας	Βήμα του έλικα	560 mm
	Ταχύτητα περιστροφής	0 – 22 rpm
	Μέγιστη ροπή	240 kNm
	Ανοίγματα για ρυθμιστικά υλικά στον σωλήνα του κοχλίας	3
	Μεταφορική ικανότητα	288 m ³ /h
	Μέγιστο μέγεθος τεμαχίου	240 mm
	Αποδεκτή πίεση κλεισίματος της θύρας	5 bar
	Διεύθυνση περιστροφής	Αριστερά/Δεξιά



Εικόνα 9 Ατέρμων κοχλίας

Ο μεταφορέας ατέρμονου κοχλία αποτελείται από ένα ελικοειδή κοχλία με πυρήνα. Η μονάδα κίνησης αποτελείται από πλανητικό κιβώτιο με υδραυλικό κινητήρα που μεταδίδει την απαιτούμενη ροπή μέσω ενός οδοντωτού στην έλικα.

Κατά την κανονική λειτουργία το άκρο του ατέρμονα κοχλία φτάνει ως το θάλαμο εκσκαφής. Ο μεταφορέας με ατέρμονο κοχλία μπορεί να λειτουργήσει σε οποιαδήποτε θέση, απόσυρση ή επέκταση του κοχλία, χαρακτηριστικό που επιτρέπει την απελευθέρωση του μεταφορέα με ατέρμονο κοχλία σε περίπτωση μπλοκαρίσματος. Ανασύροντας το μεταφορέα με ατέρμονα κοχλία η θύρα ασφαλείας μέσα στο διάφραγμα του θαλάμου εκσκαφής μπορεί να κλείσει και να απομονώσει τον θάλαμο της κοπτικής κεφαλής τελείως από το TBM.

Η πλαστική ρευστότητα του υλικού εκσκαφής είναι απαραίτητη ώστε να υπάρχει ομαλή ροή πάνω στον ατέρμονα κοχλία και να μην προκαλούν φθορές. Για την βελτίωση της ροής του υλικού γίνεται με παροχή αφρού ή πολυμερής διατρήσεις έγχυσης που βρίσκονται στην περιφέρεια του μεταφορέα με ατέρμονο κοχλία.

Στην περίπτωση που παρουσιασθεί υψηλή ποσότητα νερού στο έδαφος, μια αντλία νερού, τοποθετημένη στο τέλος του ατέρμονα κοχλία μπαίνει σε λειτουργία για την απορροή του νερού.



Εικόνα 10 Θύρα ασφαλείας στο διάφραγμα του θαλάμου εκσκαφής

3.3.8 Σύστημα μεταφοράς υλικού εκσκαφής

Το σύστημα μεταφοράς εσκαμμένου υλικού με ιμάντες σχεδιάστηκε από την SELI και έχει μεταφορική ικανότητα 600 m³/h εκσκαφής υλικού ξεκινώντας από τον ατέρμονα κοχλία και μέσω της σήραγγας αποθέτει το υλικό στην επιφάνεια του εργοταξίου.

Αναλυτικότερα, για την μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής κατά μήκος της σήραγγας μέχρι το σημείο εκφόρτωσης στην είσοδο, το σύστημα υποστήριξης είναι εξοπλισμένο με έναν ιμάντα μεταφοράς που φέρνει το υλικό από τη θύρα εκφόρτωσης του μεταφορέα με ατέρμονα κοχλία στο σημείο φόρτωσης των οχημάτων μεταφοράς των προϊόντων εκσκαφής.

Ο ιμάντας παραλαβής υλικού από τον μεταφορέα με ατέρμονα κοχλία διατρέχει όλο το μήκος του συστήματος υποστήριξης. Ο δεύτερος ιμάντας όπου γίνεται η εκφόρτωση του εσκαμμένου υλικού, είναι κινητός, τροφοδοτεί απευθείας τα οχήματα μεταφοράς του υλικού.

Χαρακτηριστικά 1^{ου} ιμάντα μεταφοράς	Εγκατεστημένη ισχύς	30 kW
	Ολικό μήκος	45 m
	Μεταφορική ικανότητα	600 tones/h
	Πλάτος ταινίας	800 mm
	Ταχύτητα κίνησης ταινίας	της 0 – 2.5 m/s
Χαρακτηριστικά 2^{ου} ιμάντα μεταφοράς (κινητός)	Εγκατεστημένη ισχύς	20 kW
	Εκτάσιμο μήκος ταινίας	20 m
	Μεταφορική ικανότητα	600 tones/h
	Πλάτος ταινίας	800 mm
	Ταχύτητα κίνησης ταινίας	της 0 – 2.5 m/s



Εικόνα 11

Ιμάντας παραλαβής προϊόντων εκσκαφής (1^{ος} μεταφορικός ιμάντας στην υποστήριξη του TBM)

Ο συρμός περιλαμβάνει 3 οχήματα στοιχείων , 1 όχημα ανάμειξης τσιμεντοκονιάματος, 5 οχήματα μεταφοράς προϊόντων εκσκαφής χωρητικότητας 16 m³ έκαστο και 1 όχημα μεταφοράς προσωπικού.

Η διάταξη επιτρέπει στο TBM να εκτελεί διαδρομή με μήκος προώθησης 1.5 m.

Τέλος, το υλικό εκσκαφής μεταφέρεται με την βοήθεια γερανού, που βρίσκεται στην κορυφή του σταθμού και ανυψώνει τα οχήματα μεταφοράς σε κατασκευή απόθεσης, σε κλειστά φορητά για την μεταφορά τους σε τελικό χώρο απόθεσης.

3.3.9 Προσθετικοί ρυθμιστικοί παράγοντες

Στο EPB TBM, όπως ειπώθηκε και παραπάνω είναι απαραίτητη η προσθήκη παραγόντων ρύθμισης, έτσι ώστε το υλικό εκσκαφής να μετατρέπεται σε εδαφικό πολφό που θα υποστηρίζει το μέτωπο της σήραγγας.

Ο ρόλος των ρυθμιστικών παραγόντων του εδάφους είναι να βελτιώνουν τις ιδιότητες του εδάφους αυξάνοντας την συμπιεστότητα μειώνοντας ταυτόχρονα τη διατμητική αντοχή και την διαπερατότητα. Στόχος είναι να γίνει το έδαφος περισσότερο πλαστικό με χαμηλή εσωτερική τριβή και χαμηλή διαπερατότητα. Αποτυχία των παραπάνω οδηγεί σε εμπλοκή στην κοπτική κεφαλή, έμφραξη ή/και προβλήματα στη μεταφορά.

Κατά κανόνα οι παράμετροι που εξετάζονται ανάλογα με τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους είναι:

- Επιφανειοδραστική συμπίκνωση
- Λόγος διόγκωσης αφρού (FER=8:1)
- Λόγος εισπίεσης αφρού (FIR=60%)

Οι ρυθμιστικοί παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του απλού νερού, της λάσπης με βάση τον μπεντονίτη, τα χημικά πολυμερή και τους παράγοντες με βάση τον αφρό έχουν εισαχθεί για τρεις λόγους:

- 1) Για να λιπαίνουν την ροή του υλικού διαμέσου του διαμερίσματος της κοπτικής κεφαλής και του ατέρμονα κοχλία.
- 2) Για να βελτιώνουν τη διαπερατότητα του υλικού σε πολύ υγρές εδαφικές συνθήκες, και να αποτρέπει το πέρασμα του νερού διαμέσου της θύρας εκτόνωσης του ατέρμονα κοχλία.
- 3) Για να βελτιώνει τη σύσταση του υλικού για καλύτερη διαχείριση της λάσπης από τη θύρα εκτόνωσης προς την τελική απόθεση.

Το νερό που απαιτείται ως προσθετικός ρυθμιστικός παράγοντας στα υλικά εκσκαφής μειώνει τον κίνδυνο εισροής νερού από το έδαφος. Εάν η ποσότητα του νερού εις το υλικό εκσκαφής, είναι υψηλή και το μέγεθος των κόκκων που επικρατούν είναι μέση έως μεγάλη, είναι πολύ δύσκολο να δημιουργηθεί το αναγκαίο παρέμβυσμα στεγανότητας στον ατέρμονα κοχλία. Το επιπλέον νερό, που μένει στο χώμα εκσκαφής δημιουργεί προβλήματα στο χώρο εργασίας και στην μεταφορά του. Επίσης αυξάνει το βάρος της λάσπης στο σύστημα των μεταφορικών ταινιών της σήραγγας και ελαττώνει την μεταφορική χωρητικότητα.

Αυτόματα συστήματα για έκχυση ρυθμιστών είναι αναγκαία για να ελέγχουν τον όγκο του υλικού που εκχύνεται σε σχέση με το ρυθμό προχώρησης της ασπίδας EPB, την ροπή της κοπτικής κεφαλής, και την εξισορρόπηση της πίεσης του εδάφους.

Ο χημικός πρόσθετος παράγοντας που χρησιμοποιείται για να παρασκευαστεί ο αφρός και οι περιεχόμενες φυσαλίδες αέρα δρουν ως λιπαντικό στην διαδικασία εκσκαφής, προλαμβάνοντας την προσκόλληση των ασθενών στρώσεων (συνήθως σκληρές άργιλοι) στην κοπτική κεφαλή και στους κοπτικούς δίσκους.

Ο αφρός ως ρυθμιστικό υλικό είναι φυσαλίδες αέρα που βρίσκονται σε κάψουλες με έλαιο-διαλυτά (92 – 94%) ρευστά, ο οποίος προστίθεται στο υλικό εκσκαφής και κρατά τους κόκκους του εδάφους χωριστά μειώνοντας την εσωτερική τριβή και την διαπερατότητα του εδάφους. Επίσης μειώνεται η ανάγκη είτε για παροχή μεγάλης ποσότητας νερού από το EPB, είτε να επιτρέπεται νερό να ρεύσει από το έδαφος.

Η παροχή αφρού μειώνει το βάρος και την περιεχόμενη υγρασία του υλικού εκσκαφής με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους μεταφοράς. Η αναλογία του αφρού στον εκσκαμμένο όγκο διατηρείται σχετικά σταθερή (περίπου 25 – 35%), καθώς η πυκνότητα και η αντοχή του αφρού ρυθμίζεται για να ταιριάζει στις διάφορες εδαφικές συνθήκες. Ο αφρός προμηθεύεται από μια συσκευή τοποθετημένη στην ασπίδα ή στο συρμό υποστήριξης και συνοδεύεται με νερό και πεπιεσμένο αέρα και ελέγχεται από τον χειριστή του EPB.

Ρύθμιση με αφρό, νερό ή μπεντονίτη	Αριθμός σημείων τροφοδοσίας/ κοπτικό τροχό	4
	Αριθμός σημείων τροφοδοσίας/ θάλαμο εκσκαφής	2
	Αριθμός σημείων τροφοδοσίας/ ατέρμονα κοχλία	2

Από πρακτικής και κατά συνέπεια τεχνικής άποψης η αποτελεσματική ανάμειξη των προϊόντων εκσκαφής και των ρυθμιστικών παραγόντων εξαρτάται άμεσα από,

- θέση και αριθμό σημείων εισπίεσης
- μέθοδο και έλεγχο ρυθμού εισπίεσης
- ταχύτητα περιστροφής
- σχήμα θαλάμου εκσκαφής
- αριθμός πτερυγίων στο εσωτερικό του θαλάμου εκσκαφής

Για την παραγωγή ομοιογενή πολφού το EPB TBM έχει 3 στατικά πτερύγια ανάμειξης συγκολλημένα στο διάφραγμα και 3 ακόμη που είναι στερεωμένα στο κύριο πλαίσιο της κοπτικής κεφαλής. Η παροχή αφρού γίνεται μέσω 4 ακροφυσίων, στα 16 bar, που είναι τοποθετημένα στην κοπτική κεφαλή έτσι ώστε να καλύπτουν πλήρως με αφρό το μπροστινό μέτωπο της εκσκαφής.

Ωστόσο, προκειμένου να μειωθεί η τριβή και κατά συνέπεια η φθορά στην κεφαλή και να αποφευχθεί η προσκόλληση και έμφραξη της αργίλου στην κεφαλή ακόμη 2 ακροφύσια είναι τοποθετημένα στο διάφραγμα (μέση & κορυφή). Δυο επιπλέον ακροφύσια εισπίεσης είναι τοποθετημένα στο μεταφορέα με ατέρμονο κοχλία (είσοδο & μέσον).

Επιπλέον, σύστημα εισπίεσης πολφού μπεντονίτη, αποθηκευμένος σε δεξαμενή χωρητικότητας 6 m³ στο θάλαμο λειτουργίας του TBM, αποτελεί πρόσθετο σύστημα υποστήριξης μετώπου υπό πίεση στην περίπτωση μεταβαλλόμενων γεωλογικών συνθηκών κατά μήκος χάραξης της σήραγγας.

3.3.10 Τοποθέτηση των Προκατασκευασμένων στοιχείων

Ο δακτύλιος των προκατασκευασμένων στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα της σήραγγας τοποθετείται, στο πίσω μέρος της ασπίδας μετά από εκσκαφή και προχώρηση 1.5 m του EPB.

Η τοποθέτηση των προκατασκευασμένων στοιχείων γίνεται με ένα σύστημα ανύψωσης (erector) που είναι εξοπλισμένο με ένα βραχίονα ημι-περιστρεφόμενου τύπου. Η αξονική του κίνηση είναι αρκετή ώστε να του επιτρέπει την ανάληψη των προκατασκευασμένων στοιχείων από τον τροφοδοτικό μεταλλικό διάδρομο (segment feeder).



Εικόνα 12 Ανελκυστήρας για την τοποθέτηση των στοιχείων

Το τραπέζι του ανυψωτήρα είναι εξοπλισμένο με ένα σύστημα δημιουργίας και διατήρησης του κενού (βεντούζα) με συντελεστής ασφάλειας 2:1 , για την ανύψωση και προσωρινά συγκράτηση των στοιχείων μέχρι την τοποθέτησή τους.

Το κλειδί της επένδυσης (σφήνα) ανεκκύεται από ξεχωριστό τμήμα του τραπεζιού του συστήματος ανύψωσης.

Στην περίπτωση που χαθεί η παροχή ισχύος το σύστημα κενού είναι ικανό να διατηρήσει συγκρατημένο το στοιχείο για 30 λεπτά.

Ο ανυψωτήρας μπορεί να κινηθεί τόσο κατά τη φορά του ρολογιού, όσο και με την αντίθετη φορά κατά $\pm 220^{\circ}$. Έχει ασύρματο χειριστήριο, και έτσι υπάρχει οπτικό πεδίο για να ελέγχονται όλες οι κινήσεις του ανυψωτήρα κατά την τοποθέτηση των στοιχείων. Η ανυψωτική κίνηση γίνεται με 2 ταχύτητες, ενώ η μετατόπιση πραγματοποιείται με 1 ταχύτητα.

Οι έξι βαθμοί ελευθερίας, οι οποίοι περιγράφονται παρακάτω, με τους οποίους σχεδιάστηκε το σύστημα τοποθέτησης προκατασκευασμένων στοιχείων, ενεργοποιούνται από 3 υδραυλικούς κυλίνδρους με τηλεσκοπικούς βραχίονες και λειτουργούν ξεχωριστά και ταυτόχρονα, με την βοήθεια των οποίων γίνεται η τοποθέτηση και εξισορρόπηση των τμημάτων.

- Περιστροφή γύρω από τον διαμήκη άξονα του TBM
- Επιμήκυνση.
- Διαμήκης κίνηση.
- Ρύθμιση γύρω από τον διαμήκη άξονα.
- Ρύθμιση γύρω από τον εγκάρσιο άξονα (βύθιση, κλίση).
- Περιστροφικές κινήσεις γύρω από τον εγκάρσιο άξονα.

Το σύστημα τοποθέτησης προκατασκευασμένων στοιχείων είναι σχεδιασμένο για την τοποθέτηση ενός δακτυλίου σε 30 λεπτά. Το μεταλλικό τροφοδοτικό σύστημα των στοιχείων είναι σχεδιασμένο να δέχεται μια σειρά 8 τεμαχίων στοιχείων και να τα προωθεί στη θέση ανάληψης από τον βραχίονα του ανελκυστήρα.

Ο μεταφορικός μεταλλικός διάδρομος χωράει ένα δακτύλιο επένδυσης (7+1) και έχει την δυνατότητα να κινείται και ανάστροφα για να απομακρύνει ένα κατεστραμμένο στοιχείο από την περιοχή την ανάληψης.



Εικόνα 13 Τροφοδοτικός μεταλλικός διάδρομος προκατασκευασμένων στοιχείων

Υπάρχουν δυο τύποι κωνικών προκατασκευασμένων δακτυλίων από οπλισμένο σκυρόδεμα, τα Αριστερά (L) και τα Δεξιά (R). Το κωνικό σχήμα του δακτυλίου και η σωστή επιλογή του τύπου του είναι αυτά τα στοιχεία που βοηθούν ώστε η επένδυση να μπορέσει να ακολουθήσει τη τροχιά της σήραγγας. Κάθε είδος δακτυλίου (συνολικού βάρους 40.6 tones) αποτελείται από 8 κομμάτια, 5 κανονικά προκατασκευασμένα στοιχεία, 2 στοιχεία με υποδοχή για σφήνα και μια σφήνα (κλειδί).

Η τοποθέτηση των προκατασκευασμένων στοιχείων ξεκινά από τον πυθμένα της οπίσθιας ασπίδας του TBM και συνεχίζεται εναλλάξ, αριστερά / δεξιά έως τη σφήνα. Η τοποθέτηση των στοιχείων γίνεται με τη χρήση του ανελκυστήρα και με την βοήθεια του κενού αέρος. Αναλόγως του σημείου στο κύκλο τοποθέτησης της σφήνας (14 διαφορετικές γωνιακές θέσεις) τα στοιχεία του δακτυλίου αλλάζουν κωνικότητα, εξασφαλίζοντας έτσι την κλίση της επένδυσης σήραγγας. Η σφήνα τοποθετείται παράλληλα προς τον άξονα της σήραγγας, ως τελευταίο κομμάτι του δακτυλίου. Το ελαστικό παρέμβυσμα που συγκολλάτε θερμικά στην υποδοχή στις όψεις του κάθε προκατασκευασμένου στοιχείου συμπιέζεται μεταξύ των στοιχείων και των δακτυλίων της σήραγγας εξασφαλίζοντας την υδατο-στεγανότητα της σήραγγας. Τα προκατασκευασμένα στοιχεία βιδώνονται μεταξύ τους με χαλύβδινες βίδες υψηλής αντοχής διαμέτρου 25 mm και μήκους 500 mm μέσα σε πλαστικές υποδοχές που είναι ενσωματωμένες στα προκατασκευασμένα στοιχεία. Τα προωθητικά έμβολα βοηθούν στη στήριξη των στοιχείων κατά την τοποθέτηση των δακτυλίων της σήραγγας.

Το προκατασκευασμένο στοιχείο πυθμένας σήραγγας τοποθετείται μόνιμα μετά από την ολοκλήρωση της εγκατάστασης του δακτυλίου, και στην επίπεδη επιφάνειά του τοποθετούνται οι σιδηροτροχιές για την ολίσθηση των βαγονιών υποστήριξης του EPB και του τροχαίου υλικού.

3.3.11 Σύστημα ενέματος

Η έγχυση του ενέματος (grouting), πίσω από τα προκατασκευασμένα στοιχεία εκτελείται ταυτόχρονα με τη διάρκεια της εκσκαφής και ώθησης του EPB.

Το σύστημα ενέματος που εφαρμόζεται καλείται “ σύστημα ενέματος 2 συστατικών”, πρόκειται για ένα πρωτοποριακό σύστημα πλήρωσης του δακτυλιοειδούς διακένου μεταξύ της τμηματικής επένδυσης και του εδάφους της σήραγγας. Ο τρόπος λειτουργίας του εν λόγω συστήματος περιλαμβάνει την ανάμιξη μίγματος ενέματος ελεύθερης ροής, τσιμεντένεμα, (υγρό Α) με επιταχυντή (υγρό Β) στο διάκενο. Η διαδικασία ανάμιξης γίνεται κατά την ενεμάτωση.

Αναλυτικότερα, τα υγρά Α και Β μεταφέρονται από την μονάδα ανάμειξης και την χωριστή δεξαμενή, αντίστοιχα, που βρίσκονται εκτός της σήραγγας στο σύστημα υποστήριξης του TBM και αποθηκεύονται σε δεξαμενές στο εσωτερικό του TBM. Το υγρό Α αντλείται από τη δεξαμενή ανάδευσης στην πίσω ασπίδα όπου ρέει στο διάκενο μεταξύ του δακτυλίου και του εδάφους. Το υγρό Β αντλείται από την δεξαμενή του TBM όπου ρέει στο διάκενο μέσω των ακροφυσίων εισπίεσης και αναμιγνύεται με το υγρό Α ακριβώς μετά το άκρο της πίσω ασπίδας.

Η μονάδα ανάμειξης που είναι εγκατεστημένη εξωτερικά της σήραγγας στεγάζεται σε δοχείο 40” και αποτελείται από,

- αναμίκτη παραγωγικής ικανότητας 1,5 m³
- αναδευτήρα παραγωγικής ικανότητας 3 m³
- αυτόματο σύστημα ελέγχου PLC (100% αυτοματοποίηση & καταγραφή δοσολογίας)
- 2 αντλίες πολφού υψηλής πίεσης για το τσιμεντένεμα (υγρό Α)
- 1 αντλία για τον επιταχυντή (υγρό Β)
- Σύστημα νερού και συμπιεσμένου αέρα

Για την σύνθεση του τσιμεντένεματος, η μονάδα είναι εξοπλισμένη με 3 σιλό για το τσιμέντο, ιπτάμενη τέφρα και μπετονίτη, σε συνδυασμό με μεταφορείς με ατέρμονο κοχλία για την τροφοδοσία της δοσομετρικής μονάδας.

3.3.12 Κέντρο πλοήγησης και ελέγχου του EPB

Ένα κλιματιζόμενο δωμάτιο ελέγχου είναι τοποθετημένο στο πρώτο βαγόνι υποστήριξης, σε απόσταση 22 m από το μέτωπο εκσκαφής.

Η καμπίνα πλοήγησης , περιέχει όλα τα απαραίτητα συστήματα καταγραφής και ελέγχου της ασφαλούς λειτουργίας του EPB. Στην καμπίνα ελέγχου έχει χώρο για 4 άτομα. Εκεί γίνεται η παρακολούθηση και καταγραφή όλων των παραμέτρων λειτουργίας του EPB και των συστημάτων του. Από το κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης που είναι εγκατεστημένο στο δωμάτιο ελέγχου παρακολουθούνται,

- ο χώρος χτισίματος της επένδυσης των προκατασκευασμένων δακτυλίων
- η μεταφορά των χωμάτων εκσκαφής από τον ατέρμονα κοχλία και στην πρώτη μεταφορική ταινία
- το τέλος συρμού του συστήματος υποστήριξης του EPB.



Εικόνα 14 Δωμάτιο ελέγχου του EPB

Επιπλέον, το δωμάτιο ελέγχου είναι εξοπλισμένο με σύστημα καθοδήγησης του EPB ελεγχόμενο από υπολογιστή.

Το σύστημα καθοδήγησης SLS – T APD, που σχετίζεται με τις λειτουργίες του EPB, μελετήθηκε από την εταιρεία VMT GmbH. Γερμανίας. Το SLS – T APD παρέχει όλες τις σημαντικές πληροφορίες, οι οποίες είναι αναγκαίες για να οδηγήσουν το EPB κατά μήκος του σχεδιασμένου άξονα της σήραγγας.

Χαρακτηριστικές λειτουργίες του συστήματος SLS – T APD είναι,

- Υπολογισμός θέσης TBM EPB με γραφικά και αριθμητικά δεδομένα.
- Υπολογισμός και ένδειξη ανυψωμένων δακτυλίων και εμφάνιση θέσης δακτυλίων μετά την ανύψωση
- Υπολογισμός και ένδειξη γενική κατεύθυνσης TBM EPB
- Υπολογισμός διορθωτικής καμπύλης που επιστρέφει το TBM στην πορεία σχεδιασμού
- Προκαταρκτικός υπολογισμός των τμηματικών δακτυλίων προς εγκατάσταση
- Πλήρης τεκμηρίωση της κίνησης στη σήραγγα
- Ένδειξη επέκτασης σχεδιασμένων μοχλών για την προώθηση στην υπολογισμένη διορθωτική καμπύλη
- Πλήρης λειτουργία μέσω Η/Υ
- Υπολογισμός DTA
- Αυτοέλεγχος εφεδράνου λέιζερ (έλεγχος αζιμούθιου)
- Κατευθυνόμενη αλλαγή σταθμού λέιζερ κατά την ανύψωση των δακτυλίων

Τα στοιχεία από το TBM EPB και το δακτύλιο μετρώνται, παρέχοντας την δυνατότητα τεκμηρίωσης οποιαδήποτε στιγμή.

Επιπλέον, όλες οι παράμετροι TBM καταγράφονται αυτόματα από το σύστημα παρακολούθησης και μετάδοσης δεδομένων TBM, το PLC. Πρόκειται για ένα πρότυπο σύστημα υιοθετημένο από την κατασκευάστρια εταιρία, όπου

- καταγράφει τις ενέργειες και τα συμβάντα του TBM σε όρους mV ή/και mA εφόσον το PLC είναι αναλογικό, σε όρους αληθές / ψευδές αν είναι ψηφιακό
- όλα τα δεδομένα οπτικοποιούνται στην κύρια καμπίνα
- τα δεδομένα μεταφέρονται, εν συνεχεία, στο κύριο γραφείο καταγράφονται και οπτικοποιούνται ξανά
- τα δεδομένα μορφοποιούνται και εξάγονται σε excel και άλλες μορφές
- όλα τα δεδομένα της εκκαφής διατίθενται σε άλλους φορείς

3.3.12 Σύστημα Υποστήριξης του EPB

Το σύστημα υποστήριξης (BUS) αποτελεί μια δομή ανοικτού καταστρώματος με ρόδες, το οποίο έλκεται από την ασπίδα TBM.

Τα ικριώματα του συστήματος υποστήριξης προσαρμόζονται σε τροχούς (8 τροχοί/ικριώμα, \varnothing 400 mm) που κινούνται σε σιδηροτροχιές και είναι εξοπλισμένα με διαβάσεις επικοινωνίας, κιγκλιδώματα και σκάλες για την εξασφάλιση της ασφαλούς και εύκολης λειτουργίας του ίδιου του συστήματος και της κίνησης του εργαζόμενου προσωπικού. Όλες οι διατάξεις και ο εξοπλισμός που χρειάζεται για την λειτουργία του TBM εγκαθίσταται στα 8 ικριώματα του συστήματος υποστήριξης. Σε κάθε περίπτωση όλα τα στοιχεία εξοπλισμού τοποθετούνται έτσι που αφήνουν ελεύθερο χώρο ικανό για τη δέσμη λείζερ του συστήματος καθοδήγησης.



Εικόνα 15 Σύστημα υποστήριξης TBM

Το σύστημα BUS επιτρέπει την εύκολη συντήρηση σε όλα τα στοιχεία της σήραγγας, τα οποία είναι τοποθετημένα σε κάθε κατάστρωμα με δικό τους πλαίσιο. Πλεονέκτημα του συστήματος είναι ο σύντομος χρόνος συναρμολόγησης-αποσυναρμολόγησης διευκολύνοντας την μεταφορά και επιτυγχάνοντας την μείωση του κόστους μεταφοράς.

Το σύστημα BUS αποτελείται κυρίως από:

- την περιοχή διασύνδεσης για την τροφοδότηση του ανυψωτήρα με στοιχεία (ιμάντες μεταφοράς 1^{ος} με τον 2^ο)
- 2 καταστρώματα για φόρτωση & μεταφορά των στοιχείων
- 7 καταστρώματα για την φιλοξενία του συνολικού εξοπλισμού για την λειτουργία των ασπίδων EPB

Αναλυτικότερα, ένα τυπικό σύστημα υποστήριξης (BUS) είναι εφοδιασμένο με,

- Το σύστημα μεταφοράς της υποστήριξης που κινείται με ρόδες πάνω σε τροχιά.
- Κατάστρωμα με σύστημα μονής τροχιάς για εκφόρτωση των στοιχείων της επένδυσης και των άλλων υλικών που χρειάζονται.
- Γερανό για την εκφόρτωση και μεταφορά των στοιχείων της επένδυσης και των άλλων υλικών από τα οχήματα παράδοσης στον τροφοδοτικό μεταφορικό μεταλλικό διάδρομο.
- Χώρους αποθήκευσης με τα αντίστοιχα δίκτυα των πρόσθετων ρυθμιστικών παραγόντων .
- Σύστημα αντλιών τσιμεντοκονιάματος με τα αντίστοιχα δίκτυα
- Σύστημα τροφοδοσίας λιπαντικού στη συρματοβουρτσα της ασπίδας.
- Υποδομή και σύνδεσης με τις επιφανειακές εγκαταστάσεις για τα παρακάτω:
 - Αερισμός,
 - Επικοινωνία
 - Σωλήνες αποστράγγισης,
 - Κεντρική παροχή ρεύματος,
 - Πεπιεσμένος αέρας,
 - Νερό ψύξης,
 - Ηλεκτρογεννήτρια.
- Εγκαταστάσεις για το προσωπικό : τουαλέτα, πλύσιμο, τραπεζαρία.
- Το σύστημα αερισμού του TBM αποτελείται από ένα υπέρ-τροφοδοτούμενο εξαεριστήρα στη σήραγγα.
- Ένα σύστημα ενδοεπικοινωνίας για το μηχάνημα και τηλεφωνικό δίκτυο
- Ένα σύστημα πυροπροστασίας και καταπολέμησης πυρκαγιάς
- Εξοπλισμό πρώτων βοηθειών.

Γενικά, όλα τα εξαρτήματα και οι εγκαταστάσεις του EPB είναι συμμορφωμένα με του Ευρωπαϊκούς κανονισμούς και είναι σχεδιασμένα για να λειτουργούν κάτω από τις ακόλουθες περιβαλλοντικές συνθήκες:

- | | |
|------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Θερμοκρασία Περιβάλλοντος | 40 βαθμοί |
| 2. Περιεχόμενη σκόνη | Ατμόσφαιρα υψηλά φορτισμένη με σκόνη |
| 3. Υγρασία | Μέχρι 85% σχετική υγρασία |

Το κύριο υδραυλικό σύστημα του EPB περιλαμβάνει,

- Οδήγηση της κοπτικής κεφαλής με ποικίλες ταχύτητες περιστροφής.
- Λειτουργίες αρθρωτών γρύλων.
- Ατέρμονα κοχλία.
- Ανελκυστήρα στοιχείων επένδυσης.
- Μεταφορικές ταινίες.
- Μεταλλικό Διάδρομο μεταφοράς στοιχείων επένδυσης.
- Βοηθητικές υποστηρικτικές λειτουργίες.

Όλα τα υδραυλικά συστήματα συμμορφώνονται με τους τεχνικούς κανονισμούς ISO. Τα ηλεκτρολογικά συστήματα είναι κατασκευασμένα σύμφωνα με τους κανονισμούς IEC.

Το βοηθητικό σύστημα γεννητριών του EPB υποστηρίζει τα ακόλουθα:

- Φωτισμό
- Αερο-συμπιεστή
- Σύστημα αντλιών κενού
- Σύστημα καταστολής πυρκαγιάς
- Σύστημα παρακολούθησης του περιβάλλοντος
- Επικοινωνίες
- PLC και σύστημα ελέγχου μηχανήματος

Ακολουθούν Αναλυτικοί Πίνακες Προδιαγραφών

(A) Μηχανήματος Ολομέτωπης Κόπης,

(B) Σήραγγας & Συστήματος Υποστήριξης

ΠΙΝΑΚΑΣ (Α) Προδιαγραφές Μηχανήματος Ολομέτωπης Κοπής

Στοιχείο	Περιγραφή	Ελάχιστη απαιτούμενη προδιαγραφή
1	ΓΕΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	
	Συνολικό μήκος εκσκαφής	m περίπου 8000
	Ελάχιστη οριζόντια ακτίνα	m 200 (160 για τη μελέτη)
	Ελάχιστη κατακόρυφη ακτίνα	m ±1250
	Μέγιστη κλίση σήραγγας	% 4,00%
2	ΤΜΗΜΑΤΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ	
	Αριθμός τεμαχίων	ποσότητα 5+1 βασικό (καθολικός δακτύλιος)
	Εξωτερική διάμετρος στοιχείου	m 5,90
	Εσωτερική διάμετρος στοιχείου	m 5,30
	Πάχος στοιχείου	m 0,3
	Μήκος στοιχείου	m 1,5
	Βάρος βαρύτερου στοιχείου	kg 4500
3	ΓΕΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΒΜ	
	Τύπος	EPBS (Ασπίδα Αντιστάθμισης Εδαφικής Πίεσης)
	Διάμετρος Εκσκαφής	m 6,19
	Ονομαστική Υπερεκσκαφή στην Ασπίδα	mm 10
	Συνολικό μήκος (Ασπίδα + Πίσω Μέρος)	m 10,2
	Ελάχιστη ακτίνα καμπύλης	m 160
	Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς	kW 2000
	Συνολικό βάρος (πλήρες ΤΒΜ)	t 330
	Βάρος Κοπτικής Κεφαλής χωρίς	t 41

	Βάρος Πρόσθιας Ασπίδας	t	59
	Βάρος διάταξης Κύριων Εφέδρων με κινητήρες	t	60
	Βάρος Ενδιάμεσης Ασπίδας (πλήρες)	t	83
	Βάρος Οπίσθιας Ασπίδας	t	22
	Βάρος Ανυψωτήρα Στοιχείων	t	21,5
	Βάρος Μεταφορέα με Ατέρμονα Κοχλία	t	30
4	ΚΟΠΤΙΚΗ ΚΕΦΑΛΗ	► TBM	
	Διάμετρος Διάνοιξης	mm	6190
	Αριθμός ακτίνων	ποσότητα	4+4
	Στατικά πτερύγια ανάμειξης	Ποσότητα	4
	Κίνηση	Τύπος	Υδραυλική κίνηση και επιλογή για VFD
	Ισχύς	kW	1200
	Ταχύτητα	rpm	0 έως 3,0 – αμφίδρομη
	Ροπή	kNm	5400@1,4 rpm
	Ροπή Απεμπλοκής	kNm	7280
	Κινητήρες	ποσότητα	9
	Τύπος		Πλανητικό Κιβώτιο 3 Σταδίων
	Κατασκευαστής		Hoesch Rothe Erde
	Στήριξη οδοντωτού τροχού	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Λόγος Ανοίγματος	%	42%
	Μέγιστη διάσταση ανοίγματος	mm	240
	Κοπτικά με ελάσματα	ποσότητα	
	Ακροφύσια Έγχυσης Εδάφους	Ποσότητα	5 (όλα ανεξάρτητα)
	Πίεση έγχυσης	bar	8/10
	Καθαρισμός ακροφυσίων	Τύπος	Από το Εσωτερικό της Κοπτικής Κεφαλής
	Πλάκες Φθοράς	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Περιγραφή Πλακών Φθοράς		50-60Rc Min 15mm (πλάκα με επένδυση καρβιδίου του χρωμίου & εξαρτήματα από καρβίδιο του βολφραμίου)
5	ΔΙΣΚΟΙ ΚΟΠΗΣ	► TBM	Κοπτική κεφαλή μαλακών εδαφών – δεν θα εγκατασταθούν δίσκοι κοπής
	Τύπος Δίσκου	Τύπος	-
	Στήριξη Δίσκου	Τύπος	-
	Τύπος Στερέωσης	Τύπος	-
	Ονομαστικό Διάκενο Δίσκου	mm	-
	Διάμετρος Τυπικού Δίσκου	mm	-
	Διάμετρος Κεντρικού Δίσκου	mm	-

	Όνομαστική Κατάταξη Δίσκου	kN	-
	Απόσταση Δίσκος/ Κεφαλή	mm	-
	Αριθμός δίσκων	ποσότητα	-
	Αριθμός Δίσκων Προφίλ	ποσότητα	-
5a	ΑΝΑΜΟΧΛΕΥΤΕΣ (κοπτικά με ελάσματα)	► TBM	
	Αναμοχλευτές	ποσότητα	80
	Τύπος αναμοχλευτών	Τύπος	Βαρέως Τύπου (Heavy Duty)
	Ανταλλαγή	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Φόρτωση από πίσω	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Δείκτες φθοράς	ποσότητα	6
5b	ΑΠΟΞΕΣΤΕΣ	► TBM	
	Αποξέστες (Κάδοι σωρού εδάφους)	Ποσότητα	8
	Τύπος αποξεστών	Τύπος	Βαρέως Τύπου (Heavy Duty)
5c	ΦΡΕΖΕΣ ΑΝΤΙΓΡΑΦΗΣ	► TBM	Για τη σχεδίαση των φρεζών αντιγραφής, βλέπε προσάρτημα Α
	Αριθμός Φρεζών Αντιγραφής (Δίσκων)	ποσότητα	2
	Διαδρομή	mm	40
5d	ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΚΟΠΗΤΗΡΑΣ ΡΥΓΧΟΥΣ	► TBM	
	Κεντρικός κοπήτης ρύγχους	ναι/όχι	ναι
	Φόρτωση από πίσω	ναι/όχι	ναι
	Δυνατότητα ανταλλαγής με δίσκο κοπής	ναι/όχι	ναι
6	ΚΥΡΙΟ ΕΦΕΔΡΑΝΟ	► TBM	
	Τύπος		Κύλινδρος 3 Σειρών
	Κατασκευαστής	Όνομα	Krupp Rothe Erde/SKF
	ζωή b10	h	>=10000
	Αναπόσπαστος μηχανισμός μετάδοσης		ΝΑΙ
	Λίπανση	Τύπος	Λάδι
	Προσεγγιστικό μέγεθος	Εξωτερική Διάμετρος/ πλάτος mm	3000
	Επιθεώρηση μηχανισμού μετάδοσης	Εγκατάσταση	πρόσβαση 150 mm
	Έλεγχος Εργοστασιακής Εγκατάστασης	Εταιρία	Από τον Κατασκευαστή του Εφέδρανου
7	ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗΣ	► TBM	
	Στοιχεία στεγανοποίησης	Τύπος	4 Μονό Χείλος
	Προμηθευτής	Όνομα	Merkel
	Ποσότητα	Εσωτερικά	2

		Εξωτερικά	3 + 1
	Πίεση σχεδιασμού	bar	10
	Λαβύρινθος εισόδου	ναι/όχι	ΝΑΙ (γράσο)
	Λιπανση		Γράσο-λάδι
	Αυτόματη Διακοπή Ασφαλούς Λειτουργίας	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Δυνατότητα αντικατάστασης στη Σήραγγα	ναι/όχι	ΝΑΙ
8	ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ	► TBM	
	Ισχύς	kW	70
	Μέγιστη Προωθητική Δύναμη	kN	43000 στα 350 bar
	Αριθμός Κυλίνδρων	Ποσότητα	16*2
	Διαστάσεις Κυλίνδρων	mm	380/300/2200
	Μέγιστη Εκκεντρότητα Ώθησης	mm	10
	Απόσταση μεταξύ ακμής επιθέματος και ακμής στοιχείου	mm	100
	Ομάδες Μεταβλητής Πίεσης	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Ανεξάρτητος Έλεγχος	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Μέγιστη Ταχύτητα Προώθησης (Όλοι οι κύλινδροι)	mm/min	130
	Μέγιστη Ταχύτητα Προώθησης (ομάδα)	mm/min	650
	Επιμηκυνσιόμετρο	Ποσότητα	4
9	ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΡΘΡΩΣΗΣ	► TBM	
	Μέθοδος		Ενεργός
	Θέση		Μπροστά
	Γωνία άρθρωσης	°	2°
	Ωθηση	kN	35600
	Αριθμός Κυλίνδρων	Ποσότητα	10
	Διαστάσεις Κυλίνδρων	mm	380/300/200
	Ελάχιστη διαδρομή	mm	200
	Ελάχιστη Ακτίνα	m	160
	Σύνδεση Πίεσης με PLC	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Ικανότητα Πίεσης Στεγανοποίησης	bar	5
10	ΕΜΠΡΟΣΘΙΑ ΑΣΠΙΔΑ	► TBM	
	Διάμετρος	mm	6170
	Πίεση Διαφράγματος (Λειτουργίας)	bar	5
	Στατικά πτερύγια ανάμειξης	Ποσότητα	3
	Έγχυση εδάφους στο διάφραγμα	Ποσότητα	4 (2 συνδεδεμένα)
	Έγχυση μπεντονίτη στο διάφραγμα	Ποσότητα	2
	Έγχυση μπεντονίτη εκτός της ασπίδας	Ποσότητα	4
	Διεισδύσεις	Ποσότητα	12
	Εφεδρικές Διεισδύσεις	Ποσότητα	Ελάχιστες 4 (50mm)
	Κεκλιμένα Διατρήματα Ελέγχου	Ποσότητα	4 @ 10 μοίρες (ή περιλαμβανόμενα

	Οριζόντια Δοκιμαστικά Διατρήματα (Μέτωπο)	Ποσότητα	2
	Βαλβίδα για την αφαίρεση του στρώματος αέρα	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Θυρίδα Προσωπικού	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Θυρίδα Υλικών	ναι/όχι	1 (ανεξάρτητη από Θυρίδα Προσωπικού)
	Κυμέλες EPB	Ποσότητα	6 (σε 3 διαφορετικά επίπεδα)
		οθόνη διαδρομής	ΝΑΙ
	Θύρα Διαφράγματος	Ποσότητα	1
		Πίεση Στεγανοποίησης (bar)	5
		οθόνη διαδρομής	ΝΑΙ
		Αλληλασφάλιση με κοχλία	ΝΑΙ
	Πρόσθετες πλάκες τριβής στον πυθμένα του κοχλία	ναι/όχι	ΝΑΙ
11	ΟΠΙΣΘΙΑ ΑΣΠΙΔΑ	► TBM	
	Μήκος	mm	4200
	Διάμετρος	mm	6150
	Πάχος	mm	50
	Στεγανοποίηση	ποσότητα/Τύπος	3
	Πίεση	bar	5
	Γραμμές τροφοδοσίας γράσου	Ποσότητα	12 ανά χώρο
		Διάμετρος (mm)	20
	Αντλίες γράσου	Ποσότητα	2
	Γραμμές τροφοδοσίας ενέματος	Ποσότητα	12 (περιλαμβάνονται 6 εφεδρικές)
		Τύπος	Αφαιρούμενη από το πίσω μέρος
	Αρθρωτή	ναι/όχι	ΝΑΙ (Υδραυλική)
	Κύλινδροι Άρθρωσης	ποσότητα	14
		Ωθηση kN	7147
		Διαμέτρημα/ Έμβολο mm	180/80
		διαδρομή	150
12	ΜΕΤΑΦΟΡΕΑΣ ΜΕ ΑΤΕΡΜΟΝΑ ΚΟΧΛΙΑ	► TBM	
	Ισχύς	kW	250
	Ταχύτητα	rpm	0 – 22
	Αναστρέψιμος	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Μέγιστη ροπή	kNm	240
	Μεταφορική ικανότητα	m ³ /h	288

Μέγεθος Ογκόλιθου	mm	240
Πίεση	bar	5
Εσωτερική Διάμετρος	mm	700
Κλίση	mm	630
Συνδέσεις Σωλήνα	Τύπος	Μηχανικά Επεξεργασμένα Μέτωπα με "Ο" Δακτύλιους Στεγανοποίησης
Πάχος Ατέρμονα Κοχλία	mm	220
Συνδέσεις Ατέρμονα Κοχλία	Τύπος	Ένα τεμάχιο ή καμπύλες spline βαρέως τύπου
Κίνηση	Τύπος	Υδραυλική Κίνηση από το Άκρο – Συνεχής Ισχύς
Μήκος	m	14,2
Διάρκεια Ζωής Εφέδρανου	h	15.000
Τηλεσκοπικός	ναι/όχι	ΝΑΙ (υδραυλικός)
Θύρες Διαφράγματος	ναι/όχι	ΝΑΙ
Τύπος Στεγανοποίησης	ποσότητα/Τύπος	3
Πλάκες Φθοράς	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Περιβλήμα Κοχλία	πάχος 15 mm
	Κλιμακτήρες	δυνατότητα αντικατάστασης ακμών 1/3 της απόστασης
	Οθόνες Περιβλήματος	-
Κυμέλες EPB	Ποσότητα	2 (είσοδος & έξοδος)
Είσοδοι/ Βαλβίδες Επεξεργασίας Εδάφους	Ποσότητα	4 (2 Συνδεδεμένες)
Πλάκες Επιθεώρησης	Ποσότητα	4
Θυρόφραγμα	Τύπος	Υδραυλικό
	Κλείσιμο Έκτακτης Ανάγκης	Συσσωρευτής (Αυτόματος) 12 δευτερολέπτων
13	ΑΝΥΨΩΤΗΡΑΣ	► TBM
Ισχύς	kW	45
Ροπή	kNm	150
Ταχύτητα	rpm	0-2
Τύπος	Τύπος	Περιστροφικός Δακτύλιος Κινούμενου Φορείου
Χρόνος Ανύψωσης Δακτυλίου	mins	15
Αφαίρεση δακτυλίου στο άκρο της οπίσθιας ασπίδας	ναι/όχι	ΝΑΙ
Περιστροφή	Μοίρες	220 μοίρες (+/-)
Κίνηση	Τύπος	Υδραυλική
	Ποσότητα	2
	Φρένα Ασφαλούς Λειτουργίας	ΝΑΙ (κάθε μονάδα)
	Διάρκεια ζωής (h)	10.000
Υποστήριξη	Τύπος	Σφαιρική/ Κυλινδρική

		Λίπανση	Αυτόματη (γράσο)
	Βαθμοί Ελευθερίας	Ποσότητα	6
	Λήψη Στοιχείου	Τύπος	Κενό
	Έλεγχος	Μέθοδος	Ασύρματος (Εφεδρικό Σύστημα)
	Καρούλι Καλωδίου	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Ηχητικό και Οπτικό Σήμα Συναγερμού	ναι/όχι	Περιστροφής, Αξονικές και Ακτινικές Κινήσεις
	Στερέωση Δοκιμαστικού Τρυπανιού	ναι/όχι	ΝΑΙ
14	ΘΥΡΙΔΑ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ	► TBM	
	Θέση	Θέση	Πάνω Ζώνη Ασπίδας/ πρόσθια ασπίδα
	Μέγεθος	Άτομο	4
	Πίεση	bar	5 bars εμπρόςθια θύρα (4 bars θυρίδα αέρα)
	Διαστάσεις	mm	1600
	Θυρίδα υλικών	ναι/όχι	ναι
15	ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	► TBM	
	Κοπτική Κεφαλή	kW	1200
	Ωθηση	kW	70
	Κοχλίας	kW	250
	Ανυψωτήρας	kW	45
	Άρθρωση	kW	55
	Ενέσεις	kW	36
	Ψύξη	kW	11
	Βοηθητικό	kW	50
	Διάφορα (εφεδρική εγκατάσταση)	kW	300
	Ηλεκτροκινητήρες	Μόνωση	Ελάχιστη κατά IP 55
		Κύριος Κινητήρας	Υδρόψυκτος
	Διακόπτες	Μόνωση	Ελάχιστη κατά IP 55
		Είσοδος Καλωδίων	Κάτω Μέρος Πινάκων
		Εφεδρική Ισχύς	380 v x 3 Ph (1 στα 100 Amp + 3 στα 50 Amp)
		Βολτόμετρο/ Αμπερόμετρο	ΝΑΙ (>5kW)
	Μετασχηματιστής (Θα διατεθεί από τον κατασκευαστή του TBM)	Μόνωση	IP 23 (ή ισοδύναμη)
		Τύπος	Ξηρός, αερόψυκτος, χυτή ρητίνη
		kva	2000
	Διακόπτης Αποσύνδεσης Υψηλής Τάσης	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Διόρθωση Συντελεστή Ισχύος	ναι/όχι	ΝΑΙ, > 0.9 Lag
	Εκκινήτες	Τύπος	>22kW Ήπια Εκκίνηση

	Έλεγχος PLC	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Υποδοχές	Ποσότητα	Μέσα στην Ασπίδα (400V, 3Ph, 50Hz, 16&32 Amp)
16	ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗΣ	► TBM	
	Τύπος	Προμηθευτής	VMT
	Προσανατολισμός Δακτυλίου	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Θεοδόλιχο Λέιζερ	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Καλώδιο Σήραγγας/Επιφάνειας	ναι/όχι	ΝΑΙ
17	ΚΑΜΠΙΝΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΧΕΙΡΙΣΤΗ	► TBM	
	Μέγεθος	Άτομα	4
	Θέση	Ζώνη	Μπροστινό Φορείο
	Κλιματιζόμενη	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Μονάδες CCTV	Ποσότητα	4 κάμερες
	Οθόνες CCTV	Ποσότητα	Ελάχιστο 2 Διπλές Οθόνες
	Καταγραφικό δεδομένων	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Σύστημα Διαχείρισης Δεδομένων	ναι/όχι	ΝΑΙ
	Οπτικές Οθόνες	Ρύθμιση προϊόντων εκσκαφής	Ανεξάρτητη
		Εγχυση ενέματος	Ανεξάρτητη
		Ιμάντας ζύγισης	Ανεξάρτητη
		Λειτουργία TBM	Ανεξάρτητη
18	ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ	► TBM	
	Τύπος		DRAEGER
	Αισθητήρες		7
	Αέρια	Τύπος	CH4, O2, CO, CO2, υδρογονάνθρακες
	Συναγερμοί	Τύπος	Ηχητικός/ Οπτικός με Επίπεδα Συναγερμού και Ενεργοποίησης
19	ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΕΜΑΤΟΣ	► TBM	
	Τύπος		ανάμειξη δύο συστατικών
	Αντλία εισπίεσης	τύπος	6+6 κοχλιωτές αντλίες
	Μεταφορική Ικανότητα	l/min	260
	Ισχύς	kW	45+9
	Πίεση	bar	σχεδίαση για 15 bar
20	ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	► TBM	
	Αφρός		
	Μεταφορική Ικανότητα	m ³ /h	170 m ³ /h
	Προμηθευτής		Herrennecht AG
	Αριθμός Μονάδων Αντλίας	Ποσότητα	10

	Πίεση	bar	>5
	Ισχύς	kW	2*7.5 KW
	Πολυμερές		
	Μεταφορική Ικανότητα	m ³ /h	0,3 m ³ /h σε ατμοσφαιρική πίεση
	Αριθμός Μονάδων Αντλίας	Ποσότητα	2
	Πίεση	bar	10
	Ισχύς	kW	1
21	ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΙΣΠΙΕΣΗΣ ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΗ	► TBM	
	Δεξαμενή	m ³	2
	Ικανότητα Αντλίας	m ³ /h	12
	Πίεση Αντλίας	bar	10
	Αυτόματη Εισπίεση στο Θάλαμο	ναι/όχι	ΝΑΙ (ελεγχόμενη από κυμέλες EPB)

ΠΙΝΑΚΑΣ (B) Προδιαγραφές Σήραγγας & Συστήματος Υποστήριξης

A	ΒΑΣΙΚΗ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ	
	Τύπος Μηχανήματος Διάνοιξης	Εξισορόπηση Εδαφικής Πίεσης (EPB)
	Τύπος Υποστήριξης	Πρότυπος (Modular Concept)
	Σχέδιο Αναφοράς	1T00CW396O108
	Καταστρώματα	8
	Ολικό Μήκος (από TBM οπίσθια ασπίδα)	86 m (περίπου)
	Αριθμός Δακτυλίων ανά Συρμό	1 Δακτύλιος (πρόοδος 1,5 m)
B	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΕΧΝΗΤΟΥ BUS	
1	ΡΥΜΟΥΛΚΟ BUS ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	
	Περιοχή διεπιφάνειας μεταξύ TBM & BUS	1 γέφυρα (εξοπλισμένη) 1 σύστημα τροφοδοσίας τμημάτων
	Εκφόρτωση τμημάτων	4 γρύλοι για εκφόρτωση τμημάτων
	Εξοπλισμός κριωμάτων υποστήριξης	2 (με ρόδες, πλατφόρμα και διαβάσεις)
	Σιδηροτροχιές θα τοποθετηθούν μπροστά από τα καταστρώματα υποστήριξης του εξοπλισμού ή μπροστά από τα καταστρώματα εκφόρτωσης των τμημάτων	
	Κατάστρωμα ανοιχτής εισόδου κινούμενο σε τροχούς για τα τμήματα	
	Επαρκείς αποκρουστήρες για την κατάλληλη τοποθέτηση του BUS /συρμού	
	Ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας μελέτης	160 m
	Ειδική περιοχή για τοποθέτηση κυρίως εξοπλισμού TBM	

2	ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ ΤΜΗΜΑΤΩΝ	
	Οχήματα Εκφόρτωσης Τμημάτων	Με υδραυλικούς κυλινδρους
	Μεταφορά τμημάτων στον ανυψωτήρα	Με γερανό
	Τύπος συστήματος ανασηκώματος τμημάτων	Σύστημα κενού
	Ταχύτητα μεταφοράς	1 m/s
3	ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ	
	Αντλία	1 τοποθετημένη στην περιοχή της ασπίδας
	Ταχύτητα ροής	Περίπου 50 l/s
	Κεφαλή πίεσης	0,5 bar
	Ηλεκτρική ισχύς	14 kW
4	ΚΑΜΠΙΝΑ ΧΕΙΡΙΣΤΗ	
	Καμπίνα Ελέγχου Χειριστή	
5	ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΚΟΝΣΟΛΕΣ	
	Μετασχηματιστή(ές)	
6	ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΤΒΜ	
	Υδραυλικά Συστήματα Τροφοδοσίας για τη Λειτουργία του ΤΒΜ	
	Ηλεκτρικοί πίνακες των συστημάτων τροφοδοσίας	
	Υδραυλικοί Σωλήνες από τα συστήματα τροφοδοσίας στο ΤΒΜ	
7	ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	
	Σύστημα εισπίεσης αφρού και πολυμερούς (αντλίες, μετρητές ροής, βαλβίδα, έλεγχος σωληνώσεων και σύνδεσης PLC)	
	Περιοχή αποθήκευσης δεξαμενών πολυμερούς και αφρού	
	Σύστημα εκφόρτωσης στις δεξαμενές πολυμερούς και αφρού	
8	ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΕΜΑΤΟΣ	
	Σύστημα εισπίεσης ενέματος δύο συστατικών (6 αντλίες για Α – υγρό, 6 αντλίες για Β – υγρό, μετρητές ροής, βαλβίδα, έλεγχος σωληνώσεων και σύνδεσης PLC)	
	Δεξαμενή για το Α – υγρό	1
	Χωρητικότητα	5 m ³
	Σύστημα Ανάμιξης	Με κολία
	Μεταφορά Α – υγρού στην δεξαμενή	Άντληση από την είσοδο στη δεξαμενή.
	Δεξαμενή για το Β – υγρό	1
	Χωρητικότητα	5 m ³
	Σύστημα Ανάμιξης	Με κολία
	Μεταφορά Β – υγρού στην δεξαμενή	Άντληση από την είσοδο στη δεξαμενή.
9	ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΗ	
	Σύστημα εισπίεσης μπεντονίτη (αντλία, μετρητές ροής, βαλβίδα, έλεγχος σωληνώσεων και σύνδεσης PLC)	
	Μονάδα παραγωγής Μπεντονίτη	1
	Αναμίκτης	1
	Αναδευτήρας	1
	Αντλία για την παράδοση μπεντονίτη στην δεξαμενή αποθήκευσης	1
	Δεξαμενή αποθήκευσης	1
	Χωρητικότητα	5 m ³

	Σύστημα Ανάμιξης	Με κοχλία
10	ΜΟΝΑΔΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ	
	Ηλεκτρική γεννήτρια πετρελαίου	
	Ηλεκτρική Ισχύς	
	Τάση	
	Συχνότητα	
	Καταλυτικός μεταλλάκτης με σιγαστήρα θορύβου, προστατευμένος από νερό	
11	ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΥΛΙΚΟΥ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	
	Ιμάντας Μεταφοράς no.1 (παραλαβή υλικού εκσκαφής από μεταφορέα με ατέρμονα κοχλία)	
	Τύπος	Υδραυλική Μετάδοση
	Μέγιστη Ικανότητα	600 t/h
	Πλάτος	800 mm
	Ταχύτητα	2,5 m/s (διπλής κατεύθυνσης)
	Μέγιστη Κλίση	12° από την οριζόντιο
	Μήκος	45 m (περίπου)
	Ηλεκτρική ισχύς	30 kw (περίπου)
	Πρότυπο μέγιστο μήκος	7,5 m
	Ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας	160 m
	Διακόπτες Έκτακτης Ανάγκης	ΝΑΙ
	Ιμάντας Μεταφοράς no.2 (κινητός ιμάντας μεταφοράς για την φόρτωση των οχημάτων υλικού εκσκαφής)	
	Τύπος	Υδραυλική Μετάδοση
	Μέγιστη Ικανότητα	600 t/h
	Πλάτος	800 mm
	Ταχύτητα	2,5 m/s (διπλής κατεύθυνσης)
	Μέγιστη κλίση	12° από την οριζόντιο
	Μήκος	20 m (περίπου)
	Ηλεκτρική ισχύς	20 kw (περίπου)
	Πρότυπο μέγιστο μήκος	2 m
	Ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας	160 m
	Διακόπτες Έκτακτης Ανάγκης	Ναι
12	ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	
	Πρωτεύων Αερισμός (εισερχόμενος από το εξωτερικό περιβάλλον)	
	Ταχύτητα ροής	22 m ³ /s (εκτιμώμενη)
	Αγωγός αερισμού	
	Διάμετρος	1,4 m
	Ικανότητα	150 m
	Ποσότητα	1 (+1 σε εφεδρεία)
	Σύστημα ανύψωσης και αλλαγής	No.4 ηλεκτρικός γερανός
	Δευτερεύων Αερισμός (ροή αέρα στο TBM κατά μήκος του συστήματος υποστήριξης)	
	Ταχύτητα ροής	22 m ³ /s (να ορισθεί)
	Ανεμιστήρας	Όχι απαραίτητα
	Αγωγοί αερισμού	2 γραμμές, διάμετρος 700 mm
13	ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ (όχι για υπερβαρικό	

	περιβάλλον)	
	Συμπιεστής	
	Ταχύτητα ροής	5 m ³ /min
	Μέγιστη πίεση	15 bar
	Ηλεκτρική ισχύς	40 kW
	Δεξαμενή Αέρα	1
	Χωρητικότητα	1 m ³
	Βαλβίδα ασφαλείας (15 bar)	περιλαμβάνεται
14	ΣΥΣΤΗΜΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	
	Βαρέως τύπου αδιάβροχα φώτα φθορίου	
	Στις διαβάσεις	30 lux
	Στις περιοχές εργασίας	300 lux
	Έκτακτης ανάγκης	2 h
15	ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ	
	Σύστημα φωνητικής επικοινωνίας	6
16	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΝΕΡΟΥ	
	Δεξαμενή βιομηχανικού νερού	1
	Χωρητικότητα	4 m ³
	Αντλίες	
	Δεξαμενή πίεσης παροχής νερού	1
	Χωρητικότητα	1 m ³
17	ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΓΡΑΜΜΩΝ ΣΗΡΑΓΓΑΣ	
	Ρολό καλωδίου MV	1
	Αρχική τάση	11.000 V
	Ικανότητα	260 m
	Επαναδίπλωση	Πνευματικής Λειτουργίας
	Εύκαμπτο καλώδιο	Δεν περιλαμβάνεται στο BUS
	Ρολό μάνικας νερού	
	Ποσότητα	2
	Ικανότητα	30 m (να επιβεβαιωθεί)
	Διάμετρος μάνικας	4"
	Επαναδίπλωση	Ηλεκτροκινούμενο
	Μάνικα	
	Σωλήνας επέκτασης συμπιεσμένου αέρα	
	Η επέκταση των δύο γραμμών σωλήνωσης 6" εισπνεύσιμου συμπιεσμένου αέρα θα πραγματοποιηθεί μέσω δύο εύκαμπτων σωλήνων πάντα διαθέσιμων στο BUS να συνδεθούν με τις γραμμές της σήραγγας και τις γραμμές του BUS	
18	ΓΡΑΜΜΕΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	
	Εισπνεύσιμος συμπιεσμένος αέρας	2 γραμμές
	Τελικό στάδιο φιλτραρίσματος	περιλαμβάνεται
	Συμπιεσμένος αέρας για παροχές	1 γραμμή
	Βιομηχανικό νερό	1 γραμμή
	Νερό ψύξης	2 γραμμές
	Σήματα και έλεγχοι	Όπως απαιτείται
	Φωτισμός	1 γραμμή
	Γραμμές υψηλής τάσης με βύσματα	1 γραμμή

19	ΩΦΕΛΕΙΕΣ	
	Σύστημα πυροπροστασίας	περιλαμβάνεται
20	ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ	
	Ειδική περιοχή για κινητό μηχανολογικό και ηλεκτρολογικό εργαστήριο	
21	ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ	
	Ειδική περιοχή για αποθήκευση των κυρίως αναλώσιμων όπως <ul style="list-style-type: none"> - Λάδια και γράσο (12 ωρών ρεζερβουάρ) - Εργαλεία κοπής - Βλήτρα και εξαρτήματα των τμημάτων της σήραγγας - Σιδηροτροχιές σήραγγας (6 m μήκος) και στερέωση - Συντελεστές ρύθμιση προϊόντων εκσκαφής - ΤΒΜ συσχετιζόμενες απαιτήσεις - Ηλεκτρικοί και /ή χειροκίνητοι γερνοί για χειρισμό κυρίως αναλώσιμων 	

4 Μετρήσεις καθιζήσεων

4.1: Σύστημα γεωμηχανικής και δομητικής παρακολούθησης τμήματος Αγία Σοφία έως Σταθμό Σιντριβάνι

Τα όργανα που εκτιμάται να εγκατασταθούν για την παρακολούθηση των εργασιών κατασκευής του μεσοδιαστήματος μεταξύ «σταθμού Αγίας Σοφίας – σταθμού Σιντριβάνι» συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα. Σημειώνεται ότι ο πίνακας είναι ενδεικτικός.

Θέση τοποθέτησης	Τύπος οργάνων	Ποσότητα	Ονοματολογία
Κατασκευές έργου	3D στόχοι (δύο σήραγγες)	204	TETD
	Κυψέλες πίεσης	20	TETU2511 - 2515 TETU2521 - 2525 TETU6211 - 6215 TETU6221 - 6225
	Μετρητές παραμόρφωσης	40	TETG2511 – 25110 TETG2521 – 25210 TETG6211 - 62110 TETG6221 - 62210
Έδαφος	Αυτόματα κλισιόμετρα	2	TETF21 TETF31

	Αυτόματα εκτασιόμετρα	24	TETE216 TETE334 TETE217 TETE535 TETE521 TETE341 TETE322 TETE442 TETE523 TETE343 TETE324 TETE444 TETE525 TETE445 TETE226 TETE346 TETE227 TETE447 TETE631 TETE448 TETE632 TETE236 TETE533 TETE537
	Χωροσταθμικές ακίδες	1100	TETS
	3D στόχοι	124	TETD396 -520
	Πιεζόμετρα	13	TETP21 TETP29 TETP22 TETP30 TETP23 TETP31 TETP24 TETP32 TETP26 TETP33 TETP27 TETP34 TETP28
Κτίρια	Χωροσταθμικές ακίδες	500	TETS
	3D στόχοι*	395	TETD1 - 395
	Ρωγμόμετρα γραμμικά μίας διεύθυνσης*	8	TETK1- TETK8

	Συνολικοί σταθμοί	10	
--	-------------------	----	--

4.1.2 Τιμές καθίζησης για επιφυλακή και συναγερμό

Με αναφορά στους υπολογισμούς που περιγράφονται στην τεχνική έκθεση 1T05CW396C923B_GR, έχουν χρησιμοποιηθεί οι παρακάτω τιμές επιφυλακής και συναγερμού για τις εδαφικές παραμορφώσεις στο επίπεδο του εδάφους, σύμφωνα με τις προδιαγραφές των Άρθρων 2 και 13 των Προδιαγραφών μελετών και επιδόσεων για έργα Πολιτικού Μηχανικού, του Άρθρου 20 των Προδιαγραφών Υλικών και Εργασιών για έργα Πολιτικού Μηχανικού και των Διευκρινιστικών Εγγράφων.

Οι καθιζήσεις στο επίπεδο εδάφους, καταγράφεται κατά τη διάρκεια της κατασκευής σήραγγας, θα πρέπει να συγκριθούν με τις παρακάτω τιμές.

Διέλευση του	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
TBM 1	10 mm	15 mm
TBM 2	18 mm	24 mm

Οι καθιζήσεις κτιρίων / κατασκευών καθορίζονται με αναφορά στην Παράγραφο 13.2.4 των Προδιαγραφών μελετών και επιδόσεων για έργα Πολιτικού Μηχανικού.

Στους παρακάτω πίνακες, καθορίζονται οι τιμές επιφυλακής και συναγερμού και οι οριακές τιμές παραμόρφωσης για κάθε εξεταζόμενο κτίριο στην περιοχή επιρροής των σήραγγων TBM , όπως περιγράφεται στο εγκεκριμένο έγγραφο 1T05CW396B911A «Μελέτη Ειδικής Τρωτότητας και Σχετικής Επικινδυνότητας για Κτίρια και Κατασκευές – Επίπεδο Ι – Σήραγγες TBM από σταθμό Αγίας Σοφίας έως σταθμό Σιντριβάνι».

	STREET-NUMBER	BUILDING CODE	TRIGGER LIMIT FOR SETTLEMENTS (mm)	TRIGGER LIMIT FOR ANGULAR DISTORTION	ALARM LIMIT FOR SETTLEMENTS (mm)	ALARM LIMIT FOR ANGULAR DISTORTION
1	Agias Sofias, 48	ASF48	18	1/800	24	1/600
2	Egnatia, 106	E106	18	1/800	24	1/600
3	Prasakaki, 15	PRS15	18	1/800	24	1/600
4	Prasakaki, 12	PRS12	10	1/1000	15	1/800
5	Egnatia, 112	E112	10	1/1000	12	1/1000
6	Stefanou Tatti, 12	ST12	18	1/800	24	1/600
7	Egnatia, 116	E116	10	1/1000	15	1/800
8	Egnatia, 118	E118	10	1/1000	15	1/800
9	Egnatia, 120	E120	18	1/800	24	1/600
10	Egnatia, 122	E122	10	1/1000	15	1/800
11	Egnatia, 124	E124	10	1/1000	15	1/800
12	Egnatia, 126	E126	18	1/800	24	1/600
13	Egnatia, 128	E128	10	1/1000	15	1/800
14	Egnatia, 130	E130	10	1/1000	15	1/800
15	Egnatia, 132	SC13	10	1/1000	12	1/1000
16	Egnatia, 134	E134	10	1/1000	15	1/800
17	Egnatia, 136	E136	10	1/1000	15	1/800
18	Egnatia, 138	E138	10	1/1000	15	1/800
19	Egnatia, 140	CHMS	10	1/1000	15	1/800
20	Egnatia, 142	E142	10	1/1000	15	1/800
21	Egnatia, 144	E144	10	1/1000	15	1/800
22	Dimitriou Gounari, 41	DG41	10	1/1000	15	1/800
23	Dimitriou Gounari, 48	DG48	10	1/1000	15	1/800
24	Egnatia, 148	CHIK	10	1/1000	15	1/800
25	Egnatia, 150	E150	10	1/1000	15	1/800
26	Egnatia, 152	E152	18	1/800	24	1/600
27	Egnatia, 73	E73	18	1/800	24	1/600
28	Egnatia, 75	E75	18	1/800	24	1/600
29	Egnatia, 77	E77	18	1/800	24	1/600
30	Egnatia, 79	E79	18	1/800	24	1/600

	STREET-NUMBER	BUILDING CODE	TRIGGER LIMIT FOR SETTLEMENTS (mm)	TRIGGER LIMIT FOR ANGULAR DISTORTION	ALARM LIMIT FOR SETTLEMENTS (mm)	ALARM LIMIT FOR ANGULAR DISTORTION
31	Egnatia, 81	E81	18	1/800	24	1/600
32	Egnatia, 81A	E81A	18	1/800	24	1/600
33	Egnatia, 83	E83	10	1/1000	15	1/800
34	Egnatia, 85	E85	18	1/800	24	1/600
35	Egnatia, 87	CHAA	10	1/1000	12	1/1000
36	Egnatia, 87	CHAAB	18	1/800	24	1/600
37	Sokratous, 2 Egnatia, 87	SKR2	10	1/1000	15	1/800
38	Egnatia, 89	E89	10	1/1000	15	1/800
39	Egnatia, 91	E91	18	1/800	24	1/600
40	Egnatia, 93	E93	10	1/1000	15	1/800
41	Egnatia, 95	E95	10	1/1000	15	1/800
42	Egnatia, 97	E97	18	1/800	24	1/600
43	Exadaktilou, 1 Egnatia, 99	EX1	10	1/1000	15	1/800
44	Egnatia, 101	E101	18	1/800	24	1/600
45	Egnatia, 103	E103	18	1/800	24	1/600
46	Egnatia, 105	E105	18	1/800	24	1/600
47	Egnatia, 107	E107	18	1/800	24	1/600
48	Egnatia, 109A	E109A	18	1/800	24	1/600
49	Egnatia, 109	E109	10	1/1000	12	1/1000
50	Egnatia, 111	E111	10	1/1000	15	1/800
51	Egnatia, 113	E113	10	1/1000	15	1/800
52	Egnatia, 115	E115	10	1/1000	15	1/800
53	Egnatia, 117	E117	10	1/1000	15	1/800
54	Egnatia, 119	E119	18	1/800	24	1/600
55	Egnatia, 121	E121	10	1/1000	15	1/800
56	Egnatia, 123	E123	10	1/1000	15	1/800
57	Egnatia, 123-125	CHPD	10	1/1000	15	1/800
58	Egnatia, 125	E125	10	1/1000	15	1/800
59	Egnatia, 127	E127	18	1/800	24	1/600

Έχουν χρησιμοποιηθεί οι παρακάτω οριακές τιμές επιφυλακής και συναγερμού, και οι τιμές παραμόρφωσης.

Ευαίσθητο κτήριο και κατασκευή

Παραμόρφωση, καταπόνηση, ρηγμάτωση κ.λ.π.	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Εύρος συνολικής καθίζησης	2.0 mm/ημέρα	3.0 mm/ημέρα
Εύρος ανοίγματος ρωγμών	0.5 mm/ημέρα	1.0 mm/ημέρα

Άλλα κτίρια, δρόμοι και πεζοδρόμια ή δίκτυα ΡΥΟ

Παραμόρφωση, καταπόνηση, ρηγμάτωση κ.λ.π.	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Εύρος συνολικής καθίζησης	3.0 mm/ημέρα	4.0 mm/ημέρα
Εύρος ανοίγματος ρωγμών	0.5 mm/ημέρα	1.0 mm/ημέρα

Σύμφωνα με την παράγραφο 20.3.3.1 των Προδιαγραφών Υλικών και εργασιών για έργα Πολιτικού Μηχανικού και τα Διευκρινιστικά Έγγραφα, σχετικά με τις παραμορφώσεις του εδάφους επάνω από τον άξονα των σιδηρόδρομων, καθορίζονται οι παρακάτω τιμές επιφυλακής και συναγερμού για τις ράβδους των εκτασιόμετρων στον εξεταζόμενο μεσοδιάστημα.

ΤΕΤΕ 322-324-226-227 – Παραμορφώσεις εδάφους (επάνω από τον άξονα των σιδηρόδρομων) μετά τη διέλευση του TBM 1

Ράβδος από στέψη σήραγγας επάνω από τη σήραγγα Τροχιάς 1	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Πρώτη ράβδος	5 mm	6 mm
Δεύτερη ράβδος	3 mm	4 mm
Τρίτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm

Ράβδος από στέψη σήραγγας	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Πρώτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Δεύτερη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Τρίτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm

* μόνο TETE 322-324

**TETE 322-324-226-227 – Παραμορφώσεις εδάφους (επάνω από τον άξονα των
σηράγγων) μετά τη διέλευση του TBM 2**

Ράβδος από στέψη σήραγγας επάνω από τη σήραγγα Τροχιάς 1	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Πρώτη ράβδος	6 mm	7 mm
Δεύτερη ράβδος	5 mm	6 mm
Τρίτη ράβδος	3 mm	4 mm
Ράβδος από στέψη σήραγγας επάνω από τη σήραγγα Τροχιάς 2	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Πρώτη ράβδος	6 mm	7 mm
Δεύτερη ράβδος	5 mm	6 mm
Τρίτη ράβδος	3 mm	4 mm

* μόνο TETE 322-324

ΤΕΤΕ 632-334 – Παραμορφώσεις εδάφους (επάνω από τον άξονα των σηράγγων) μετά τη διέλευση του ΤΒΜ 1

Ράβδος από στέψη	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Πρώτη ράβδος	4 mm	5 mm
Δεύτερη ράβδος	3 mm	4 mm
Τρίτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Τέταρτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Πέμπτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Έκτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Ράβδος από στέψη	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Πρώτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Δεύτερη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Τρίτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Τέταρτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Πέμπτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Έκτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm

* μόνο ΤΕΤΕ 632

ΤΕΤΕ 632-334 – Παραμορφώσεις εδάφους (επάνω από τον άξονα των σηράγγων) μετά τη διέλευση του ΤΒΜ 2

Ράβδος από στέψη σήραγγας επάνω από τη σήραγγα Τροχιάς 1	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Πρώτη ράβδος	4 mm	5 mm
Δεύτερη ράβδος	4 mm	5 mm

Τρίτη ράβδος	3 mm	4 mm
Τέταρτη ράβδος	3 mm	4 mm
Πέμπτη ράβδος	3 mm	4 mm
Έκτη ράβδος	3 mm	4 mm
Ράβδος από στέψη σήραγγας επάνω από τη σήραγγα Τροχιάς 2	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Πρώτη ράβδος	5 mm	6 mm
Δεύτερη ράβδος	4 mm	5 mm
Τρίτη ράβδος	4 mm	5 mm
Τέταρτη ράβδος	4 mm	5 mm
Πέμπτη ράβδος	3 mm	4 mm
Έκτη ράβδος	3 mm	4 mm

* μόνο TETE 632

TETE 343 – Παραμορφώσεις εδάφους (επάνω από τον άξονα των σηράγγων) μετά τη διέλευση του TBM 1

Ράβδος από στέψη	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Πρώτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Δεύτερη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Τρίτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Ράβδος από στέψη	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Πρώτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Δεύτερη ράβδος	Δ/Υ	3 mm

Τρίτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
--------------	-----	------

ΤΕΤΕ 343 – Παραμορφώσεις εδάφους (επάνω από τον άξονα των σιδηρών) μετά τη διέλευση του TBM 2

Ράβδος από στέψη σιδηρών επάνω από τη σιδηρά Τροχιά 1	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερού
Πρώτη ράβδος	3 mm	4 mm
Δεύτερη ράβδος	3 mm	4 mm
Τρίτη ράβδος	3 mm	4 mm
Ράβδος από στέψη σιδηρών επάνω από τη σιδηρά Τροχιά 2	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερού
Πρώτη ράβδος	3 mm	4 mm
Δεύτερη ράβδος	3 mm	4 mm
Τρίτη ράβδος	3 mm	4 mm

ΤΕΤΕ 216-217-537-236 – Παραμορφώσεις εδάφους (επάνω από τον άξονα των σιδηρών) μετά τη διέλευση του TBM 1

Ράβδος από στέψη σιδηρών	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερού
Πρώτη ράβδος	4 mm	5 mm
Δεύτερη ράβδος	3 mm	4 mm
Τρίτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Τέταρτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Πέμπτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Ράβδος από στέψη σιδηρών επάνω από τη σιδηρά Τροχιά 2	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερού

Πρώτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Δεύτερη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Τρίτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Τέταρτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Πέμπτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm

* μόνο TETE 537

TETE 216-217-537-236 – Παραμορφώσεις εδάφους (επάνω από τον άξονα των σήραγγων) μετά τη διέλευση του TBM 2

Ράβδος από στέψη σήραγγας επάνω από τη σήραγγα Τροχιάς 1	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Πρώτη ράβδος	5 mm	6 mm
Δεύτερη ράβδος	4 mm	5 mm
Τρίτη ράβδος	3 mm	4 mm
Τέταρτη ράβδος	3 mm	4 mm
Πέμπτη ράβδος	3 mm	4 mm
Ράβδος από στέψη σήραγγας επάνω από τη σήραγγα Τροχιάς 2	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Πρώτη ράβδος	5 mm	6 mm
Δεύτερη ράβδος	4 mm	5 mm

Τρίτη ράβδος	3 mm	4 mm
Τέταρτη ράβδος	3 mm	4 mm
Πέμπτη ράβδος	3 mm	4 mm

* μόνο TETE 537

TETE 447 – Παραμορφώσεις εδάφους (επάνω από τον άξονα των σηράγγων) μετά τη διέλευση του TBM 1

Ράβδος από στέψη σήραγγας	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Πρώτη ράβδος	3 mm	4 mm
Δεύτερη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Τρίτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Τέταρτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Ράβδος από στέψη	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Πρώτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Δεύτερη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Τρίτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm
Τέταρτη ράβδος	Δ/Υ	3 mm

TETE 447 – Παραμορφώσεις εδάφους (επάνω από τον άξονα των σηράγγων) μετά τη διέλευση του TBM 2

Ράβδος από στέψη σήραγγας επάνω από τη σήραγγα Τροχιάς 1	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Πρώτη ράβδος	3 mm	4 mm
Δεύτερη ράβδος	3 mm	4 mm

Τρίτη ράβδος	3 mm	4 mm
Τέταρτη ράβδος	3 mm	4 mm
Ράβδος από στέψη σήραγγας επάνω από τη σήραγγα Τροχιάς 2	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Πρώτη ράβδος	4 mm	5 mm
Δεύτερη ράβδος	3 mm	4 mm
Τρίτη ράβδος	3 mm	4 mm
Τέταρτη ράβδος	3 mm	4 mm

Οι παραπάνω τιμές αναφέρονται στη συνολική μετακίνηση (θα πρέπει να παρακολουθηθεί το επίπεδο της κεφαλής των εκτασιόμετρων).

Οι τιμές έχουν καθοριστεί με βάση τα πραγματικά μήκη των ράβδων με αναφορά στα αποτελέσματα των υπολογισμών που πραγματοποιήθηκαν.

Οι οριακές τιμές αναφέρονται στη διέλευση καθενός TBM κάτω από το εξεταζόμενο εκτασιόμετρο, καθώς η επίδραση των TBM μεταξύ τους είναι αμελητέα.

4.2 Σύστημα γεωμηχανικής και δομητικής παρακολούθησης στο τμήμα Συντριβάνι έως Πανεπιστήμιο

Παρακάτω, γίνεται σύντομη περιγραφή του συστήματος γεωμηχανικής και δομητικής παρακολούθησης για τις υπόγειες εργασίες του Μετρό, καθώς και για κτίρια ή κατασκευές που έχει μελετηθεί για το εξεταζόμενο μεσοδιάστημα.

Μια περισσότερο αναλυτική περιγραφή περιλαμβάνεται στα έγγραφα 1T06CW415C901A και 1T06CW415C101A «Μεσοδιάστημα - Σταθμός Συντριβάνι – Σταθμός Πανεπιστήμιο – Μελέτη Εφαρμογής Γεωμηχανικής και Δομητικής Παρακολούθησης».

Η Μελέτη Εφαρμογής GSM αναφέρεται σε όλες τις διαδικασίες και ενέργειες που θα πρέπει να εκτελεστούν για την καταγραφή των επιπτώσεων των κατασκευαστικών εργασιών στο μεσοδιάστημα «Σταθμός Συντριβάνι – Σταθμός Πανεπιστήμιο» στα παρακείμενα κτίρια και τις κατασκευές.

Επιπλέον, αναφέρεται σε όλες τις διαδικασίες και ενέργειες που θα πρέπει να υλοποιηθούν για την καταγραφή της συμπεριφοράς των κατασκευών του έργου, με σκοπό να εξασφαλίσει την επιτυχή υλοποίηση σύμφωνα με τους όρους ασφάλειας και ποιότητας.

Τα όργανα που εκτιμάται να εγκατασταθούν για την παρακολούθηση των εργασιών κατασκευής του μεσοδιαστήματος μεταξύ «Σταθμού Συντριβάνι – Σταθμού Πανεπιστήμιο» συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα. Σημειώνεται ότι ο πίνακας είναι ενδεικτικός.

Θέση τοποθέτησης	Τύπος οργάνων	Ποσότητα	Ονοματολογία
Κατασκευές έργου	3D στόχοι (δύο σήραγγες)	180	TFTD - TGTD
	Κυψέλες πίεσης	40	TFTU7811 – 7815 TFTU7821 – 7825 TGTU9011 – 9015 TGTU9021 – 9025 TGTU4011 – 4015 TGTU4021 – 4025

	Μετρητές παραμόρφωσης	80	TFTG7811 – 78110 TFTG7821 – 78210 TFTG2911 – 29110 TFTG2921 – 29210 TGTG9011 – 90110 TGTG9021 – 90210 TGTG4011 – 40110 TGTG4021 – 40210
Έδαφος	Αυτόματα κλισιόμετρα	7	TFTF21 TGTF11 TGTF12 TGTF13 TGTF21 TGTF31 TGTF41

	Αυτόματα μηκυνσιόμετρα	20	TGTE33 2 TGTE53 3 TFTE521 TGTE33 4 TFTE322 TGTE53 5 TFTE523 TGTE53 5 TFTE324 TFTE21 6 TFTE525 TGTE21 7 TGTE521 TGTE322 TFTE22 6 TGTE523 TFTE22 7 TGTE525 TFTE22 7 TGTE531 TGTE21 6 TGTE21 7
	Χωροσταθμικές ακίδες	310	TFTS - TGTS
	3D στόχοι	70	TFTD - TGTD

	Πιεζόμετρα	19	TFTP24 TFTP25 TFTP22 TFCP21 TFCP24 TFCR26 TFTC25H TFCP25L TGTP21 TGTP25	TGTP23 TGTP26 TGTP24 TGSP22 TGSP21 TGSP51 TGSP25 TGSP23 TGSP26
Κτίρια	Χωροσταθμικά σημεία	190	TFTS - TGTS	
	3D στόχοι*	294	TFTD - TGTD	
	Ρωγμόμετρα γραμμικά μίας διεύθυνσης *	3	TGTK1 - TGTK3	
	Συνολικοί σταθμοί	7		

4.2.1 Τιμές καθίζησης επιφυλακής και συναγερμού

Με αναφορά στους υπολογισμούς που περιγράφονται στην τεχνική έκθεση 1T06CW396C924B, έχουν χρησιμοποιηθεί οι παρακάτω τιμές επιφυλακής και συναγερμού για τις εδαφικές παραμορφώσεις στο επίπεδο της επιφάνειας, σύμφωνα με τις προδιαγραφές των Άρθρων 2 και 13 των Προδιαγραφών μελετών και επιδόσεων για έργα Πολιτικού Μηχανικού, του Άρθρου 20 των Προδιαγραφών Υλικών και Εργασιών για έργα Πολιτικού Μηχανικού και των Διευκρινιστικών Εγγράφων.

Οι καθιζήσεις στο επίπεδο εδάφους, που καταγράφονται κατά τη διάρκεια της κατασκευής σήραγγας, θα πρέπει να συγκριθούν με τις παρακάτω τιμές.

Διέλευση του	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
TBM 1	10 mm	15 mm
TBM 2	18 mm	24 mm

Οι καθιζήσεις κτιρίων / κατασκευών καθορίζονται με αναφορά στην παράγραφο 13.2.4 των Προδιαγραφών μελετών και επιδόσεων για έργα Πολιτικού Μηχανικού.

Στους παρακάτω πίνακες, καθορίζονται οι τιμές επιφυλακής και συναγερμού καθίζησης και οι οριακές τιμές γωνιακής παραμόρφωσης για κάθε εξεταζόμενο κτίριο στην περιοχή επιρροής των σηράγγων TBM, όπως περιγράφεται στο εγκεκριμένο έγγραφο 1T06CW396B912A «Μελέτη ειδικής Τρωτότητας και Σχετικής Επικινδυνότητας για Κτίρια και Κατασκευές – Επίπεδο Ι – Σήραγγες TBM από Σταθμό Σιντριβάνι έως Σταθμό Πανεπιστήμιο».

	STREET-NUMBER	BUILDING CODE	TRIGGER LIMIT FOR SETTLEMENTS (mm)	TRIGGER LIMIT FOR ANGULAR DISTORTION	ALARM LIMIT FOR SETTLEMENTS (mm)	ALARM LIMIT FOR ANGULAR DISTORTION
1	Aristotle Univ. Campus	U3	10	1/1000	15	1/800
2	Egnatia, 154	DEKD	10	1/1000	15	1/800
3	Aristotle Univ. Campus	UTS	10	1/1000	15	1/800
4	Aristotle Univ. Campus	UKD	10	1/1000	15	1/800
5	Aristotle Univ. Campus	UKDA	10	1/1000	15	1/800
6	Aristotle Univ. Campus	U10	10	1/1000	15	1/800
7	Aristotle Univ. Campus	U10a	10	1/1000	15	1/800
8	Aristotle Univ. Campus	U10b	10	1/1000	15	1/800
9	Aristotle Univ. Campus	U10c	10	1/1000	15	1/800
10	Aristotle Univ. Campus	U11	10	1/1000	15	1/800
11	Aristotle Univ. Campus	U9	10	1/1000	15	1/800
12	Aristotle Univ. Campus	U9a	10	1/1000	15	1/800
13	Aristotle Univ. Campus	U9b	10	1/1000	15	1/800
14	Aristotle Univ. Campus	U9c	10	1/1000	15	1/800
15	Aristotle Univ. Campus	U12	10	1/1000	15	1/800
16	Aristotle Univ. Campus	U12b	10	1/1000	15	1/800
17	Aristotle Univ. Campus	U12c	10	1/1000	15	1/800
18	Aristotle Univ. Campus	U12d	10	1/1000	15	1/800

Λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω οριακές τιμές επιφυλακής και συναγερμού, και οι τιμές παραμόρφωσης.

Ευαίσθητο κτήριο και κατασκευή

Παραμόρφωση, καταπόνηση, ρηγματώση κ.λ.π.	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Ρυθμός συνολικής καθίζησης	2.0 mm/ημέρα	3,0 mm/ημέρα
Ρυθμός ανοίγματος ρωγμών	0,5 mm/ημέρα	1,0 mm/ημέρα

Άλλα κτίρια, δρόμοι και πεζοδρόμια ή δίκτυα ΟΚΩ

Παραμόρφωση, καταπόνηση, ρηγματώση κ.λ.π.	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Ρυθμός συνολικής καθίζησης	3,0 mm/ημέρα	4,0 mm/ημέρα
Ρυθμός ανοίγματος ρωγμών	0,5 mm/ημέρα	1,0 mm/ημέρα

Σύμφωνα με την παράγραφο 20.3.3.1 των Προδιαγραφών Υλικών και Εργασιών για έργα Πολιτικού Μηχανικού και τα Διευκρινιστικά Έγγραφα, σχετικά με τις παραμορφώσεις του εδάφους επάνω από τον άξονα των σηράγγων, καθορίζονται οι παρακάτω τιμές επιφυλακής και συναγερμού για τις ράβδους των εκτασιόμετρων στο εξεταζόμενο μεσοδιάστημα.

TFTE322-324-216-217-226-227 – Παραμορφώσεις εδάφους (επάνω από τον άξονα των σηράγγων) μετά τη διέλευση του TBM 1

Ράβδος από στέψη σήραγγας επάνω από τη σήραγγα Τροχιάς 1	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Πρώτη ράβδος	4 mm	5 mm
Δεύτερη ράβδος	3 mm	4 mm
Τρίτη ράβδος*	3 mm	4 mm
Ράβδος από στέψη σήραγγας επάνω από τη σήραγγα Τροχιάς 2	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Πρώτη ράβδος	M/Δ	3 mm
Δεύτερη ράβδος	M/Δ	3 mm
Τρίτη ράβδος*	M/Δ	3 mm

* μόνο TFTE322-324

TFTE322-324-216-217-226-227 – Παραμορφώσεις εδάφους (επάνω από τον άξονα των σήραγγων) μετά τη διέλευση του TBM 2

Ράβδος από στέψη σήραγγας επάνω από τη σήραγγα Τροχιάς 1	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Πρώτη ράβδος	6 mm	7 mm
Δεύτερη ράβδος	5 mm	6 mm
Τρίτη ράβδος*	4 mm	5 mm
Ράβδος από στέψη σήραγγας επάνω από τη σήραγγα Τροχιάς 2	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Πρώτη ράβδος	6 mm	7 mm
Δεύτερη ράβδος	6 mm	7 mm
Τρίτη ράβδος*	5 mm	6 mm

* μόνο TFTE322-324

TGTE216-217-322-332-334 – Παραμορφώσεις εδάφους (επάνω από τον άξονα των σήραγγων) μετά τη διέλευση του TBM 1

Ράβδος από στέψη σήραγγας επάνω από τη σήραγγα Τροχιάς 1	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Πρώτη ράβδος	8 mm	9 mm
Δεύτερη ράβδος	5 mm	6 mm
Τρίτη ράβδος*	3 mm	4 mm
Ράβδος από στέψη σήραγγας επάνω από τη σήραγγα	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού

Τροχιάς 2		
Πρώτη ράβδος	N/A	3 mm
Δεύτερη ράβδος	N/A	3 mm
Τρίτη ράβδος*	N/A	3 mm

* μόνο TGTE322-332-334

TGTE216-217-322-332-334 – Παραμορφώσεις εδάφους (επάνω από τον άξονα των σήραγγων) μετά τη διέλευση του TBM 2

Ράβδος από στέψη σήραγγας επάνω από τη σήραγγα Τροχιάς 1	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Πρώτη ράβδος	9 mm	10 mm
Δεύτερη ράβδος	7 mm	8 mm
Τρίτη ράβδος*	5 mm	6 mm
Ράβδος από στέψη σήραγγας επάνω από τη σήραγγα Τροχιάς 2	Επίπεδο επιφυλακής	Επίπεδο συναγερμού
Πρώτη ράβδος	10 mm	11 mm
Δεύτερη ράβδος	7 mm	8 mm
Τρίτη ράβδος*	5 mm	6 mm

* μόνο TGTE322-332-334

Οι παραπάνω τιμές αναφέρονται στη συνολική μετακίνηση (θα πρέπει να παρακολουθείται το επίπεδο της κεφαλής των μηκυσιόμετρων).

Οι τιμές είναι έγκυρες είτε για τρεις (την πρώτη, τη δεύτερη και την τρίτη) είτε για δύο (την πρώτη και την δεύτερη) ράβδους μηκυσιόμετρων, καθώς έχουν καθοριστεί με βάση τα πραγματικά μήκη των ράβδων με αναφορά στα αποτελέσματα των υπολογισμών που πραγματοποιήθηκαν.

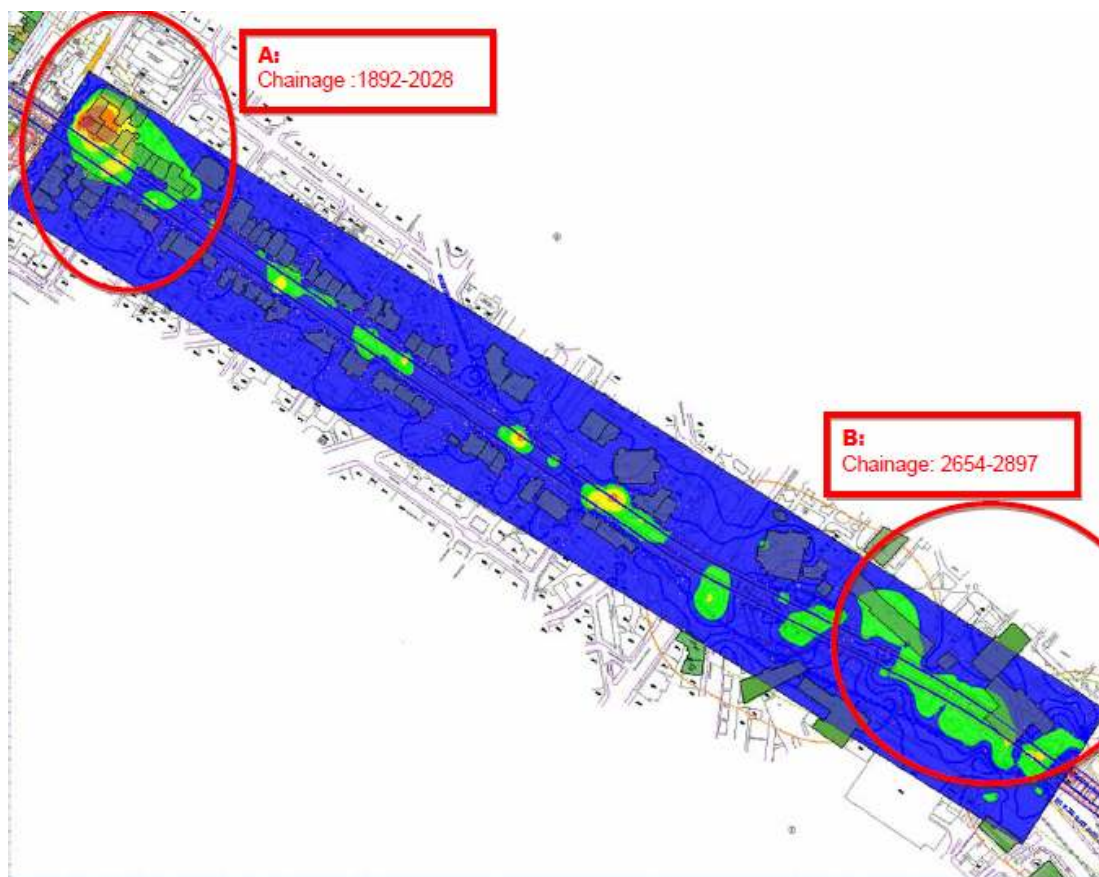
Οι οριακές τιμές αναφέρονται στη διέλευση καθενός TBM κάτω από το εξεταζόμενο μηκυσιόμετρο, καθώς η επίδραση των TBM μεταξύ τους είναι αμελητέα.

5 Καθιζήσεις κατά μήκος της χάραξης

Η υπό μελέτη περιοχή ορίζεται ως υποτμήμα 3 του τμήματος Α, εκ των συνολικά επτά υποτμημάτων τα οποία συνιστούν τα τρία τμήματα (Α, Β, και Γ) στα οποία έχει καταταμηθεί το σύνολο της χάραξης του ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.

Εκτείνεται από τον σταθμό Αγία Σοφία (Χ.Θ. 1+890.627) έως τον σταθμό Πανεπιστήμιο (Χ.Θ. 3+345.462) με ενδιάμεσο τον σταθμό Σιντριβάνι (Χ.Θ. 2+253.472).

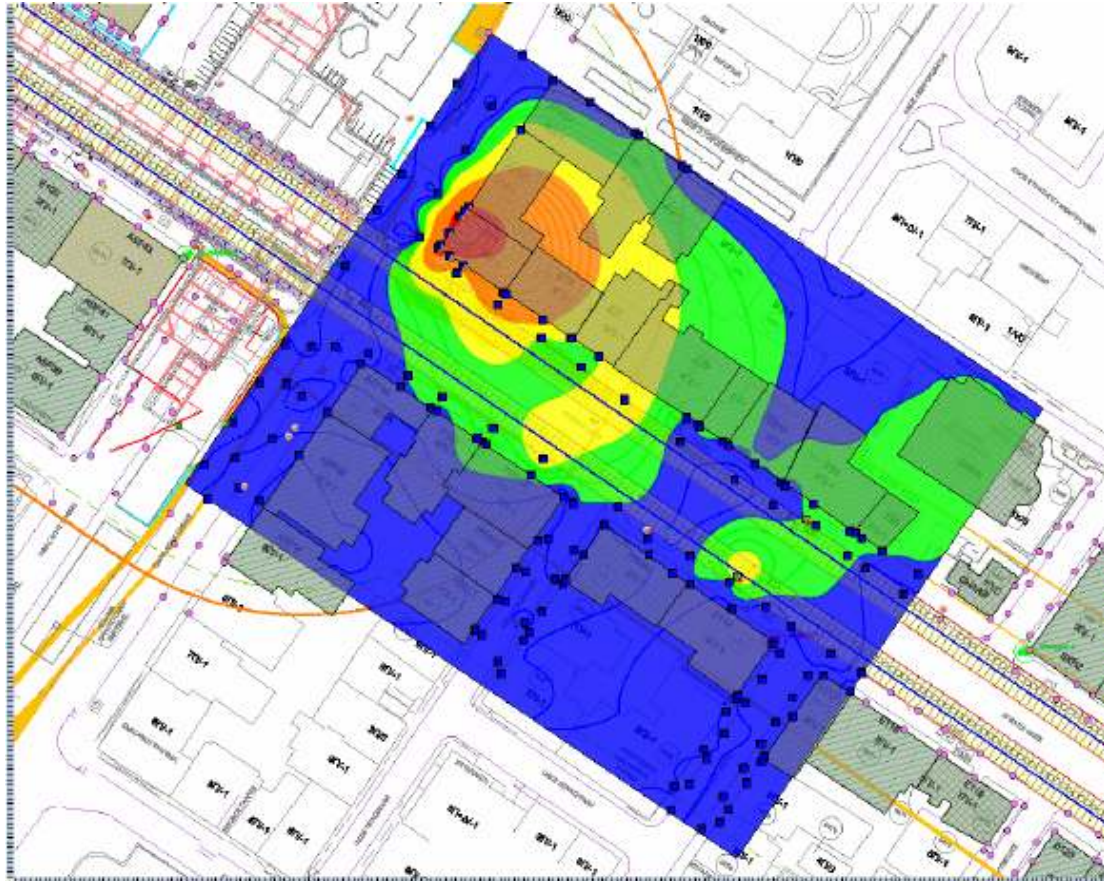
Σύμφωνα με την πρωτόλεια ανάλυση των τοπογραφικών δεδομένων μετά την διάνοιξη, στα επί τόπου τοποθετημένα χωροσταθμικά, οι καθιζήσεις στην περιοχή εντοπίζονται όπως στην παρακάτω οριζοντιογραφία (εικ.1).



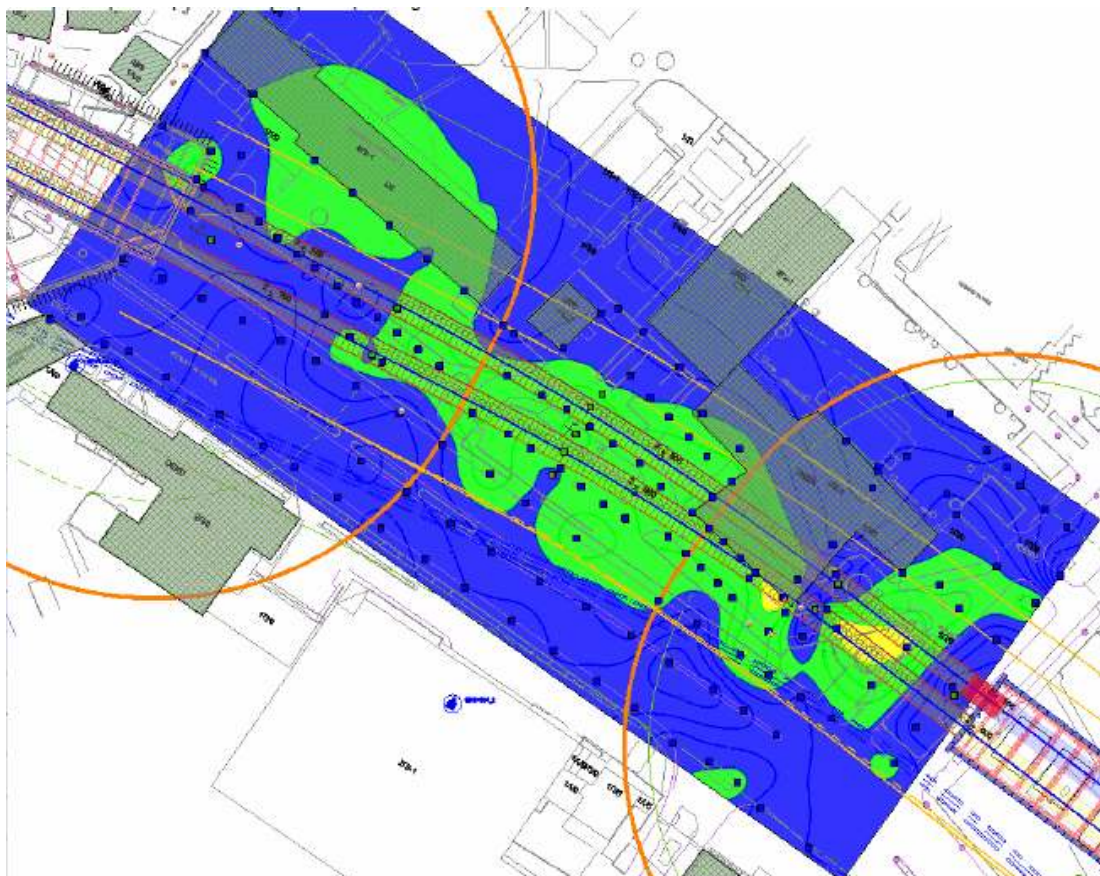
Εικ. 16: τοπογραφική αποτύπωση των καθιζήσεων στο τμήμα Αγία Σοφία Χ.Θ.1+892 έως Διασταύρωση Σιντριβάνι. Χ.Θ.2+897 (εικόνα: ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ Α.Ε.)

Σύμφωνα με την ως άνω οριζοντιογραφία ο τομέας εμφανίζει καθιζήσεις οι οποίες συγκεντρώνονται πλησίον του σταθμού Αγία Σοφία και της Διασταύρωσης Σιντριβάνι

αντίστοιχα και οι οποίες λεπτομερέστερα αποτυπώνονται στις παρακάτω μεγεθύνσεις (εικ.2 & εικ.3)



Εικ.17: μεγεθυμένη τοπογραφική αποτύπωση των καθιζήσεων στην περιοχή πλησίον σταθμού Αγία Σοφία Χ.Θ.1+892 (εικόνα: ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ Α.Ε.)



Εικ. 18 Μεγεθυμμένη τοπογραφική αποτύπωση των καθιζήσεων πλησίον Διασταύρωσης Σιντριβάνι Χ.Θ.2+897 (εικόνα: ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ Α.Ε.)

Θεωρώντας ότι και οι ενδιάμεσως μετρηθήσες καθιζήσεις χρήζουν ανάλυσης το υπομήμημα 3 διαιρέθηκε σε τέσσερεις περιοχές σύμφωνα με τις χιλιομετρήσεις στις οποίες εντοπίζονται "οικογένειες" χωροσταθμικών οι οποίες υποδεικνύουν την εμφάνιση λεκανών καθιζήσεων. Οι χιλιομετρήσεις των περιοχών αυτών είναι:

Χ.Θ.1907 έως Χ.Θ.2000, πλησίον σταθμού Αγία Σοφία

Χ.Θ.2340 έως Χ.Θ.2392

Χ.Θ.2400 έως Χ.Θ.2469

Χ.Θ.2830 έως Χ.Θ.2870 πλησίον Διασταύρωσης Σιντριβάνι

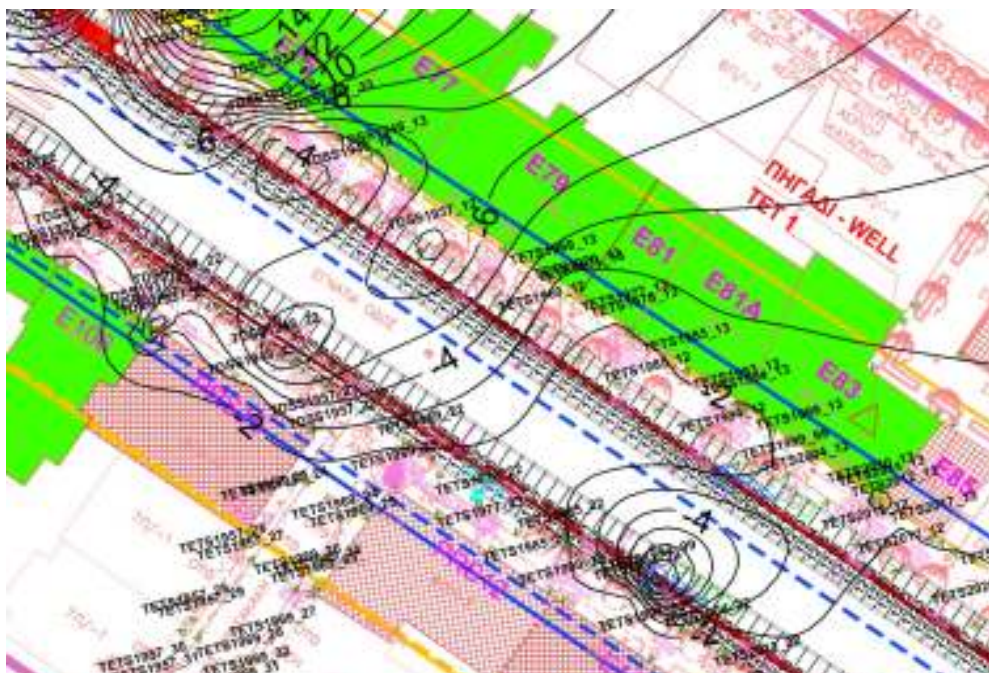
Για τον καθορισμό των παραπάνω περιοχών λήφθηκαν υπόψη χωροσταθμικά τα οποία υπέδειξαν κατακόρυφες μετατοπίσεις μεγαλύτερες των 2mm (το οποίο αποτελεί και το όριο σφάλματος των μετρήσεων), καθώς και η εγγύτητα μεταξύ των ούτως ώστε να συνιστούν υπόδειξη ανεξάρτητων λεκανών καθιζήσεων

5.1 Καθορισμός περιοχών λεκανών καθιζήσεων.

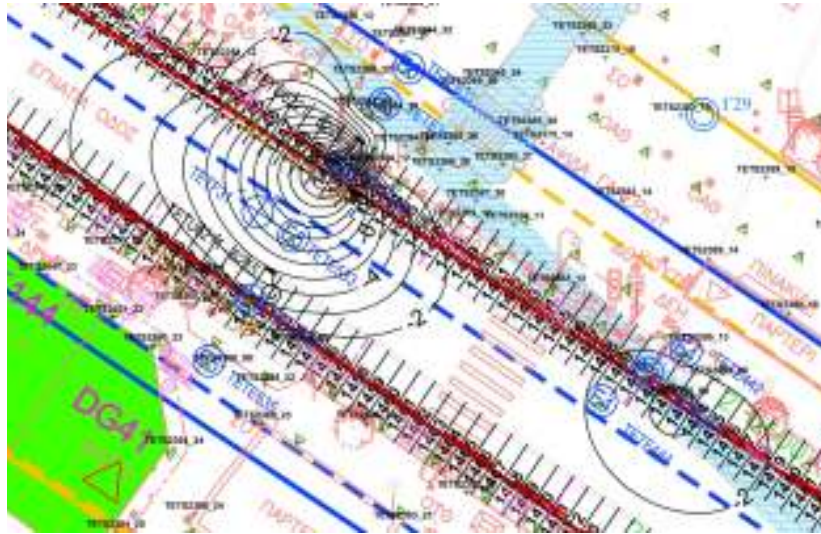
Όπως αναφέρεται ανωτέρω στους υπό μελέτη τομείς ελήφθησαν υπόψη οι μετρήσεις εκείνες των χωροσταθμικών οι οποίες υπερέβαιναν το όριο σφάλματος μέτρησης το οποίο είναι της τάξης των 2mm (Παράρτημα Γ).

Δεδομένου αυτού, σε κάθε τομέα προσδιορίστηκαν τα χωροσταθμικά σημεία εκείνα, τα οποία παρουσίασαν την μεγαλύτερη τιμή κατακόρυφης μετακίνησης και θεωρήθηκαν κέντρα λεκανών καθιζήσεων.

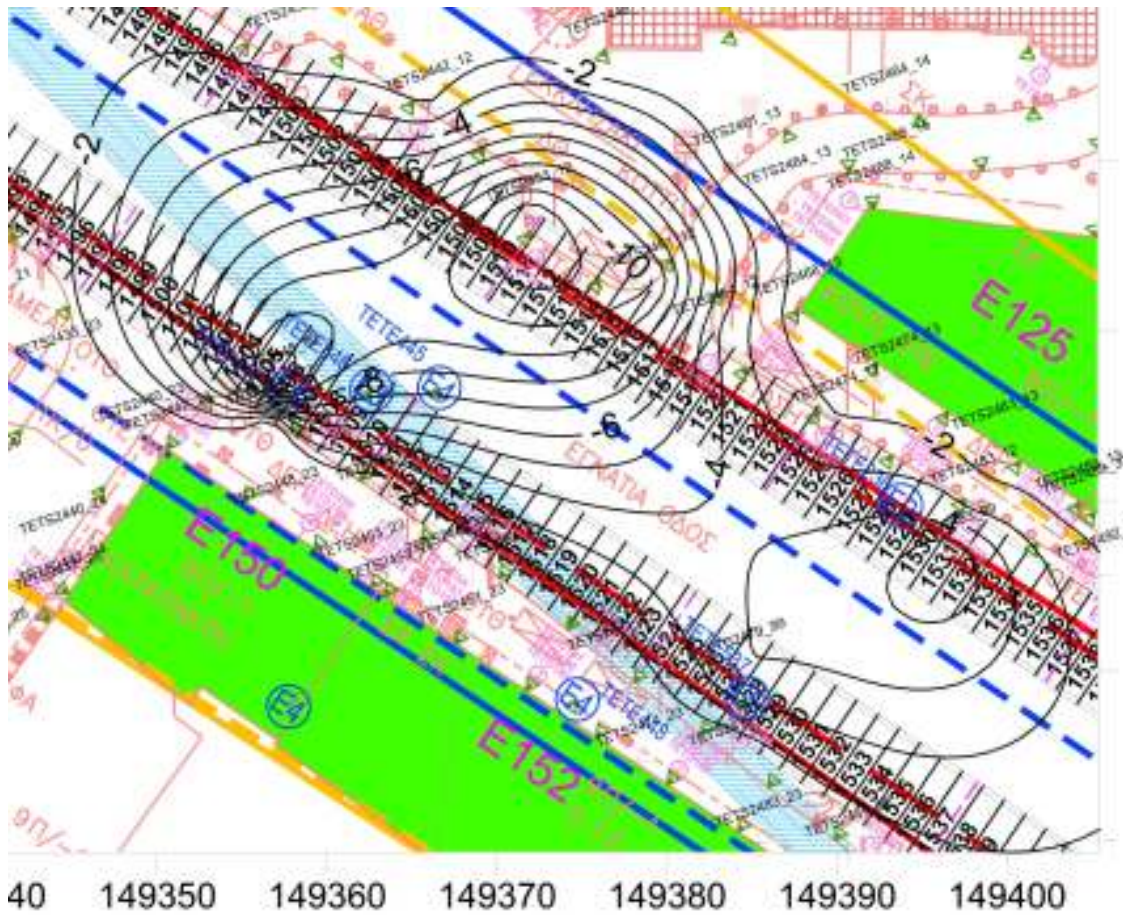
Παραταύτα, προκειμένου να είναι σαφέστερη η διάκριση των κατά τόπους εμφανιζόμενων λεκανών, εισήχθησαν οι συντεταγμένες του συνόλου των χωροσταθμικών στο πρόγραμμα SURFER και κατασκευάστηκαν επιμέρους οριζοντιογραφίες των οποίων οι ισοϋψείς απεικονίζουν τα όρια των καθιζήσεων.



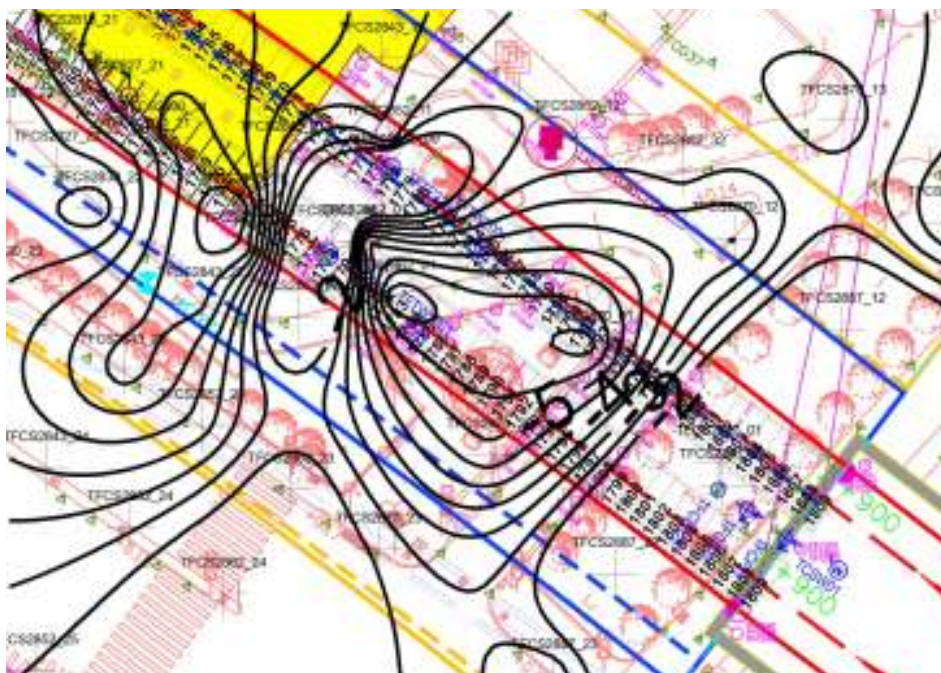
Εικ. 19: Καθιζήσεις στην περιοχή από Χ.Θ.1907 έως Χ.Θ.2000



Εικ.20: Καθιζήσεις στην περιοχή από Χ.Θ.2340 έως Χ.Θ.2392



Εικ.21: Καθιζήσεις στην περιοχή από Χ.Θ.2400 έως Χ.Θ.2469



Εικ.22: Καθιζήσεις στην περιοχή από Χ.Θ.2830 έως Χ.Θ.2870

Μεγάλο πλήθος χωροσταθμικών τα οποία ευρίσκονται στον τομέα 1 (Χ.Θ.1907 έως Χ.Θ.1935, εικ.4) αποκλείστηκε διότι εμφάνισαν το μεγαλύτερο ποσοστό κατακόρυφων μετακινήσεων πριν την όρυξη της γραμμής 1 και δεδομένης της εγγύτητας των στον σταθμό Αγία Σοφία, θεωρήθηκε ότι αυτές προκλήθηκαν από τον καταβιβασμό του υδροφόρου και εν γένει την όχληση η οποία υπήρξε κατά την κατασκευή του σταθμού.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα χωροσταθμικά τα οποία υπέδειξαν τις μέγιστες μετακινήσεις στους τέσσερις τομείς και αποτέλεσαν σημεία εγκάρσιων επιπέδων (αναφορικά με τους άξονες των σηράγγων) για την μελέτη των καθιζήσεων.

Πίνακας 1: Περιοχές μελέτης και Χωροσταθμικά Σημεία τα οποία υπέδειξαν μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις

ΤΟΜΕΑΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟΥ	Χ.Θ. ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟΥ (ΓΡΑΜΜΗ 1)	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΑΞΟΝΑ ΓΡΑΜΜΗΣ 1 (m)	ΚΑΘΙΖΗΣΗ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΦΙΞΗ ΤΒΜ1 s_0 (mm)	ΚΑΘΙΖΗΣΗ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΛΕΥΣΗ ΤΒΜ2 s_2 (mm)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ s_{max} (mm)	ΚΑΘΙΖΗΣΗ ΕΞΑΙΤΙΑΣ ΟΡΥΞΗΣ ΤΒΜ1 s_{TBM1} (mm) ($=s_2-s_0$)	ΚΑΘΙΖΗΣΗ ΕΞΑΙΤΙΑΣ ΟΡΥΞΗΣ ΤΒΜ2 s_{TBM2} (mm) ($=s_{max}-s_2$)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗ ΛΟΓΩ ΟΡΥΞΗΣ ΤΒΜ1&2 s_{TOT} (mm) ($=s_{TBM1} + s_{TBM2}$)
1907-2000	TDSS1948_22	1949.9	3.3	-4.30	-5.83	-6.96	-1.53	-1.13	-2.66
	TDSS1957_12	1956.7	-15.8	-4.33	-5.10	-7.49	-0.77	-2.39	-3.16
	TETS1994_99	1995.9	0.9	0	-5.76	-9.23	-5.76	-3.47	-9.23
2340-2392	TETS2361_99	2362.5	-12.8	0	-7.49	-16.4	-7.49	-8.91	-16.4
2400-2469	TETS2448_99	2444.9	1.3	-6.26	-3.64	-12.15	2.62	-8.51	-5.89
	TETS2453_12	2451.5	-15.5	-0.3	-7.99	-12.13	-7.69	-4.14	-11.83
	TETS2483_99	2483.3	-13.0	-0.4	-3.64	-6.09	-3.24	-2.45	-5.69
2830-2870	TFCS2830_31	2834.7	0.0	-1.45	-3.65	-8.31	-2.2	-4.66	-6.86
	TFCS2843_31	2843.6	1.2	-0.96	-4.66	-9.46	-3.7	-4.8	-8.5
	TFCS2862_01	2858.5	-0.4	-0.85	-5.46	-9.26	-4.61	-3.8	-8.41
	TFCS2870_01	2874.6	-7.3	-2.29	-5.14	-9.12	-2.85	-3.98	-6.83

Στον τομέα ο οποίος ορίζεται από την Χ.Θ.1907 έως την Χ.Θ. 2000 οι περιοχές οι οποίες αντιστοιχούν στα χωροσταθμικά TDSS1948_22 και TDSS1957_12 (πίνακας 1) αποκλείστηκαν διότι καθώς φαίνεται στον πίνακα 1 οι καθιζήσεις οι οποίες προκλήθηκαν από καθαυτή τη διαδικασία όρυξης είναι πολύ μικρές και δε οι τιμές είναι οριακά κοντά στο εύρος σφάλματος των μετρήσεων.

Η στρωματογραφία όπως προκύπτει από γεωλογική μηκοτομή στις θέσεις των χωροσταθμικών έχει ως εξής:

Πίνακας 2:Στρωματογραφία στις υπό μελέτη θέσεις

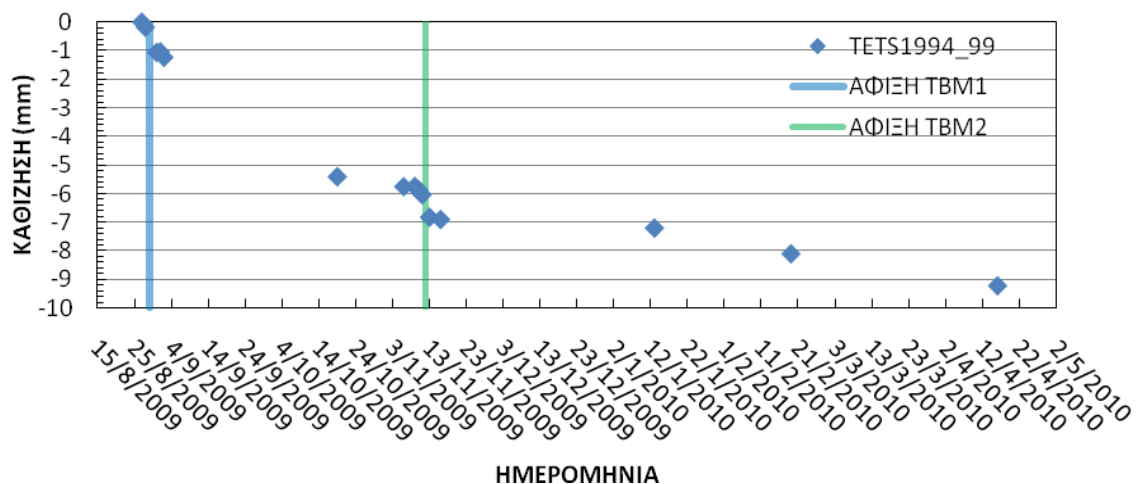
ΥΠΟΤΜΗΜΑ	Χωροσταθμικό	Θέση	Αριθμός Δακτυλίου Επένδυσης	Βάθος Σήραγγας (στέψη) (m)	Βάθος στον Άξονα της Σηραγγας	Βάθος Υδροφόρου (m)	Σχηματισμός	Βάθος		Πάχος
								Από	Έως	
1907_1935	TETS1994_99	1995.8616	1208	22.2988	25.3988	6.05-6.35	T.E.	0	9.74	9.74
							A2c	9.74	38.39	28.65
2340_2392	TETS2361_99	2362.5219	1453	24.0656	27.1656	3.73-3.93	T.E.	0	5.51	5.51
							A2b	5.51	16.41	10.9
							A2c	16.41	??.??	
2400_2469	TETS2448_99	2444.8829	1508	21.4617	24.5617	4.84-5.10	T.E.	0	7.15	7.15
							A2c	7.15	12.67	5.52
							A2b	12.67	35.56	22.89
	TETS2453_12	2451.4892	1512	21.303	24.403	4.74-4.98	T.E.	0	7.31	7.31
							A2c	7.31	12.34	5.03
							A2b	12.34	34.67	22.33
TETS2483_99	2483.3064	1533	20.306	23.406	4.33-4.56	T.E.	0	7.98	7.98	
						A2c	7.98	10.37	2.39	
						A2b	10.37	24.17	13.8	
2830_2870	TFCS2830_31	2834.6589	1768	22.3319	25.4319	1.53-1.56	T.E.	0	3.66	3.66
							A2a	3.66	7.54	3.88
							A2b	7.54	17.06	9.52
	TFCS2843_31	2843.6394	1774	22.5815	25.6815	1.39-1.48	T.E.	0	3.44	3.44
							A2a	3.44	7.78	4.34
							A2b	7.78	17.27	9.49
	TFCS2862_01	2858.5078	1784	23.0614	26.1614	1.16-1.31	T.E.	0	2.23	2.23
							A2a	2.23	11.98	9.75
							A2b	11.98	19.26	7.28
	TFCS2870_01	2874.6241	1794	23.55	26.65	0.97-1.16	T.E.	0	2.32	2.32
							A2a	2.32	12.01	9.69
							A2b	12.01	19.27	7.26
							A2c	19.27	??.??	

Στο εξής παρουσιάζονται διαγράμματα τα οποία αφορούν στην εξέλιξη των καθιζήσεων των χωροσταθμικών σημείων τα οποία κατέγραψαν τις μέγιστες μετακινήσεις για έκαστη περιοχή, καθώς και οι καταγεγραμμένες παράμετροι λειτουργίας των δύο μηχανημάτων EPB στα αντίστοιχα μήκη.

5.1.1 Περιοχή από Χ.Θ. 1907 έως Χ.Θ.2000

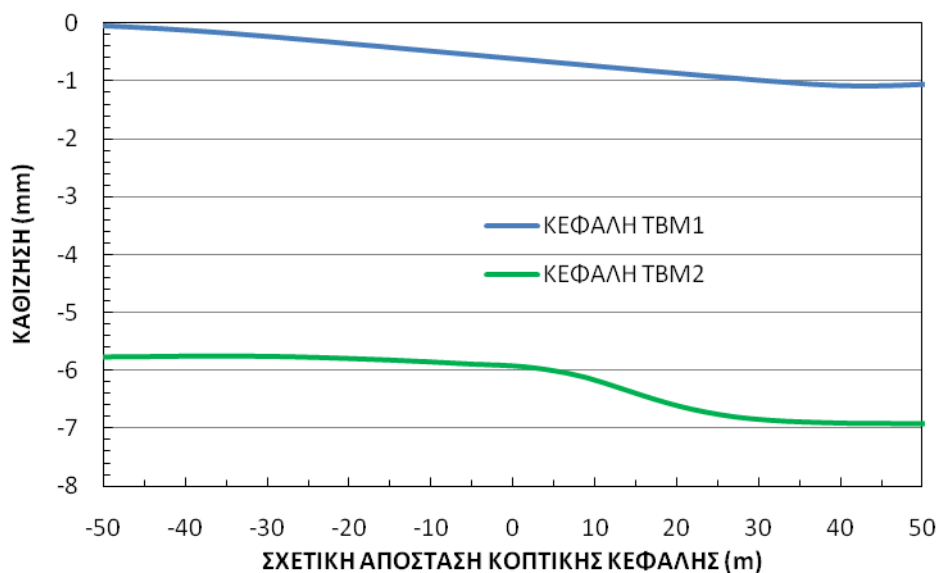
Στον τομέα από Χ.Θ. 1907 έως Χ.Θ.2000, κατά πως αναφέρεται ανωτέρω μελετάται η λεκάνη καθιζήσεων εκείνη στην οποία εντοπίζεται η θέση του χωροσταθμικού σημείου TETS1994_99 στην Χ.Θ.1995,9. Στο ακόλουθο γράφημα απεικονίζεται η χρονική εξέλιξη της κατακόρυφης μετακίνησης του σημείου.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟΥ TETS1994_99, Χ.Θ. 1995,9



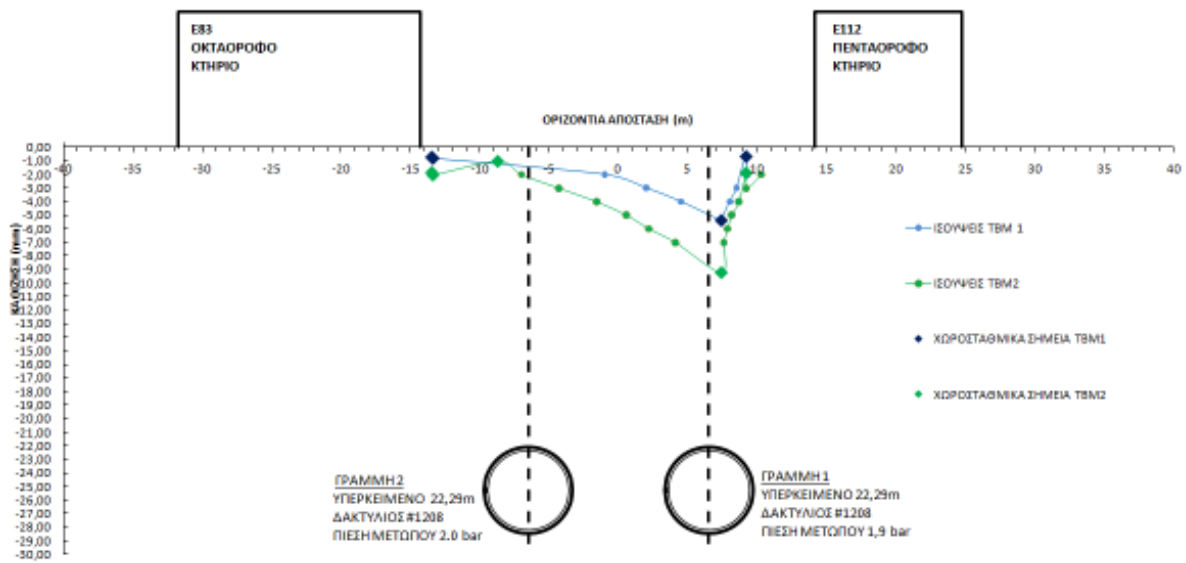
Στο Διάγραμμα 2, παρουσιάζονται οι καθιζήσεις οι οποίες καταγράφηκαν στο συγκεκριμένο χωροσταθμικό σημείο συναρτήσει της σχετικής απόστασης της κοπτικής κεφαλής του μηχανήματος. Προφανώς οι αρνητικές τιμές του άξονα x, αφορούν την περίπτωση που το μηχάνημα διάνοιξης δεν εγγίζει την θέση του χωροσταθμικού σημείου και αντιστοίχως οι θετικές, την περίπτωση που έχει πραγματοποιήσει την διάνοιξη και απομακρύνεται.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2: ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟΥ ΤΕΤΣ1994_99, Χ.Θ.1995,9, ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΟΠΤΙΚΗΣ ΚΕΦΑΛΗΣ



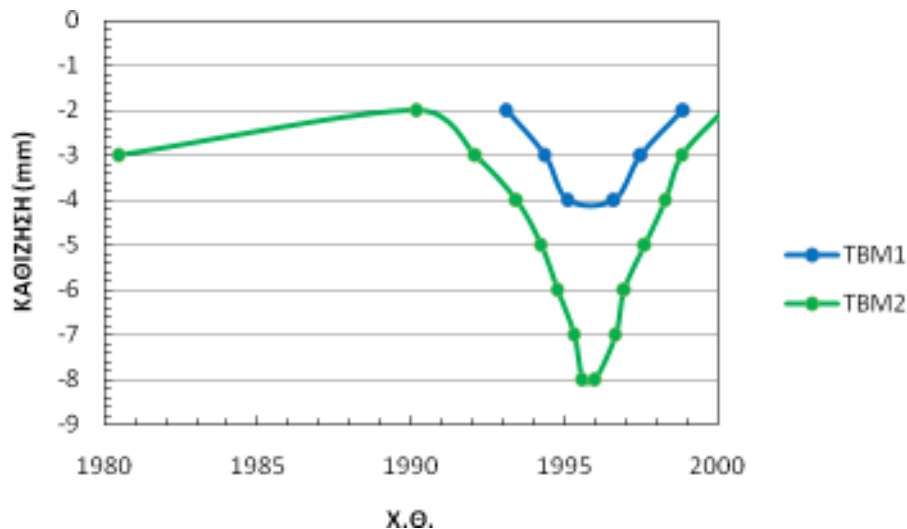
Ακολούθως, στο διάγραμμα 3 παρουσιάζονται οι μετρήσεις οι οποίες αφορούν στο εγκάρσιο ως προς τον άξονα της σήραγγας επίπεδο, το οποίο διέρχεται από το χωροσταθμικό σημείο ΤΕΤΣ1994_99, όπως αυτές καταγράφηκαν κατά την διέλευση των δυο μηχανημάτων από γεινιάζοντα χωροσταθμικά σημεία αλλά και από τον προσδιορισμό των μεγεθών των καθιζήσεων από ισούψεις καμπύλες.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΤΗΝ Χ.Θ.1995,9

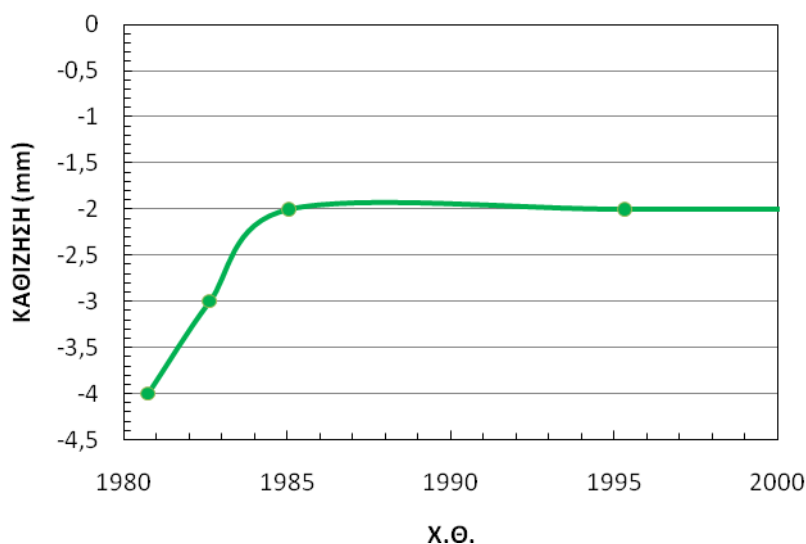


Οι κατά μήκος των αξόνων των δύο γραμμών καθιζήσεις, όπως προέκυψαν μετά τον προσδιορισμό τους αποκλειστικά με χρήση ισούψων καμπύλων, δεδομένου ότι στην στον συγκεκριμένο τομέα τα χωροσταθμικά τα οποία υπέρκεινται των αξόνων είναι ελάχιστα ευρέθηκαν να είναι της μορφής η οποία παρουσιάζεται κατωτέρω.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4α: ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 1, Χ.Θ.1995,9

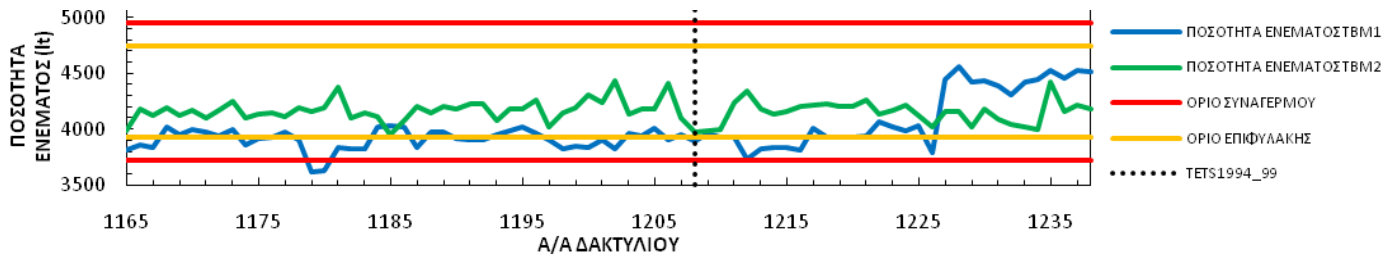


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4β: ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2, Χ.Θ.1995,9



Οι καταγεγραμμένες παράμετροι λειτουργίας των δύο μηχανημάτων ΕΡΒ κατά μήκος του υπό μελέτη τμήματος παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα όπως η διακύμανση αυτών καταγράφηκε κατά την διάνοιξη.

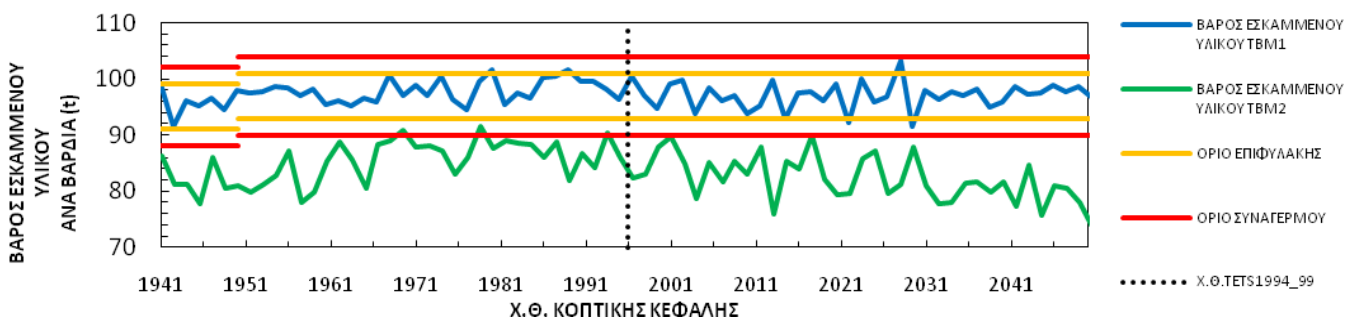
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5α: ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΕΝΕΜΑΤΟΣ, Χ.Θ.1995,9



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5β: ΠΙΕΣΗ ΚΕΦΑΛΗΣ, Χ.Θ.1995,9



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5γ: ΒΑΡΟΣ ΕΣΚΑΜΜΕΝΟΥ ΥΛΙΚΟΥ, Χ.Θ.1995,9



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5δ: ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ, Χ.Θ.1995,9



Όπως διαφαίνεται από το διάγραμμα 1, μεγάλο μέρος των καθιζήσεων (περίπου 62%) εμφανίζεται και εξελίσσεται κατά το διάστημα το οποίο μεσολαβεί στην ημερομηνία διέλευσης του μηχανήματος 1 και της αντίστοιχης του μηχανήματος 2.

Σύμφωνα με το διάγραμμα 2, οι καθιζήσεις στην Χ.Θ.1995,9 άρχονται κατά την προσέγγιση του μηχανήματος 1 –παρά το γεγονός ότι οι μετρήσεις του χωροσταθμικού σημείου TETS1994_99 είναι πολύ μικρές και εντός του ορίου σφάλματος- και εξελίσσονται αρκετά μετά την απομάκρυνσή του. Κατά την διάνοιξη της γραμμής 2 –μηχάνημα 2- οι εξέλιξη των καθιζήσεων (σύμφωνα με τις υπάρχουσες μετρήσεις) πραγματοποιείται αφού η κεφαλή του μηχανήματος έχει απομακρυνθεί κατά μήκος της τάξης των 10m, δηλαδή στην περιοχή της ουραίας ασπίδας όπου πραγματοποιείται και η ενεμάτωση πλήρωσης της προκατασκευασμένης επένδυσης.

Στην θέση του δακτυλίου υποστήριξης 1208 εμφανίζεται πτώση της ποσότητας του ενέματος πλήρωσης (διάγραμμα 5α), η οποία και στις δύο περιπτώσεις –διάνοιξη γραμμής 1 και 2 αντίστοιχα- εγγίζει το κατώτερο όριο επιφυλακής για την περιοχή, γεγονός το οποίο υποδεικνύει μείωση του θεωρητικά υπολογισμένου όγκου της εσκαμμένης διατομής και συνεπεία σύγκλιση των τοιχωμάτων αυτής.

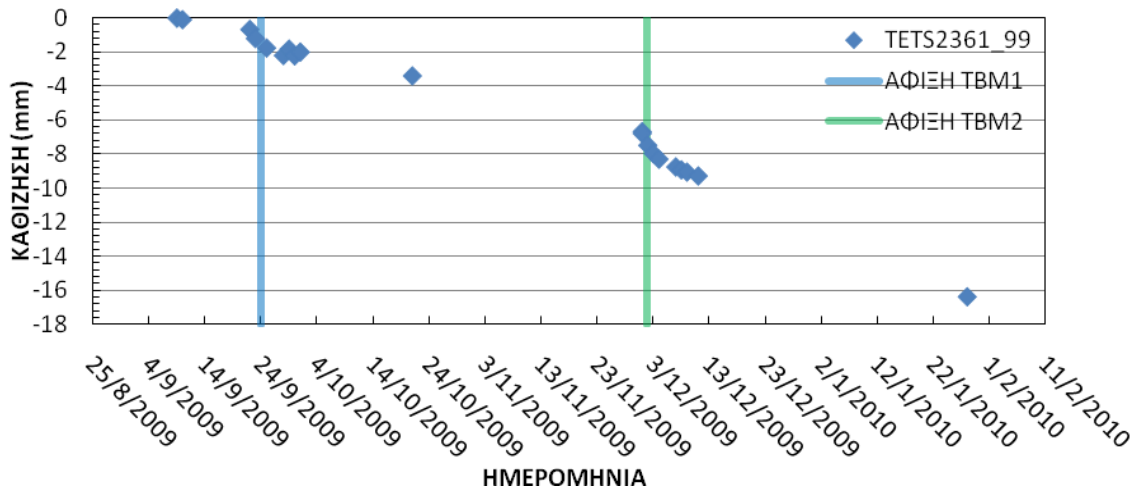
Αναφορικά με την μετρημένη εφαρμοζόμενη πίεση της κοπτικής κεφαλής (διάγραμμα 5β), εμφανίζεται και στις δύο περιπτώσεις χαμηλότερη από την προδιαγεγραμμένη κατά Αναγνωστού και Κονατί, και κατά την διάνοιξη της γραμμής 1 ξεκάθαρα κάτω από το κατώτερο όριο επιφυλακής για την περιοχή τόσο πριν όσο και μετά από την μελετώμενη χιλιομετρική θέση, γεγονός το οποίο δικαιολογεί και επιβεβαιώνει την έναρξη της κατακόρυφης μετακίνησης του χωροσταθμικού σημείου κατά την προσέγγιση του μηχανήματος 1. Αντιστοίχως κατά την απομάκρυνση κατά μήκος περίπου όσο το μήκος του μηχανήματος παρατηρείται πτώση της πίεσης της κεφαλής πολύ κοντά στο όριο συναγερμού (Χ.Θ.2008), γεγονός το οποίο ευνοεί την εκδήλωση καθιζήσεων στην υπό ενεμάτωση θέση.

Το γεγονός ότι το βάρος του εσκαμμένου υλικού κατά την διάνοιξη της γραμμής 1 εγγίζει το ανώτερο όριο επιφυλακής υποδεικνύει την πραγματοποίηση υπερεκσκαφής η οποία ενδεχομένως οδήγησε στην πτώση της πίεση υποστηρίξεως της κοπτικής κεφαλής.

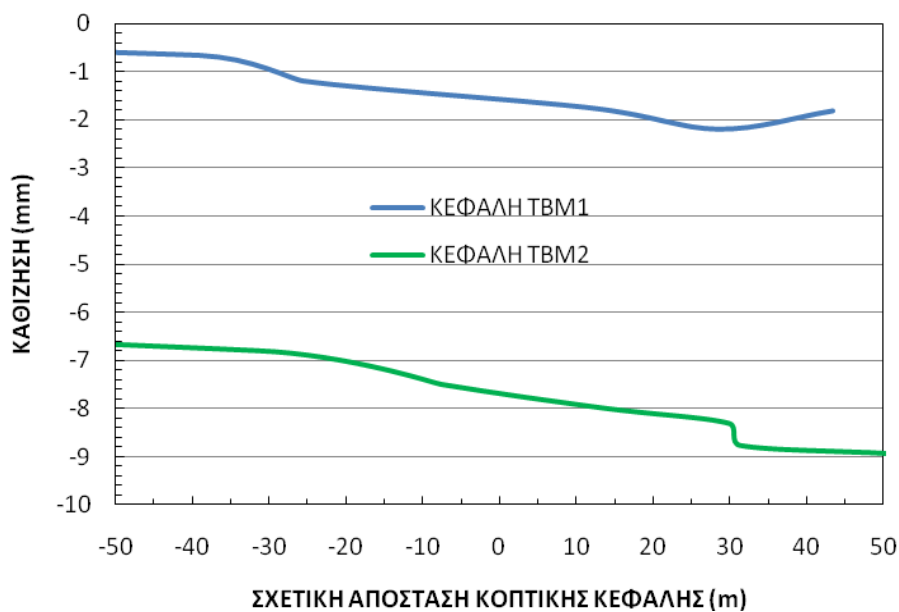
5.1.2 Περιοχή από Χ.Θ. 2340 έως Χ.Θ.2392

Στον τομέα από Χ.Θ. 2340 έως Χ.Θ.2392, όπως αναφέρεται και στον πίνακα 1 μελετάται η λεκάνη καθιζήσεων εκείνη στην οποία εντοπίζεται η θέση του χωροσταθμικού σημείου TETS2361_99 στην Χ.Θ.2362,5. Αντιστοίχως με τον προηγούμενο τομέα παρατίθενται τα σχετικά διαγράμματα

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6: ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟΥ TETS2361_99, Χ.Θ.2362,5

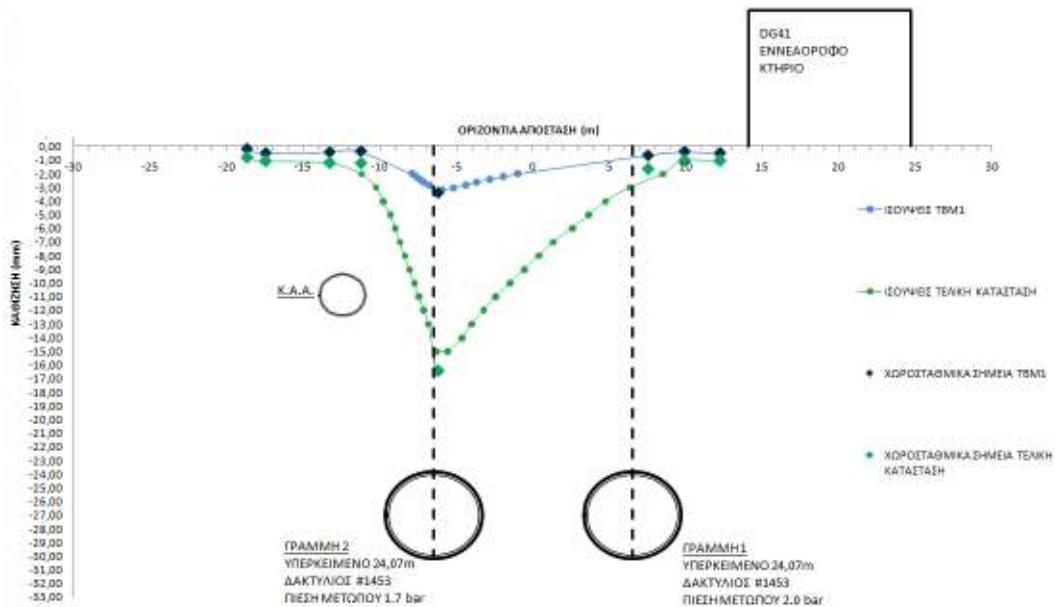


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7: ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟΥ TETS2361_99, Χ.Θ.2362,5, ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΟΠΤΙΚΗΣ ΚΕΦΑΛΗΣ

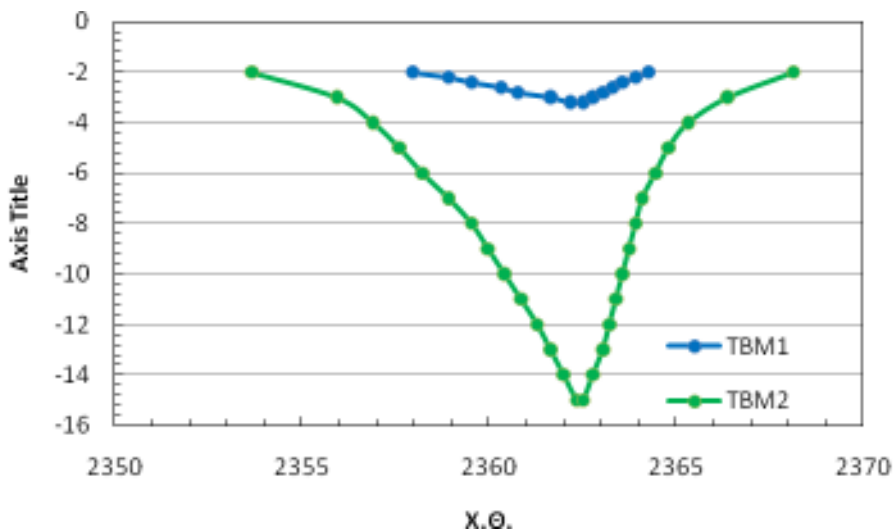


Παρουσιάζονται οι μετρήσεις κατακόρυφων μετακινήσεων οι οποίες αφορούν στο εγκάρσιο ως προς τον άξονα της σήραγγας επίπεδο, καθώς και οι κατά μήκος του άξονα της γραμμής 2 καθιζήσεις. Οι καθιζήσεις κατά μήκος του άξονα της γραμμής 1 δεν παρουσιάζονται διότι είναι μικρού μεγέθους και περιορίζονται τοπικά (βλ. εικ.5).

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΤΗΝ Χ.Θ. Χ.Θ.2362,5.

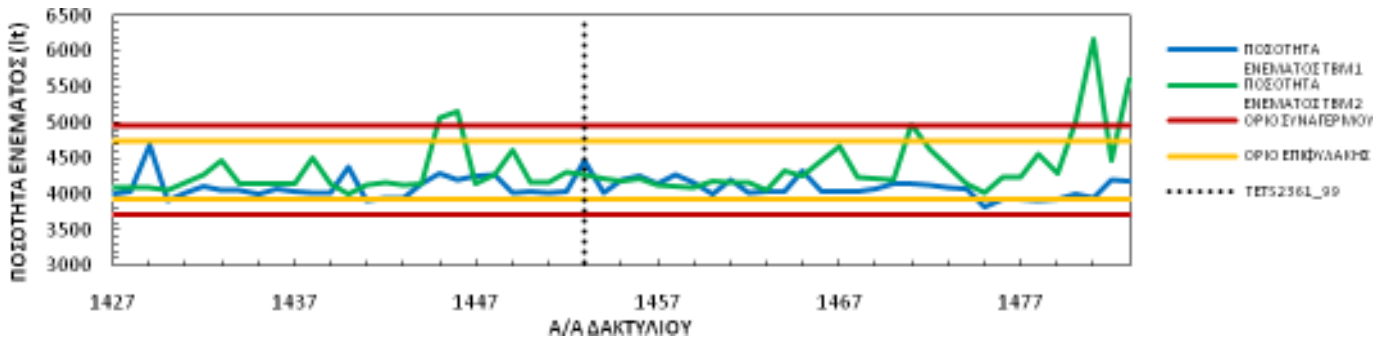


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9: ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2, Χ.Θ.2362,5.

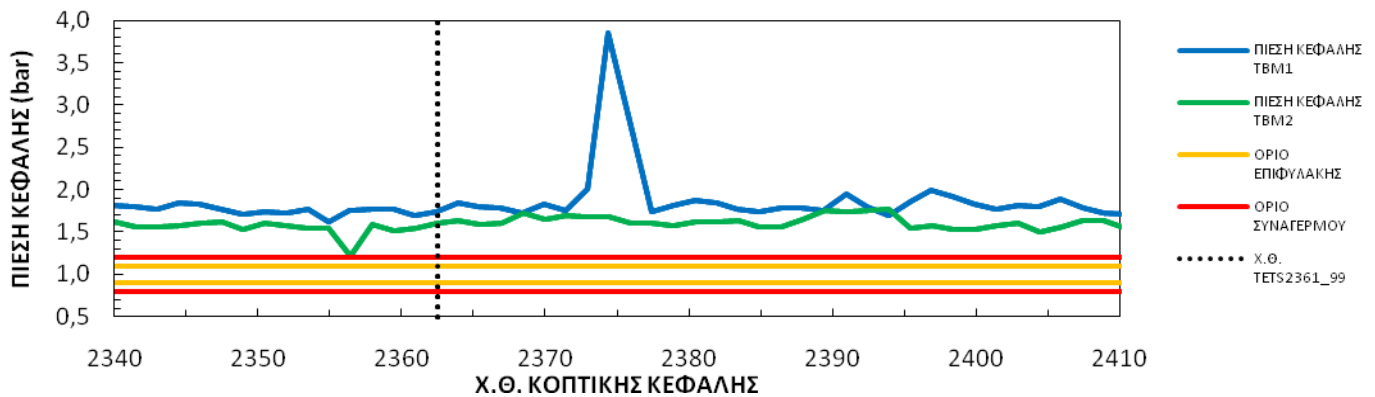


Οι καταγεγραμμένες παράμετροι λειτουργίας των δύο μηχανημάτων ΕΡΒ κατά μήκος του υπό μελέτη τμήματος παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα όπως η διακύμανση αυτών καταγράφηκε κατά την διάνοιξη.

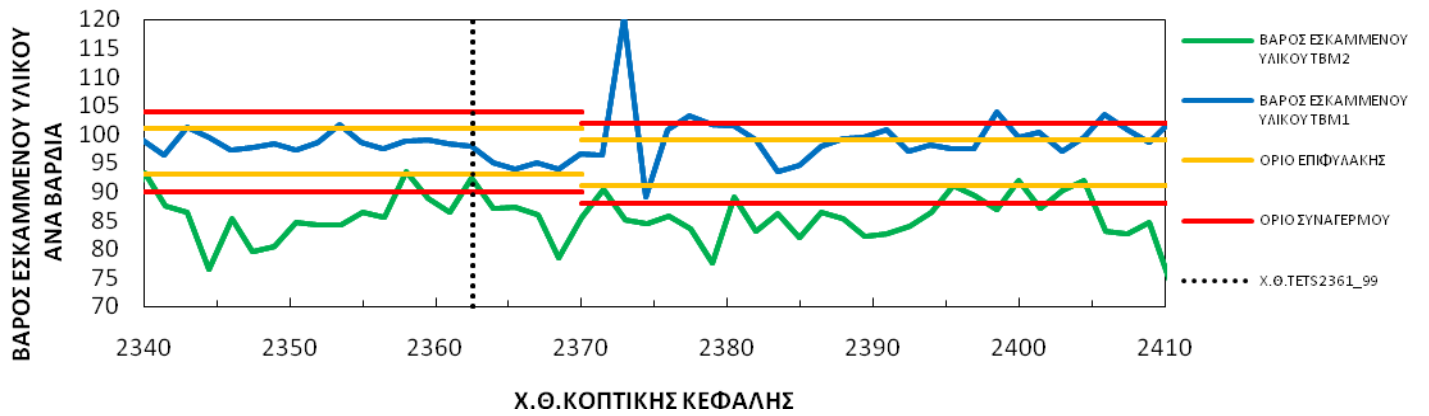
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10α: ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΕΝΕΜΑΤΟΣ, Χ.Θ.2362,5



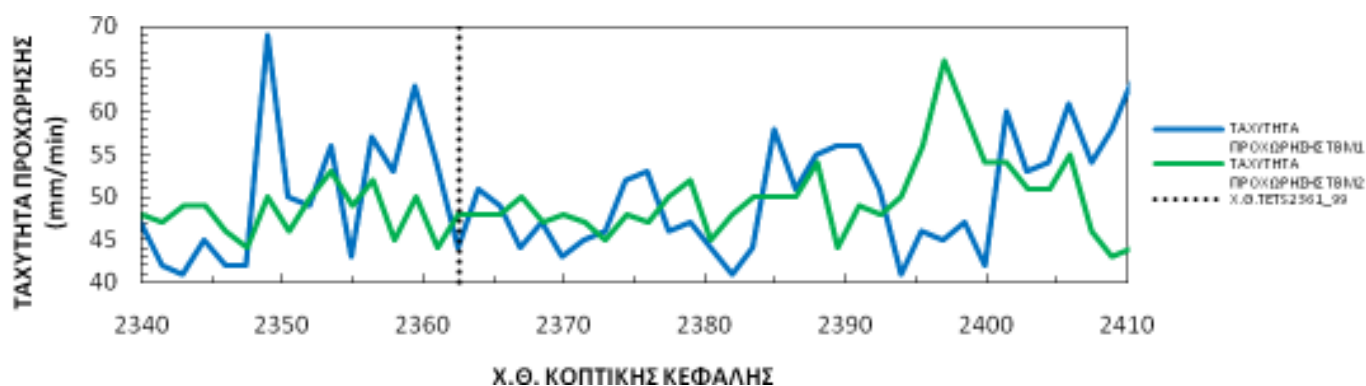
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10β: ΠΙΕΣΗ ΚΕΦΑΛΗΣ, Χ.Θ.2362,5



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10γ: ΒΑΡΟΣ ΕΣΚΑΜΜΕΝΟΥ ΥΛΙΚΟΥ, Χ.Θ.2362,5



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10δ: ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ, Χ.Θ.2362,5



Όπως διαφαίνεται από το διάγραμμα 6, το μεγαλύτερο μέρος των καθιζήσεων εμφανίζεται και εξελίσσεται κατά το διάστημα το οποίο το οποίο ορίζεται κατόπιν της διέλευσης του μηχανήματος 2.

Σύμφωνα με το διάγραμμα 6, οι καθιζήσεις στην Χ.Θ.2362.5 άρχονται κατά την προσέγγιση του μηχανήματος 1 –παρά το γεγονός ότι οι μετρήσεις του χωροσταθμικού σημείου TETS2361_99 είναι μικρές και εντός του ορίου σφάλματος- και εξελίσσονται αρκετά μετά την απομάκρυνσή του. Ακριβώς η ίδια πορεία ακολουθείται κατά την εξέλιξη των καθιζήσεων κατά την διάνοιξη της γραμμής 2.

Πλησίον της θέση του δακτυλίου υποστήριξης 1453 εμφανίζεται πτώση της ποσότητας του ενέματος πλήρωσης (διάγραμμα 10α), η οποία και στις δύο περιπτώσεις –διάνοιξη γραμμής 1 και 2 αντίστοιχα- εγγίζει το κατώτερο όριο επιφυλακής για την περιοχή, γεγονός το οποίο υποδεικνύει μείωση του θεωρητικά υπολογισμένου όγκου της εσκαμμένης διατομής και συνεπεία σύγκλιση των τοιχωμάτων αυτής.

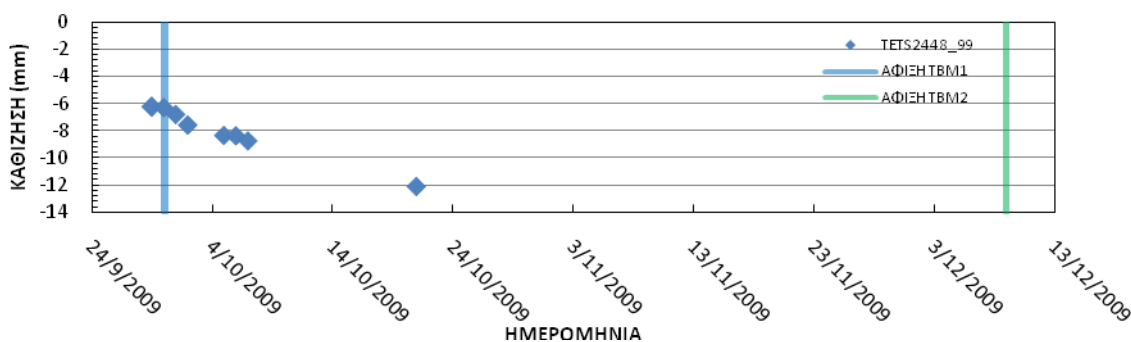
Αναφορικά με την μετρημένη εφαρμοζόμενη πίεση της κοπτικής κεφαλής (διάγραμμα 10β), εμφανίζεται και στις δύο περιπτώσεις αρκετά υψηλότερη από την προδιαγεγραμμένη κατά Anagnostou και Konari, και σταθερά υπερβαίνει το ανώτερο όριο συναγερμού κατά την διάνοιξη και των δύο γραμμών.

Το γεγονός ότι το βάρος του εσκαμμένου υλικού κατά την διάνοιξη της γραμμής 1 σε απόσταση περίπου ίση με το μήκος του μηχανήματος μπροστά από το σημείο μέτρησης της μέγιστης καθιζήσης, εγγίζει το ανώτερο όριο επιφυλακής υποδεικνύει την πραγματοποίηση υπερεκκαφής η οποία ενδεχομένως δικαιολογεί και την έναρξη των καθιζήσεων κατά την προσέγγιση του μηχανήματος..

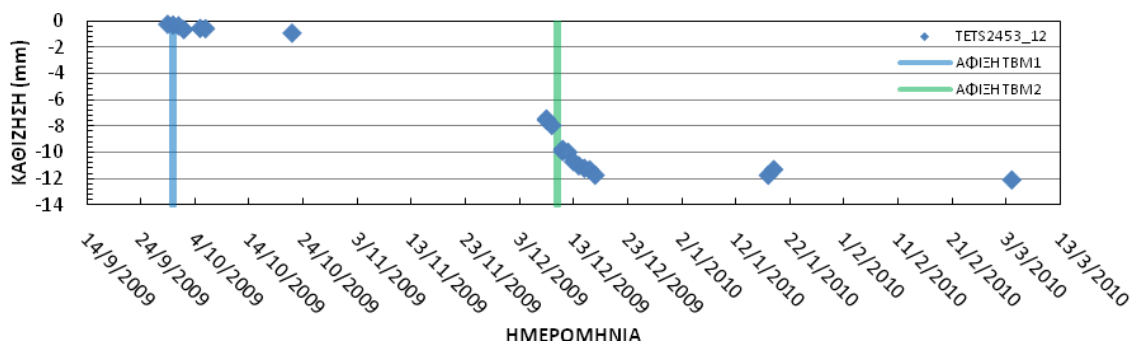
5.1.3 Περιοχή από Χ.Θ.2400 έως Χ.Θ.2469

Στον τομέα από Χ.Θ. 2400 έως Χ.Θ.2469, όπως αναφέρεται και στον πίνακα 1 μελετώνται τρεις λεκάνες καθιζήσεων οι οποίες θεωρούνται ανεξάρτητες και είναι εκείνες οι οποίες εντοπίζονται στις θέσεις των χωροσταθμικών σημείων TETS2448_99, TETS2453_12 και TETS2483_99 στην Χ.Θ.2444,9, Χ.Θ.2451,5 και Χ.Θ.2483,3 αντιστοίχως. Ακολουθούν τα διαγράμματα στα οποία παρουσιάζονται οι μετρήσεις οι οποίες αφορούν στις παρουσιαζόμενες καθιζήσεις και στις καταγεγραμμένες παραμέτρους λειτουργίας των δύο μηχανημάτων EPB κατά την διάνοιξη της διδυμής σήραγγας στον υπό μελέτη τομέα.

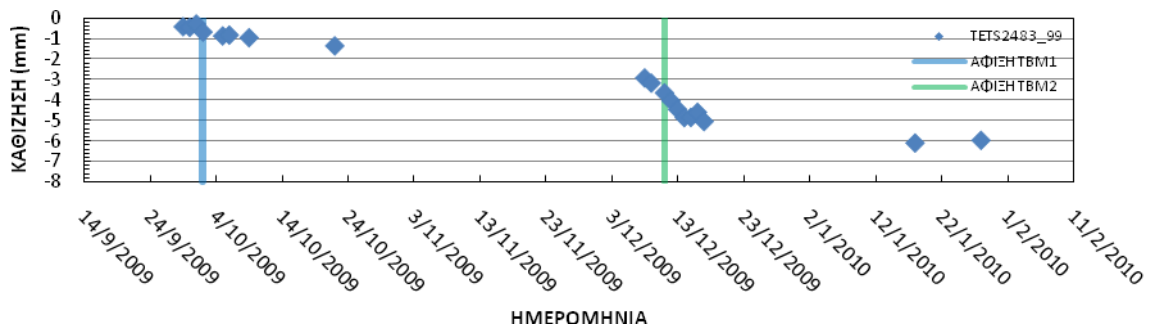
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11α: ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟΥ TETS2448_99, Χ.Θ.2444,9



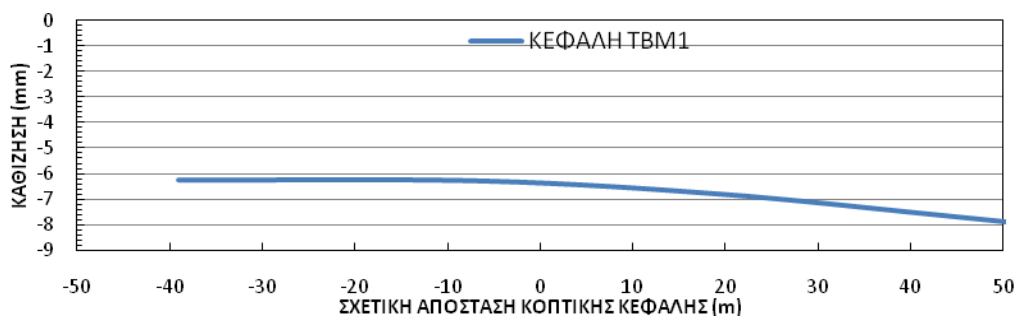
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11β: ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟΥ TETS2453_12, Χ.Θ.2451,5



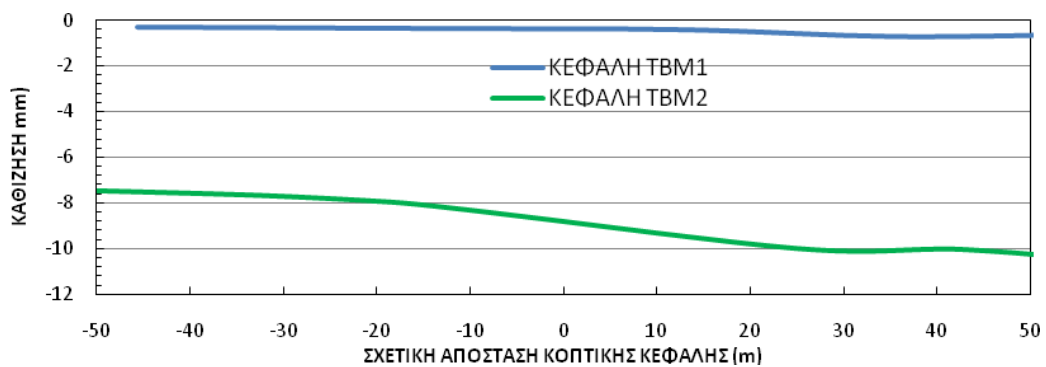
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11γ: ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟΥ TETS2483_99, Χ.Θ.2483,3



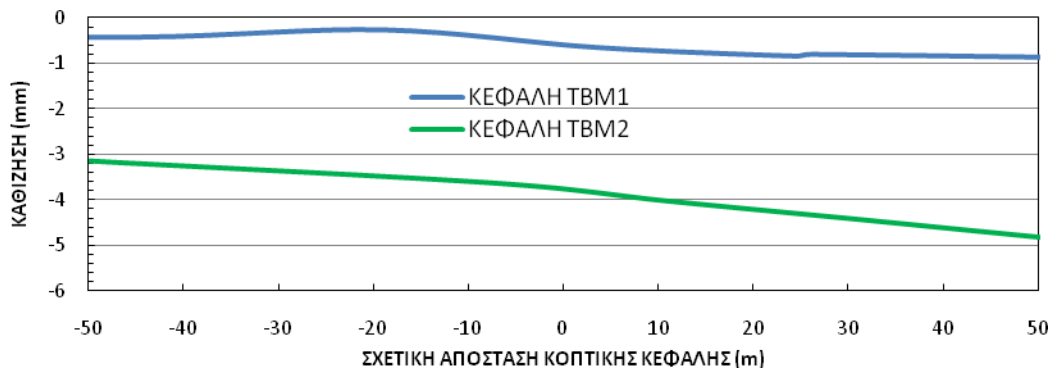
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12α: ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟΥ ΤΕΤΣ2448_99, Χ.Θ.2444,9 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΟΠΤΙΚΗΣ ΚΕΦΑΛΗΣ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12β: ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟΥ ΤΕΤΣ2453_12, Χ.Θ.2451,5 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΟΠΤΙΚΗΣ ΚΕΦΑΛΗΣ

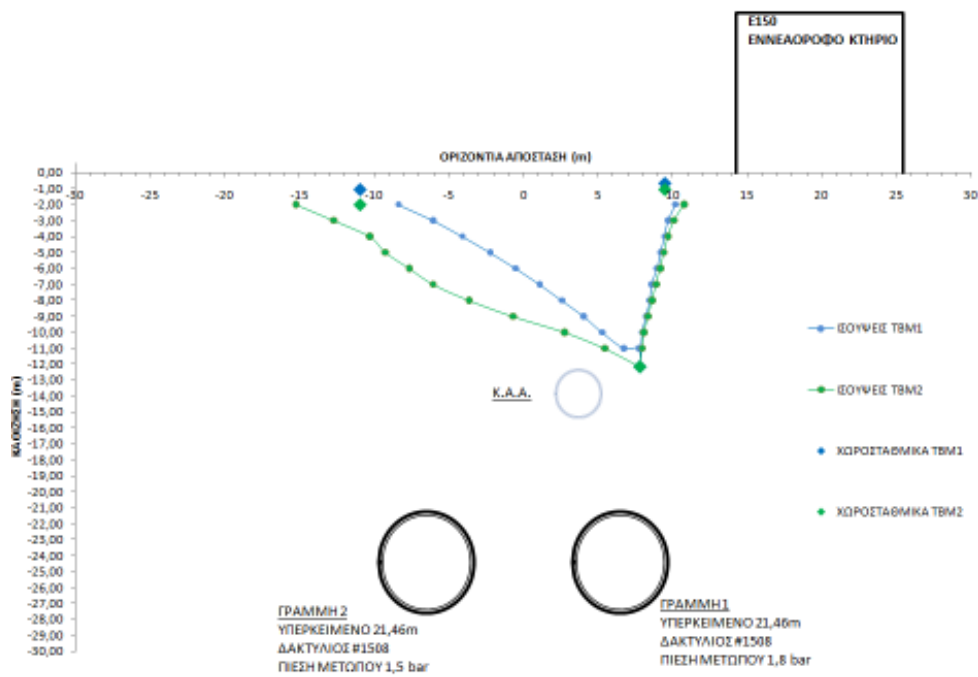


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12γ: ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟΥ ΤΕΤΣ2483_99, Χ.Θ.2483,3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΟΠΤΙΚΗΣ ΚΕΦΑΛΗΣ

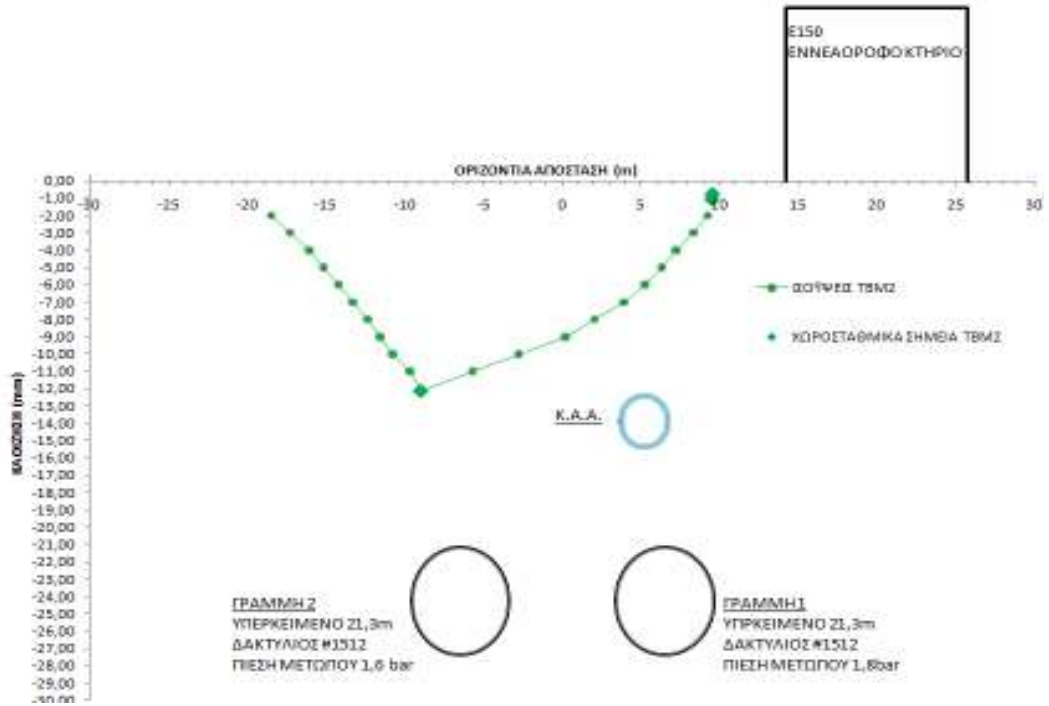


Παρουσιάζονται οι μετρήσεις κατακόρυφων μετακινήσεων οι οποίες αφορούν στα εγκάρσια ως προς τον άξονα της σήραγγας επίπεδα, καθώς και οι κατά μήκος των αξόνων των γραμμών.

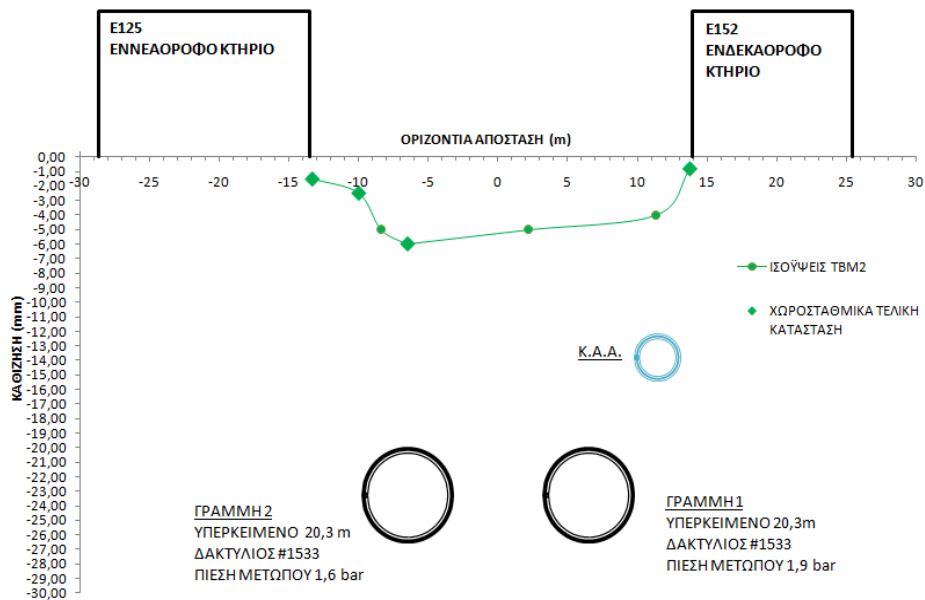
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13α: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΤΗΝ Χ.Θ.2444,9.



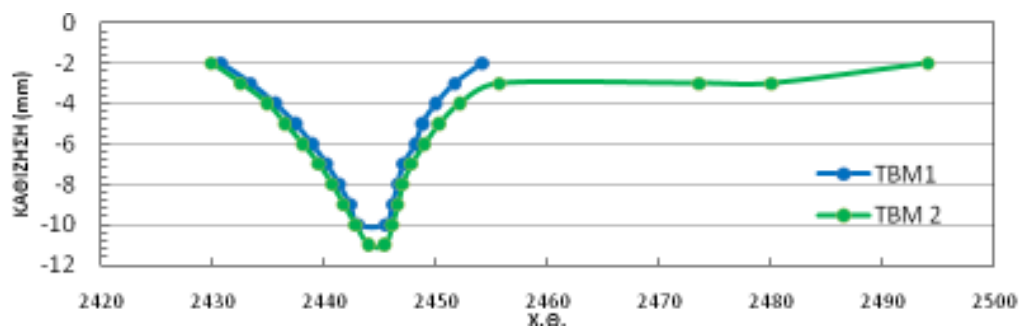
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13β: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΤΗΝ Χ.Θ.2451,5.



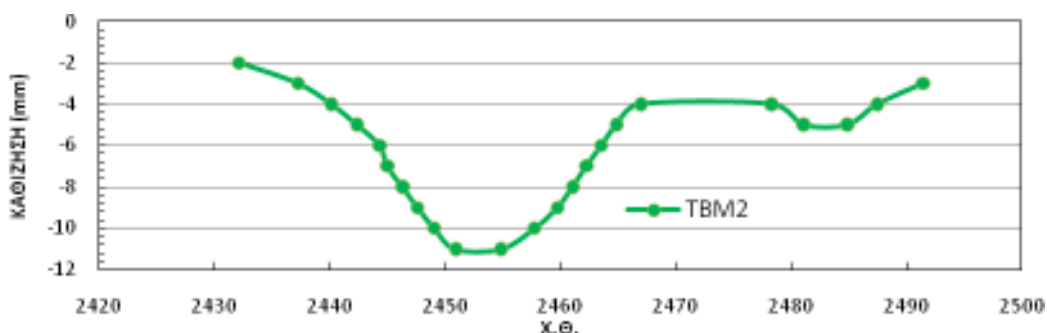
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13γ: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΘΙΣΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΤΗΝ Χ.Θ.2483,3



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14α: ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 1, Χ.Θ.2400 ΕΩΣ Χ.Θ.2469.

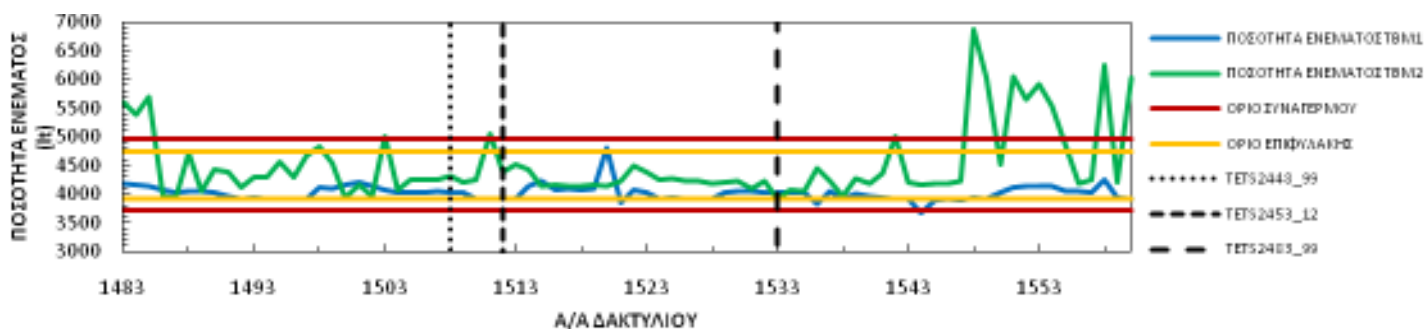


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14β: ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2, Χ.Θ.2400 ΕΩΣ Χ.Θ.2469

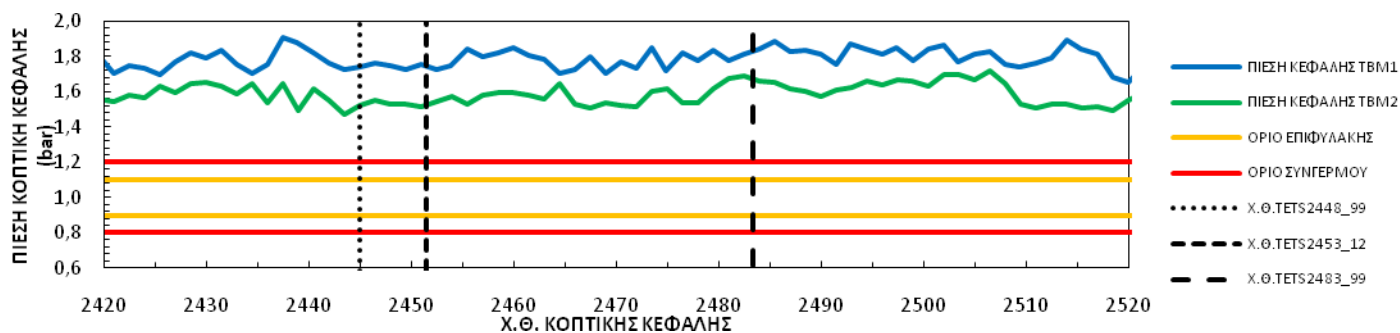


Οι καταγεγραμμένες παράμετροι λειτουργίας των δύο μηχανημάτων EPB κατά μήκος του υπό μελέτη τμήματος παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα όπως η διακύμανση αυτών καταγράφηκε κατά την διάνοιξη.

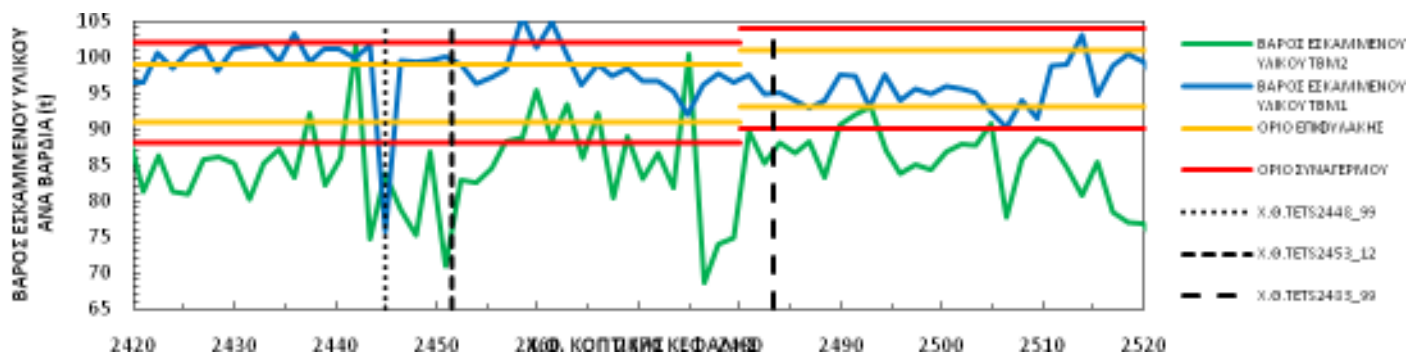
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15α: ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΕΝΕΜΑΤΟΣ, Χ.Θ.2400 ΕΩΣ Χ.Θ.2469



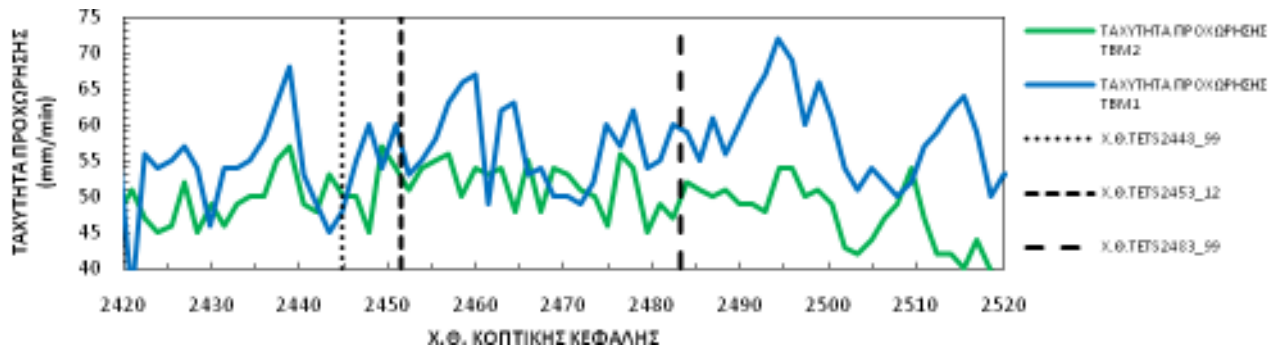
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15β: ΠΙΕΣΗ ΚΕΦΑΛΗΣ, Χ.Θ.2400 ΕΩΣ Χ.Θ.2469



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15γ: ΒΑΡΟΣ ΕΣΚΑΜΜΕΝΟΥ ΥΛΙΚΟΥ, Χ.Θ.2400 ΕΩΣ Χ.Θ.2469



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15δ: ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ, Χ.Θ.2400 ΕΩΣ Χ.Θ.2469



Όπως διαφαίνεται από τα διαγράμματα 11β και 11γ, το μεγαλύτερο μέρος των καθιζήσεων εμφανίζεται και εξελίσσεται κατά το διάστημα το οποίο το οποίο ορίζεται κατόπιν της διέλευσης του μηχανήματος 2.

Σύμφωνα με τα διαγράμματα 12 β, γ οι καθιζήσεις στις Χ.Θ.2451,5 και Χ.Θ.2483,3 άρχονται κατά την προσέγγιση του μηχανήματος 1 –παρά το γεγονός ότι οι μετρήσεις των χωροσταθμικών σημείων TETS2453_12 και TETS2483_99 είναι μικρές και εντός του ορίου σφάλματος- και εξελίσσονται αρκετά μετά την απομάκρυνσή του. Ακριβώς την ίδια πορεία ακολουθείται κατά την εξέλιξη των καθιζήσεων κατά την διάνοιξη της γραμμής 2.

Πλησίον των θέσεων των δακτυλίων υποστήριξης 1508, 1512, 1533 εμφανίζεται πτώση της ποσότητας του ενέματος πλήρωσης (διάγραμμα 15α), η οποία και στις δύο περιπτώσεις – διάνοιξη γραμμής 1 και 2 αντίστοιχα- εγγίζει και παραβιάζει το κατώτερο όριο επιφυλακής για την περιοχή, γεγονός το οποίο υποδεικνύει μείωση του θεωρητικά υπολογισμένου όγκου της εσκαμμένης διατομής και συνεπεία σύγκλιση των τοιχωμάτων αυτής.

Αναφορικά με την μετρημένη εφαρμοζόμενη πίεση της κοπτικής κεφαλής (διάγραμμα 15β), εμφανίζεται και σε όλες τις περιπτώσεις - Χ.Θ.2444,9, Χ.Θ.2451,5 και Χ.Θ.2483,3, γραμμή 1 και γραμμή 2 - αρκετά υψηλότερη από την προδιαγεγραμμένη κατά Anagnostou και Konari, και σταθερά υπερβαίνει το ανώτερο όριο συναγερού κατά την διάνοιξη και των δύο γραμμών.

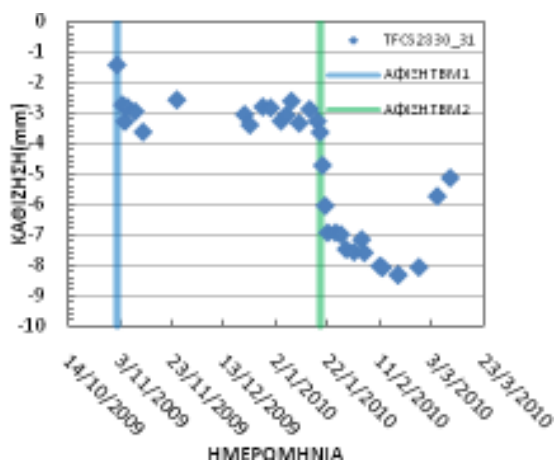
Το γεγονός ότι το βάρος του εσκαμμένου υλικού κατά την διάνοιξη της γραμμής 1 αλλά και της γραμμής 2 στην Χ.Θ.2444,9 παραβιάζει το κατώτερο όριο συναγερού ενδεχομένως δικαιολογείται ως παρουσία κενού. Κατ' αντιστοιχία οι προσέγγιση των ανώτερων ορίων μπορεί να θεωρηθεί ως πραγματοποίηση υπερκεσκαφής.

5.1.4 Περιοχή από Χ.Θ.2830 έως Χ.Θ.2870

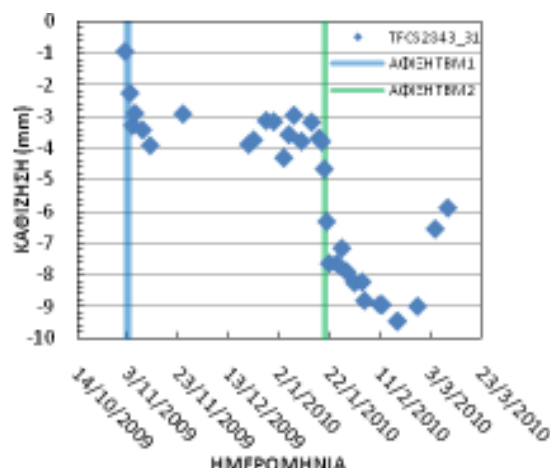
Στον τομέα από Χ.Θ. 2830 έως Χ.Θ.2870, μελετώνται τέσσερις λεκάνες καθιζήσεων (βλ. πίνακα 1) οι οποίες θεωρούνται ανεξάρτητες και είναι εκείνες οι οποίες εντοπίζονται στις θέσεις των χωροσταθμικών σημείων TFCS2830_31, TFCS2843_31, TFCS2862_01 και TFCS 2870_01 με αντίστοιχες θέσεις Χ.Θ.2834,7, Χ.Θ.2843,6, Χ.Θ.2858,5 και Χ.Θ.2874,6. Ακολουθούν τα διαγράμματα στα οποία παρουσιάζονται οι μετρήσεις οι οποίες αφορούν στις παρουσιαζόμενες καθιζήσεις και στις καταγεγραμμένες παραμέτρους λειτουργίας των δύο μηχανημάτων EPB κατά την διάνοιξη της δίδυμης σήραγγας στον υπό μελέτη τομέα.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 16: ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟΥ
(α)TFCS2830_31, Χ.Θ.2834,7, (β)TFCS2843_31, Χ.Θ.2843,6, (γ)TFCS2862_01, Χ.Θ.2858,5 (δ)TFCS2870_01, Χ.Θ.2874,6

(α)

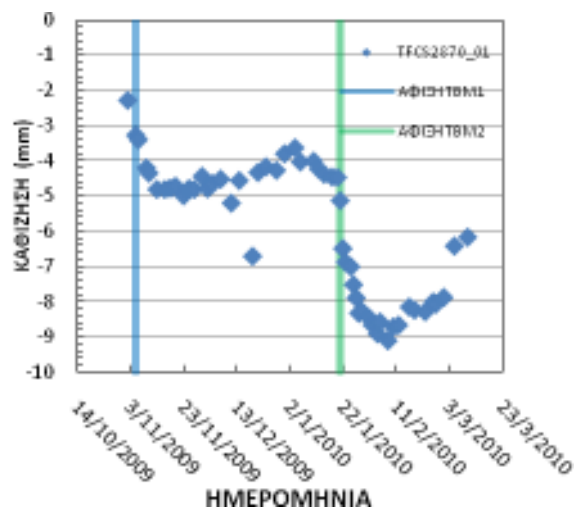
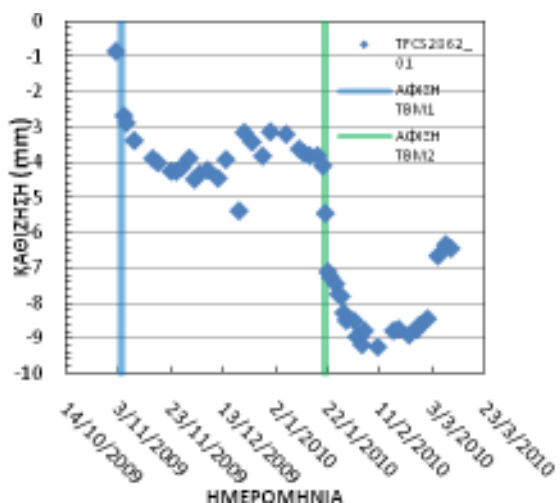


(β)



(γ)

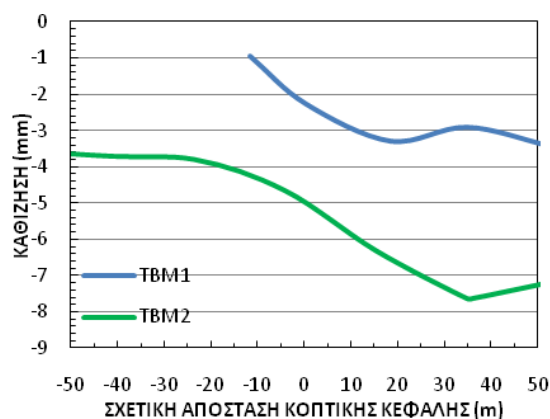
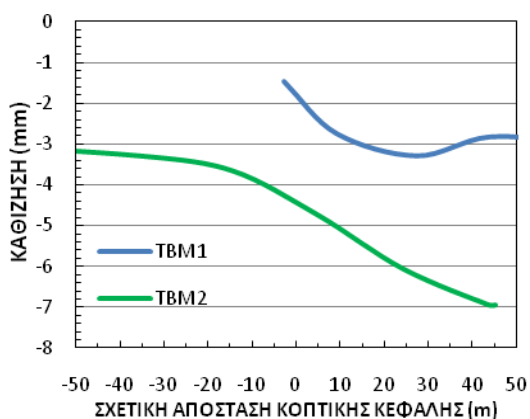
(δ)



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 17: ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟΥ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΟΠΤΙΚΗΣ ΚΕΦΑΛΗΣ (α)TFC2830_31, Χ.Θ.2834,7, (β)TFC2843_31, Χ.Θ.2843,6, (γ)TFC2862_01, Χ.Θ.2858,5 (δ)TFC2870_01, Χ.Θ.2874,6

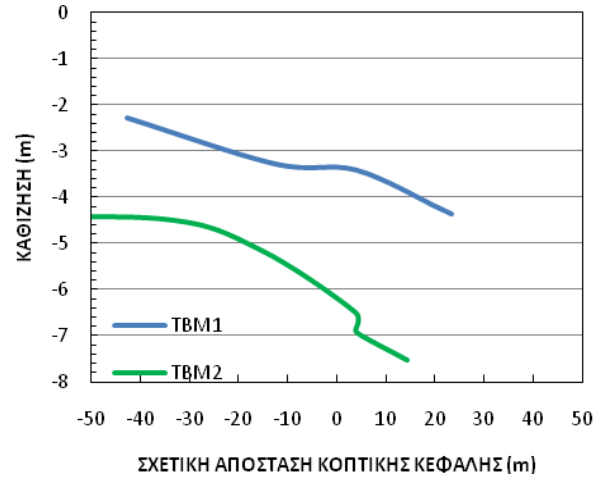
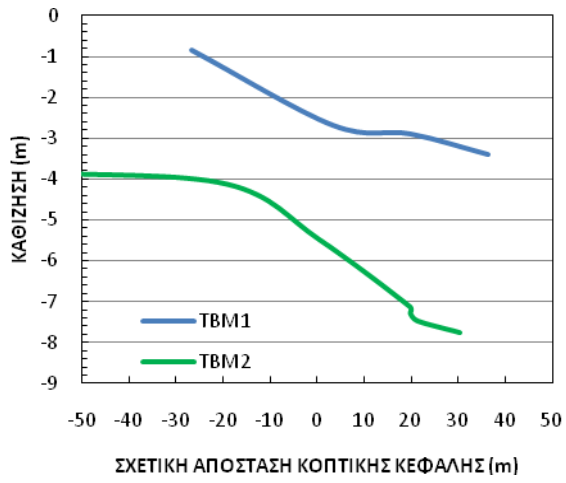
(α)

(β)



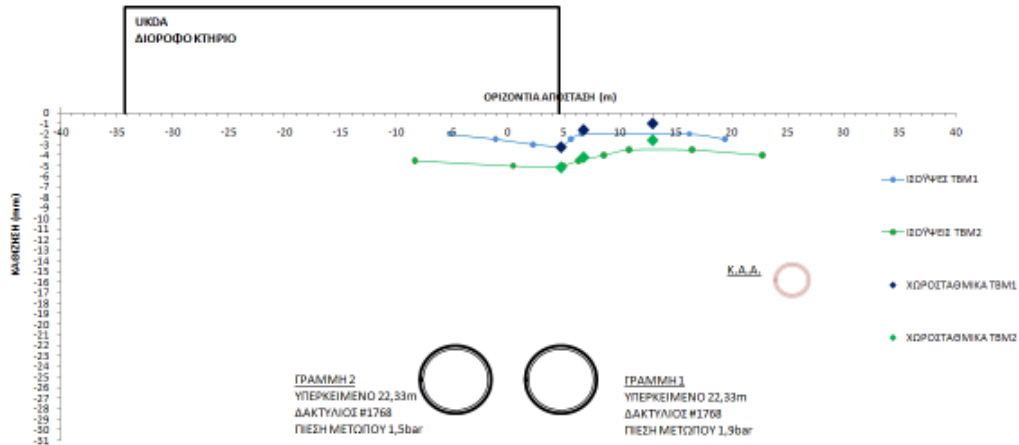
(γ)

(δ)

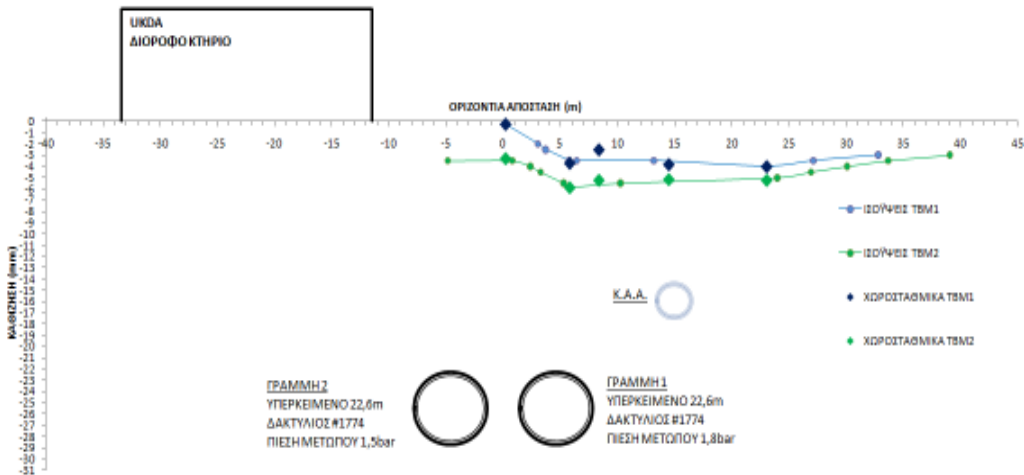


Παρουσιάζονται οι μετρήσεις κατακόρυφων μετακινήσεων οι οποίες αφορούν στα εγκάρσια ως προς τον άξονα της σήραγγας επίπεδα, καθώς και οι κατά μήκος των αξόνων των γραμμών.

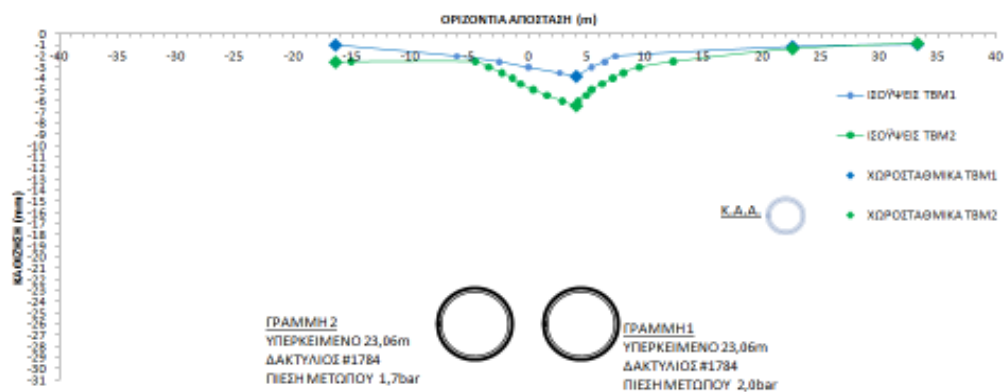
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 18α: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΤΗΝ Χ.Θ.2834,7.



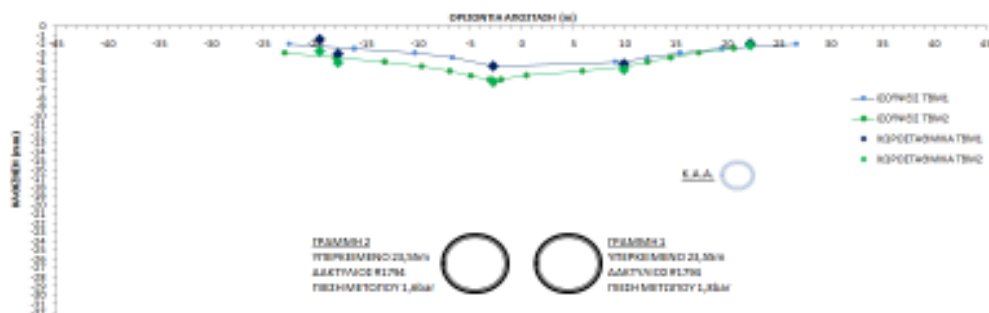
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 18β: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΤΗΝ Χ.Θ. Χ.Θ.2843,6.



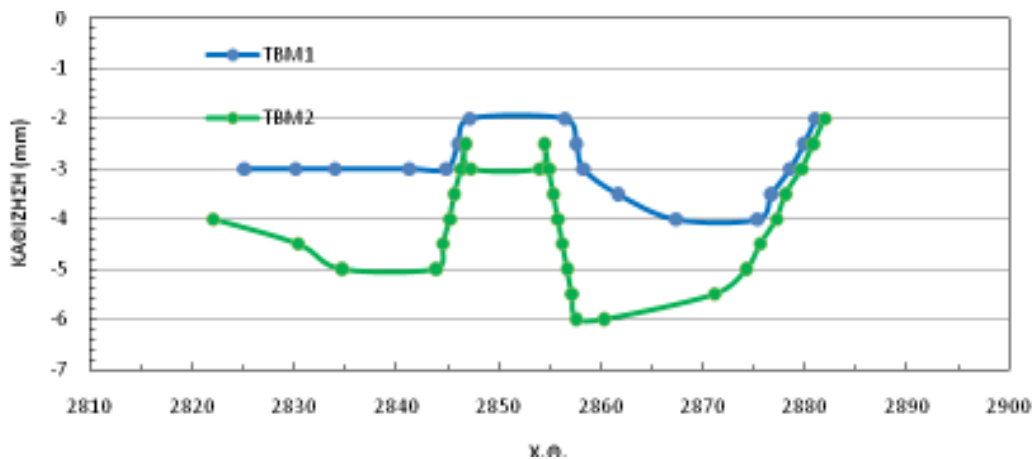
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 18γ: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΤΗΝ Χ.Θ.2858,5



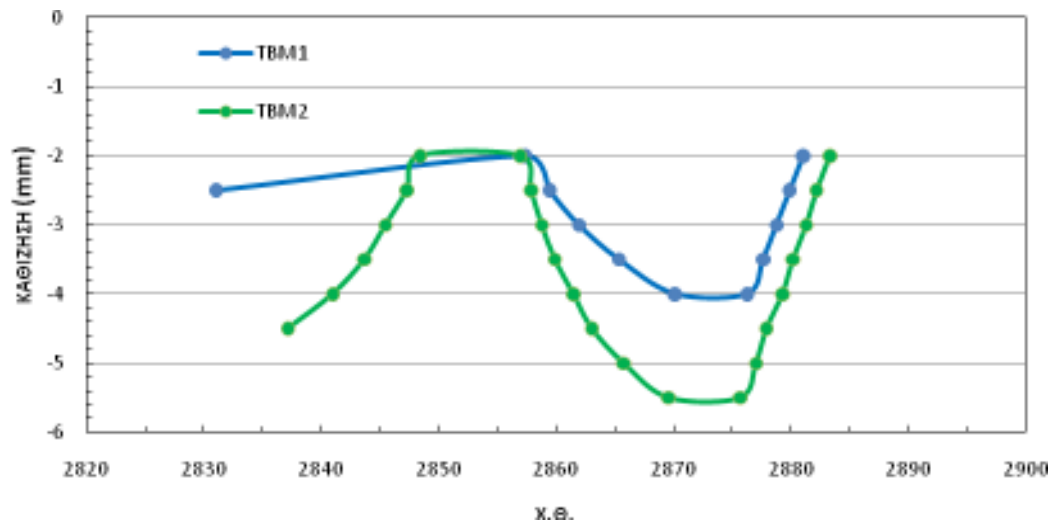
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 18δ: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΤΗΝ Χ.Θ.2874,6



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 19α: ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 1, Χ.Θ.2800 ΕΩΣ Χ.Θ.2870.

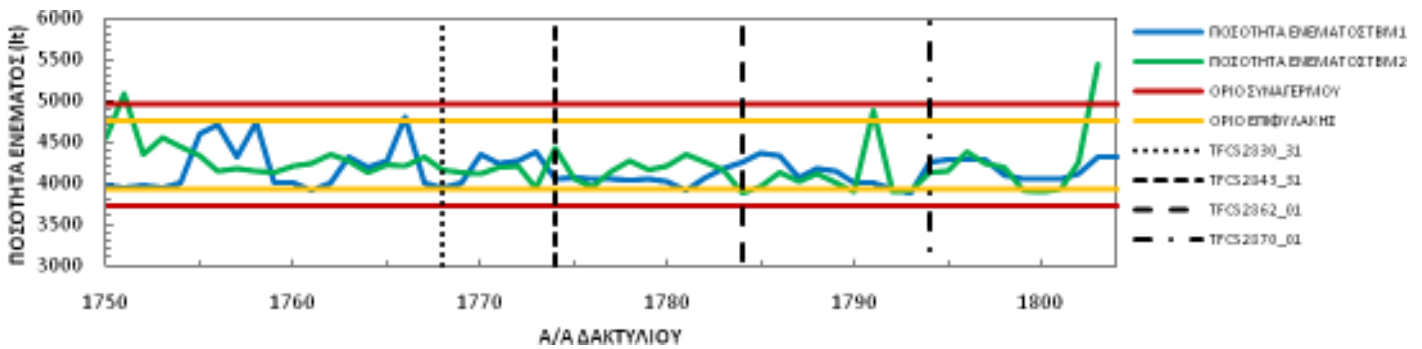


**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 19β: ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2, Χ.Θ.2800
ΕΩΣ Χ.Θ.2870**

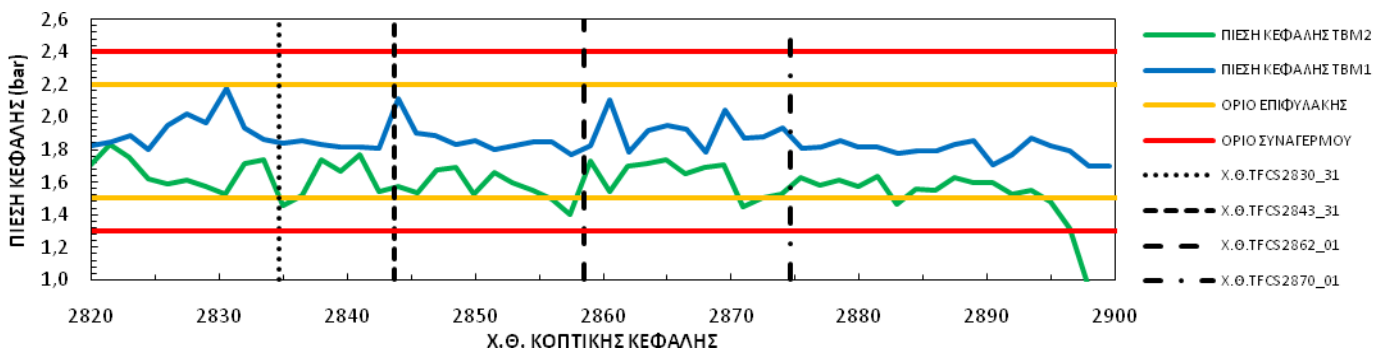


Οι καταγεγραμμένες παράμετροι λειτουργίας των δύο μηχανημάτων EPB κατά μήκος του υπό μελέτη τμήματος παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα όπως η διακύμανση αυτών καταγράφηκε κατά την διάνοιξη.

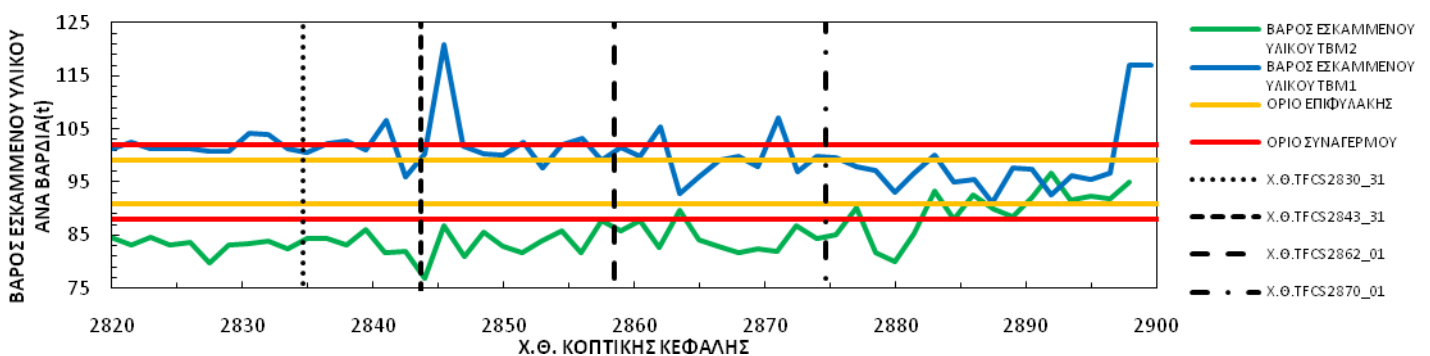
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 20α: ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΕΝΕΜΑΤΟΣ, Χ.Θ.2800 ΕΩΣ Χ.Θ.2870



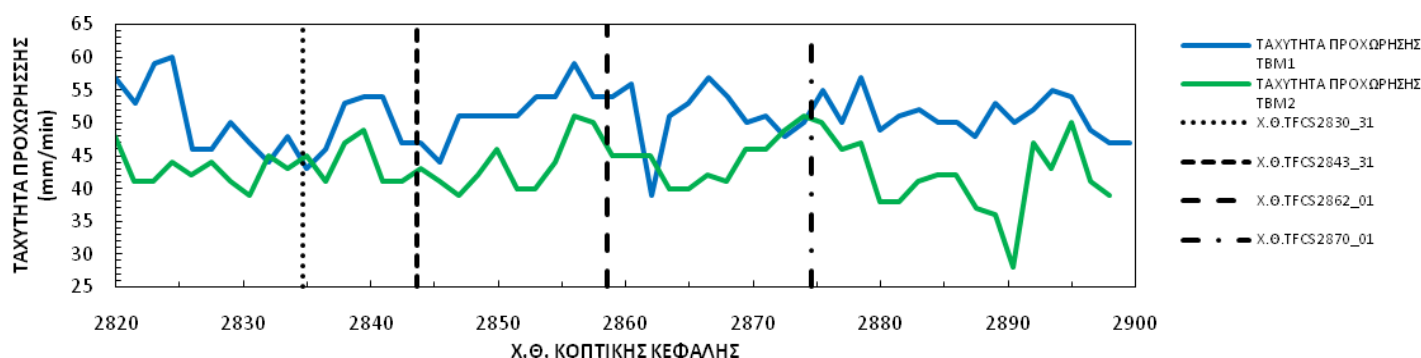
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 20β: ΠΙΕΣΗ ΚΕΦΑΛΗΣ, Χ.Θ.2800 ΕΩΣ Χ.Θ.2870



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 20γ: ΒΑΡΟΣ ΕΣΚΑΜΜΕΝΟΥ ΥΛΙΚΟΥ, Χ.Θ.2800 ΕΩΣ Χ.Θ.2870



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 20δ: ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ, Χ.Θ.2800 ΕΩΣ Χ.Θ.2870



Όπως διαφαίνεται από τα διαγράμματα 16 α, β, γ, δ το μεγαλύτερο ποσοστό των μέγιστων καθιζήσεων εμφανίζεται και εξελίσσεται κατά το διάστημα το οποίο το οποίο ορίζεται κατόπιν της διέλευσης του μηχανήματος 2. Υποδεικνύεται από τα διαγράμματα ότι ικανό ποσοστό των καθιζήσεων μετά την διέλευση του μηχανήματος 2 αποκαθίσταται, φαινόμενο το οποίο μπορεί να αποδοθεί τόσο σε φαινόμενα ανώσεως λόγω αποφόρτισης της περιοχής της σήραγγας από το βάρος του μηχανήματος διάνοιξης και του συστήματος υποστήριξης αυτού, όσο και σε πιθανή αποκατάσταση της πτώσης στάθμης του υφιστάμενου ελεύθερου υδροφόρου που προκλήθηκε λόγω στράγγισης κατά την διάνοιξη, με την τοποθέτηση των στοιχείων επένδυσης και της στεγανοποίησης του ανοίγματος

Σύμφωνα με τα διαγράμματα 17 β, γ και δ οι καθιζήσεις στις Χ.Θ.2843,6, Χ.Θ.2858,5 και Χ.Θ.2874,6 άρχονται κατά την προσέγγιση του μηχανήματος 1 –παρά το γεγονός ότι οι μετρήσεις των χωροσταθμικών σημείων TFCS2843_31, TFCS2862_01 και TFCS 2870_01 είναι μικρές και εντός του ορίου σφάλματος- και δεν εξελίσσονται έντονα μετά από την ικανή απομάκρυνσή του. Στις περιπτώσεις 17 γ και δ - TFCS2862_01 και TFCS 2870_01 – είναι εμφανής η τάση αποκατάστασης των καθιζήσεων μετά την απομάκρυνση του μηχανήματος. Και στα τέσσερα χωροσταθμικά σημεία παρατηρείται η επιρροή της προσέγγισης του μηχανήματος 2 στην εξέλιξη των καθιζήσεων.

Πλησίον ή και επί των θέσεων των δακτυλίων υποστήριξης 1768, 1774, 1784, 1794 εμφανίζεται πτώση της ποσότητας του ενέματος πλήρωσης (διάγραμμα 20α), η οποία και στις δύο περιπτώσεις –διάνοιξη γραμμής 1 και 2 αντίστοιχα- εγγίζει και παραβιάζει το κατώτερο όριο επιφυλακής για την περιοχή, γεγονός το οποίο υποδεικνύει μείωση του θεωρητικά υπολογισμένου όγκου της εσκαμμένης διατομής και συνεπεία σύγκλιση των τοιχωμάτων αυτής.

Αναφορικά με την μετρημένη εφαρμοζόμενη πίεση της κοπτικής κεφαλής (διάγραμμα 20β), εμφανίζεται σε όλες τις θέσεις -, Χ.Θ.2834,7, Χ.Θ.2843,6, Χ.Θ.2858,5 και Χ.Θ.2874,6 –να εγγίζει και να παραβαίνει το κατώτερο όριο επιφυλακής κατά την διάνοιξη της γραμμής 2. Κατά την διάνοιξη της γραμμής 1 η πίεση παραμένει εντός των προδιαγεγραμμένων ορίων επιφυλακής.

Το βάρος του εσκαμμένου υλικού κατά την διάνοιξη της γραμμής 1, σε όλες τις θέσεις των χωροσταθμικών παραβιάζει τα όρια επιφυλακής ή συναγερμού, γεγονός το οποίο κατά πως έχει αναφερθεί και προηγουμένως δυνητικά υποδηλώνει την πραγματοποίηση υπερκεσκαφής. Κατά την διάνοιξη της γραμμής 2 ευρίσκεται σε όλες τις περιπτώσεις μικρότερο του ορίου συναγερμού.

6 Καθιζήσεις λόγω διάνοιξης αβαθούς σήραγγας

Η πυκνότητα της χρήσης της γης, αποτελεί σημαντικό στοιχείο της κατασκευής νέας δημόσιας ή ιδιωτικής υποδομής. Αντίστοιχης σημασίας είναι η ολοένα αυξανόμενη κοινωνική ανάγκη για συγκοινωνιακή αποσυμφόρηση. Και τα δύο παραπάνω στοιχεία συνεισφέρουν στην αύξηση της χρήσης του υπόγειου χώρου και κατ' επέκταση στην αύξηση της κατασκευής υπογείων έργων.

Η κατασκευή νέων υπογείων υποδομών αναπόφευκτα οδηγεί σε επιπτώσεις στις υπερκείμενες υφιστάμενες κατασκευές δεδομένου ότι επί του παρόντος δεν υπάρχει σαφής κανονισμός για την αξιοποίηση του υπογείου χώρου.

Κατ' αρχή, η κατασκευή ενός υπογείου έργου είναι συνυφασμένη με την αβεβαιότητα των γεωλογικών συνθηκών, πόσο μάλλον των γεωτεχνικών παραμέτρων. Δεδομένου αυτού οι χρήστες της υφιστάμενης υπερκείμενης υποδομής θα επηρεαστούν είτε βραχυπρόθεσμα κατά την κατασκευή του έργου, είτε σε βάθος χρόνου, χωρίς βέβαια ο κάθε χρονικός ορίζοντας να αναιρεί τον άλλο.

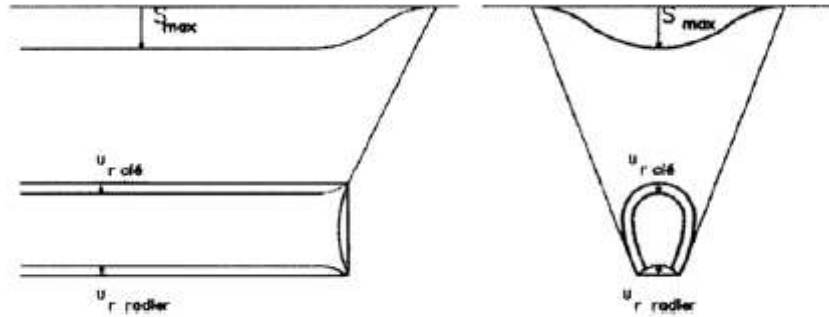
Η συμπεριφορά των υφιστάμενων κατασκευών στις προκαλούμενες από την σήραγγοποιεία καθιζήσεις εξαρτάται από την γεωμετρία τους, τον τύπο κατασκευής και την συνολική δομική τους κατάσταση. Η αξιολόγηση του μεγέθους των επιπτώσεων στα κτήρια δυσχεραίνεται δεδομένου ότι συνήθως η γνώση των παραμορφώσεων που έχουν υποστεί αυτά στο παρελθόν είναι μικρή, ειδικά μάλιστα όταν αυτές αφορούν την θεμελίωση των κατασκευών.

6.1 Οι προκαλούμενες από την διάνοιξη καθιζήσεις

Η συσχέτιση των επιφανειακών καθιζήσεων και του βάθους της σήραγγας, δεν είναι ούτε απλή, ούτε γραμμική. Στην πραγματικότητα οι εδαφικές μετακινήσεις εξαρτώνται από πλήθος παραγόντων όπως:

1. γεωλογικές, υδρογεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες
2. γεωμετρία της διατομής της σήραγγας και βάθος αυτής
3. μέθοδος όρυξης
4. ποιότητα των εργασιών καθώς και της διαχείρισης αυτών

Παρά ταύτα είναι προφανές ότι μία αβαθής σήραγγα θα έχει μεγαλύτερες επιπτώσεις στις επιφανειακές κατασκευές, εν σχέση με μία η οποία ορύσσεται σε μεγαλύτερο βάθος.

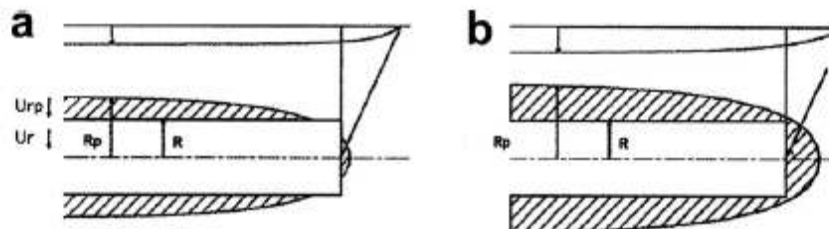


εικ.23 Τομές χαρακτηριστικών μορφών εδαφικών μετακινήσεων

Η κατασκευή μιας σήραγγας, αναπόφευκτα θα επηρεάσει το υφιστάμενο εντατικό πεδίο καθώς και τις υδρογεωλογικές συνθήκες. Η μεταβολή αυτή του φυσικού εντατικού πεδίου συνήθως συνοδεύεται από μία ταχεία μετατόπιση του μετώπου προς το εσωτερικό της σήραγγας (εκβολή μετώπου) και από την σύγκλιση των τοιχωμάτων της σήραγγας(εικ.1). Σε μαλακά συνεκτικά εδάφη, είναι επιπλέον δυνατή η παρατήρηση παραμορφώσεων ως αποτέλεσμα της αλλαγής της πίεσης των πόρων, γεγονός το οποίο επίσης οφείλεται στην εξέλιξη των εργασιών της κατασκευής.

Η έκταση, ο προσανατολισμός και η θέση των εδαφικών μετακινήσεων γύρω από το υπόγειο άνοιγμα, εξαρτώνται από τις γεωτεχνικές συνθήκες οι οποίες απαντώνται, τις υφιστάμενες γεωστατικές τάσεις και επιφανειακά φορτία, τις υδρογεωλογικές συνθήκες καθώς και από τις τεχνικές οι οποίες εφαρμόζονται τόσο για την διάνοιξη όσο και την υποστήριξη του ανοίγματος. Στις περιοχές όπου υπερβαίνεται η αντοχή της εδαφομάζας, παρατηρούνται σημαντικές μετακινήσεις τόσο από πλευρά έκτασης όσο και επιτάχυνσης. Πιθανό αποτέλεσμα αυτών είναι η δημιουργία επιφανειών διάτμησης (ολίσθησης) στην εδαφομάζα, με επιζήμιες επιπτώσεις αναφορικά με την απαίτηση υποστήριξης (φορτία βαρύτητας) αλλά και περιορισμού των εδαφικών μετακινήσεων.

Συνήθως, η κατασκευή ενός ανυποστήρικτου ανοίγματος σε μαλακό έδαφος οδηγεί σε μεγάλης έκτασης εδαφικές μετακινήσεις οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν την δημιουργία μίας ζώνης αστοχίας πίσω από το μέτωπο(εικ.2). Σε εδάφη με πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά, η ζώνη αυτή είναι δυνατό να επεκταθεί προς την περιοχή μπροστά από το μέτωπο της σήραγγας.



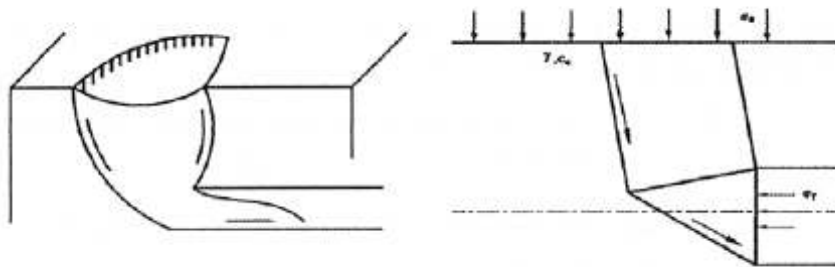
Εικ.24 Πλαστική ζώνη πίσω(a) και εμπρός(b) από το μέτωπο της εκσκαφής

Η ορθή εκτίμηση του κινδύνου αστοχίας του μετώπου, είναι απαραίτητη τόσο όσο αφορά στην εξασφάλιση ασφαλών συνθηκών εργασίας όσο και στην εκτίμηση της πιθανότητας εκδήλωσης καθιζήσεων μεγάλης κλίμακας, δεδομένου ότι οι εδαφικές μετακινήσεις στην περιοχή του μετώπου αποτελούν κύριο αίτιο πρόκλησης επιφανειακών καθιζήσεων.

6.2 Ευστάθεια μετώπου

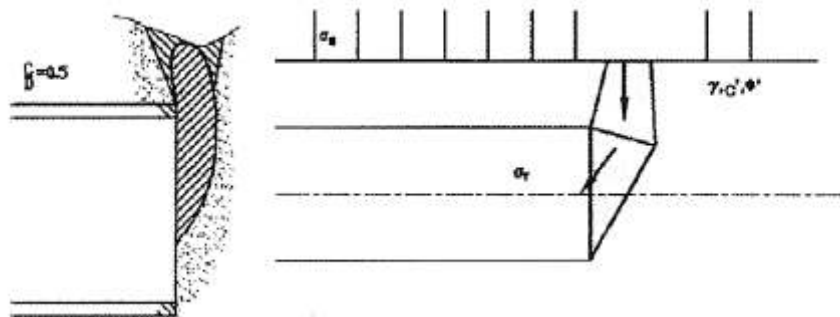
Η ανάλυση της ευστάθειας του μετώπου προσφέρει ενδείξεις των πιθανότερων μηχανισμών αστοχίας, καθώς και διευκρινίζει τις παραμέτρους εκείνες οι οποίες πρέπει να αξιολογηθούν για την εκτίμηση των προκαλούμενων από την διάνοιξη εδαφικών μετακινήσεων. Βάσει της φύσης των εδαφών τα οποία απαντώνται, παρατηρούνται δύο τύποι μηχανισμών αστοχίας.

Στην περίπτωση συνεκτικών εδαφών, η αστοχία του μετώπου επηρεάζει μεγάλο μέγεθος εδαφικό όγκο μπροστά από αυτό(εικ.3). Ο μηχανισμός αυτός οδηγεί σε κατακρήμνιση η οποία επεκτείνεται μέχρι την επιφάνεια δημιουργώντας σπή πλάτους μεγαλύτερου της διαμέτρου της σήραγγας.



εικ.25 Τυπική μορφή κατάρρευσης μετώπου εκσκαφής σε συνεκτικό έδαφος

Στην περίπτωση των μη συνεκτικών εδαφών, η αστοχία έχει την μορφή καμινάδας η οποία επεκτείνεται πάνω από το μέτωπο της σήραγγας(εικ.4).



εικ.26 Τυπική μορφή κατάρρευσης μετώπου σε ξηρή αμμο

Και οι δύο μηχανισμοί έχουν επιβεβαιωθεί σε δοκιμές φυγοκεντρική που πραγματοποιήθηκαν σε αργίλους (εικ.3) και ξηρή άμμο (εικ.4). Αυτά τα συμπεράσματα συμφωνούν με τα αποτελέσματα που παρέχονται από θεωρητικές μελέτες (Chambon & Corte, 1989; Chambon & Corte, 1990; Leca & Dormieux, 1990; Leca & Dormieux, 1992; Leca & Panet, 1988) καθώς επίσης και με τις παρατηρήσεις πεδίου (Clough & Leca, EPB shield tunneling in mixed face conditions, 1993).

Οι παραπάνω μηχανισμοί είναι βασισμένοι στην θεώρηση ιδανικών συνθηκών και επομένως πρέπει να προσαρμόζονται αναλόγως στις επί τόπου συνθήκες όπως μη ομογενή εδάφη, παρουσία υπογείων υδάτων και υφιστάμενη υδραυλική κλίση.

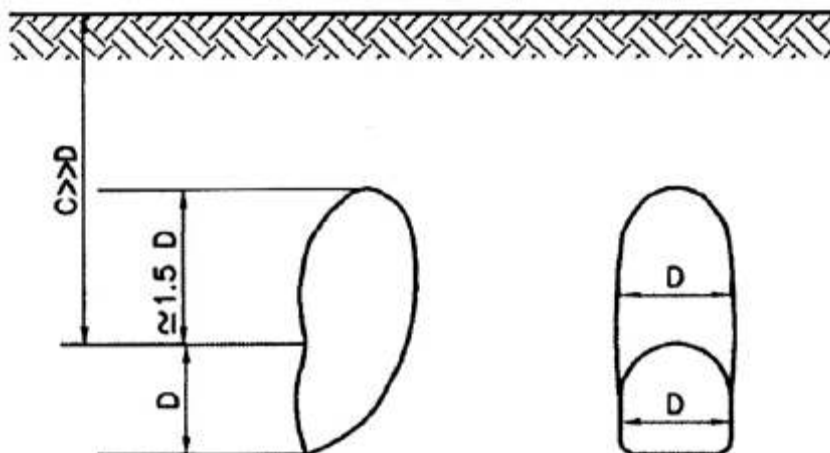
Ειδικά στην περίπτωση αμμωδών εδαφών στα οποία εμφανίζονται υπόγεια ύδατα, η ευστάθεια αυτών καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τις υφιστάμενες υδραυλικές κλίσεις οι οποίες αυξάνονται από τα φαινόμενα διηθήσεως στην περιοχή του μετώπου.

6.3 Επέκταση των μετακινήσεων προς την επιφάνεια

Οι εδαφικές μετακινήσεις οι οποίες ξεκινούν στην υπό διάνοιξη σήραγγα τείνουν να επεκταθούν στην επιφάνεια. Η έκτασή τους και η χρονική τους εξέλιξη, τυπικά εξαρτάται από τις γεωτεχνικές συνθήκες, τις γεωμετρικές συνθήκες καθώς και τις εφαρμοζόμενες κατασκευαστικές μεθόδους.

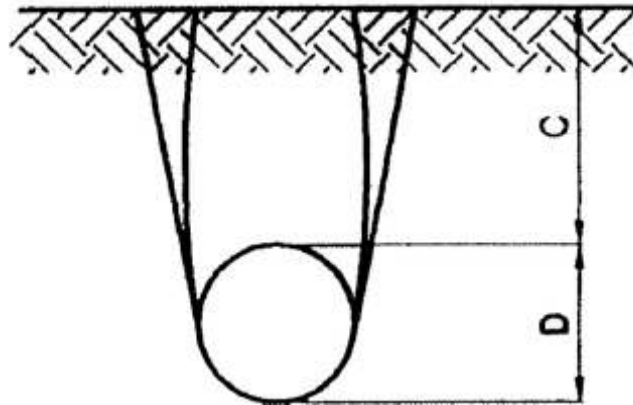
Βάσει των επί τόπου μετρήσεων και παρατηρήσεων έχουν αναγνωρισθεί δύο τύποι επέκτασης των μετακινήσεων. Οι τύποι αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση, σε ένα εγκάρσιο επίπεδο, του βαθμού της επέκτασης των μετακινήσεων οι οποίες αρχικά εμφανίζονται στο υπόγειο άνοιγμα (Pantet, 1991).

Πρωτεύων τύπος (εικ.5). Ο τύπος αυτός λαμβάνει χώρα καθώς οι εδαφικές τάσεις (επί τόπου) αποτονώνονται στο μέτωπο. Χαρακτηρίζεται από την δημιουργία μιας ζώνης χαλάρωσης, υπερκείμενης της εκσκαφής. Το ύψος αυτής της ζώνης τυπικά κυμαίνεται μεταξύ του 100 έως 150 τοις εκατό της διαμέτρου του ανοίγματος και το πλάτος αυτής είναι περίπου ίσο με μία διάμετρο. Δύο ζώνες σύνθλιψης σχηματίζονται εκατέρωθεν κατά μήκος της κάθετης διεύθυνσης. Σε βαθύτερες σήραγγες (λόγος $C/D > 2.5$), η επίδραση της διάνοιξης στην επιφάνεια περιορίζεται (Cording & Hansmire, 1975; Leblais & Bochon, 1991; Pantet, 1991).



εικ.27 Πρωτεύων τύπος: βασική μορφή σε κατά μήκος και εγκάρσιο επίπεδο

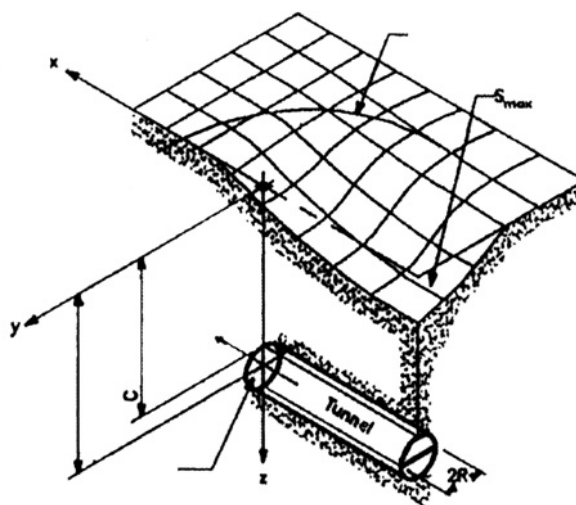
Δευτερεύων τύπος(εικ.6). Ο τύπος αυτός λαμβάνει χώρα όταν το εδαφικό κάλυμμα είναι μικρού πάχους (λόγος $C/D < 2.5$) και η υποστήριξη του ανοίγματος είναι ανεπαρκής (ανεπαρκώς άκαμπτη). Οι συνθήκες αυτές οδηγούν στην διαμόρφωση ενός ενιαίου εδαφικού τεμάχου (μπλόκ) το οποίο ορίζεται από δύο ή περισσότερες ζώνες διάτμησης οι οποίες επεκτείνονται από την σήραγγα προς την επιφάνεια. Οι εδαφικές μετακινήσεις στην επιφάνεια άνω της σήραγγας είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με αυτές οι οποίες παρουσιάζονται στο άνοιγμα.



εικ.28 Δευτερεύων τύπος: βασική μορφή σε κατά μήκος και εγκάρσιο επίπεδο

Οι παραπάνω τύποι εδαφικής απόκρισης συνήθως οδηγούν σε οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις οι οποίες τείνουν να αναπτύσσονται στην επιφάνεια καθώς η διάνοιξη εξακολουθεί. Αποτέλεσμα αυτού είναι η λεκάνη καθιζήσεων.

Προς ευχέρεια αξιολόγησης η παρατηρούμενη στον χώρο λεκάνη καθιζήσεων τυπικά περιγράφεται από τις καμπύλες που την περιγράφουν σε εγκάρσια και κατά μήκος τομή σε αναφορά με τον άξονα της σήραγγας.

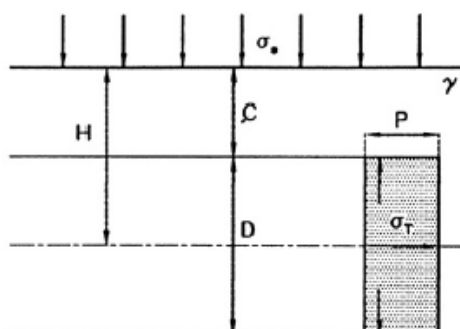


Εικ 29. Τριδιάστατη απεικόνιση λεκάνης καθιζήσεων

6.4 Κύριοι παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν την ευστάθεια του ανοίγματος κατά την κατασκευή.

Ανεξαρτήτως της φύσης του εδάφους, το μέγεθος και η κατανομή των καθιζήσεων λόγω της διάνοιξης καθορίζονται από τη στρωμάτωση (επί παραδείγματι εναλλασσόμενα ετερογενή στρώματα), την παραμορφωσιμότητα (βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα) και την προκαλούμενη καθώς και φυσική ανισοτροπία (αντοχή και παραμορφωσιμότητα). Επιπλέον καθοριστικής σημασίας ρυθμιστικός παράγοντας της εδαφικής απόκρισης στην διάνοιξη της σήραγγας είναι οι επί τόπου υδρογεωλογικές συνθήκες. Για παράδειγμα αναφέρεται η εξάρτηση του χρόνου αυτοϋποστήριξης από την υδροπερατότητα του εδάφους.

Θεωρητικές και πειραματικές εργασίες οι οποίες αφορούν στην ευστάθεια του μετώπου έχουν επιτρέψει την αναγνώριση εκείνων των παραμέτρων οι οποίες σε συνδυασμό με τις συνθήκες ροής των υπογείων υδάτων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον χαρακτηρισμό της ευστάθειας του ανοίγματος. Οι ανωτέρω παράμετροι περιγράφονται παραστατικά στο σκαρίφημα το οποίο παρατίθεται(εικ.6).



εικ.30 Παράμετροι ευστάθειας του μετώπου

❖ Πολύ συνεκτικά εδάφη (άργιλοι)

Για σήραγγες σε αργιλικά εδάφη, ο συντελεστής υπερφόρτισης ορίζεται (Broms & Bennemark, 1967) ως:

$$N = \frac{\gamma H}{s_u}$$

Όπου H είναι το βάθος μέχρι τον άξονα της σήραγγας, γ το ειδικό βάρος του εδάφους και s_u η διατμητική αντοχή του εδάφους σε κορεσμένη κατάσταση πριν από την εκσκαφή. Ο συγκεκριμένος συντελεστής θεωρείται κύριος για την εκτίμηση της ευστάθειας του μετώπου.

Πρέπει να ληφθούν υπόψη ακόμη δύο παράγοντες: ο λόγος $\frac{C}{D}$ και ο λόγος $\frac{\gamma D}{s_u}$, όπου C το πάχος του εδαφικού καλύμματος και D η διάμετρος της σήραγγας.

Ο λόγος $\frac{C}{D}$ αφορά στην επίδραση του βάθους στην ευστάθεια, ενώ ο λόγος $\frac{\gamma D}{s_u}$ εκτιμά την πιθανότητα εμφάνισης τοπικών αστοχιών στο μέτωπο.

Στην γενικότερη περίπτωση όπου συνυπολογίζονται επιφανειακά φορτία και πίεση υποστήριξης στο μέτωπο, ο συντελεστής υπερφόρτισης παίρνει την μορφή:

$$N = \frac{\gamma H + \sigma_S - \sigma_T}{s_u}$$

Όπου σ_S : το επιβαλλόμενο επιφανειακό φορτίο

σ_T : η επιβαλλόμενη πίεση υποστήριξης στο μέτωπο

Επί τόπου παρατηρήσεις (Peck, 1969) υποδεικνύουν ότι τιμές του συντελεστή N μεταξύ 5 και 7, συνήθως οδηγούν σε κατασκευαστικές δυσκολίες και είναι πιθανό να προκύψει αστάθεια του μετώπου.

Όσον αφορά στους λόγους $\frac{C}{D}$ και $\frac{\gamma D}{s_u}$ μπορούν να διατυπωθούν τα παρακάτω γενικά κριτήρια :

$\frac{C}{D} \triangleleft 2 \Rightarrow$ απαιτείται ενδελεχής ανάλυση της ευστάθειας του μετώπου

$\frac{\gamma D}{s_u} \triangleleft 4 \Rightarrow$ τοπικές αστοχίες μπορούν να σημειωθούν στο μέτωπο

Επιπλέον πρέπει να ληφθεί μέριμνα σε περίπτωση που η υποστήριξη της σήραγγας τοποθετείται σε απόσταση P πίσω από το μέτωπο, όπου η ευστάθεια του μετώπου εξαρτάται από τον λόγο P/D (Schofield, 1980).

Οι ανωτέρω παράμετροι, οι οποίες ελέγχουν την ευστάθεια της εδαφομάζας στην περιοχή του μετώπου, μπορούν να επηρεάσουν τις εδαφικές καθιζήσεις όταν το εδαφικό υλικό υποβάλλεται σε τάσεις μεγέθους τέτοιου το οποίο εγγίζει την διατμητική του αντοχή. Σημειώνεται ότι ο συντελεστής υπερφόρτισης N έχει συσχετιστεί με το μέγεθος των επιφανειακών καθιζήσεων (Brand & Brenner, 1981)

Μη συνεκτικά εδάφη (άμμοι)

Το μέτωπο μιας σήραγγας σε μη συνεκτικό έδαφος, κατ' αρχή δεν μπορεί να ευσταθεί. Παρά ταύτα, οι συγκεκριμένες εδαφικές συνθήκες συνήθως παρουσιάζουν μια μικρή συνοχή η οποία τουλάχιστο προσωρινά, θα επηρεάσει τις συνθήκες ευστάθειας (επί παραδείγματι τριχοειδείς τάσεις).

Επί πλέον οι παράγοντες αστάθειας σε τέτοιας φύσης εδάφη είναι δύσκολο να εκτιμηθούν δεδομένου ότι η υπάρχουσα εμπειρία στις εν λόγω συνθήκες είναι πρόσφατη και συγκριτικά περιορισμένη. Επιβάλλεται επίσης να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι η διάδοση της εδαφικής κίνησης προς την επιφάνεια επηρεάζεται από άλλες παραμέτρους όπως η παραμοσφωσιμότητα και η ανισοτροπία του εδάφους (Lee & Rowe, 1989).

Θεωρητικές και πειραματικές μελέτες αναφορικά με τις ξηρές άμμους, υποδεικνύουν ότι το βάθος της σήραγγας (λόγος C/D) επιδρά σε μικρότερο βαθμό εν συγκρίσει με τα συνεκτικά εδάφη, όπου η διάμετρος της σήραγγας είναι καθοριστικής σημασίας, και οι συνθήκες ευστάθειας ρυθμίζονται πρωτίστως από τον λόγο $\frac{\gamma D}{\sigma_T}$ και την γωνία εσωτερικής τριβής του εδάφους, φ' .

Συνεκτικά εδάφη με γωνία εσωτερικής τριβής

Η ευστάθεια του μετώπου σε συνεκτικό έδαφος με γωνία εσωτερικής τριβής ελέγχεται από τις εξής τέσσερις παραμέτρους:

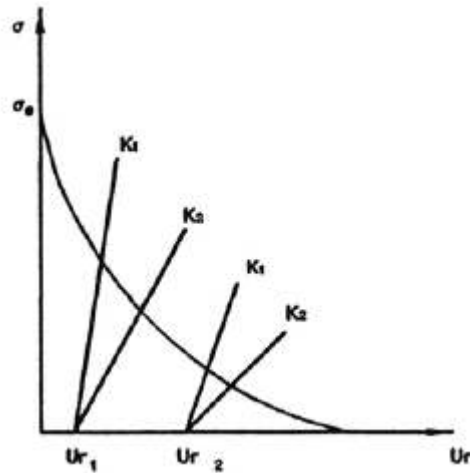
$$\frac{\gamma H}{\sigma_c}, \frac{\gamma D}{\sigma_c}, \frac{\sigma_T}{\sigma_c} \text{ και } \varphi'$$

Όπου: $\sigma_c = \frac{2c' \cos \varphi'}{1 - \sin \varphi'}$

6.4.1 Σύγκλιση του ανοίγματος

Πέραν της ευστάθειας του μετώπου, η εδαφική κίνηση επηρεάζεται από τις συγκλίσεις της επένδυσης της σήραγγας.

Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι βασικός παράγοντας για τον περιορισμό της σύγκλισης των τοιχωμάτων είναι η έγκαιρη τοποθέτηση ενός άκαμπτου συστήματος υποστήριξης πίσω από το μέτωπο της σήραγγας ή ακόμη και μπροστά από αυτό (προϋποστήριξη). Τα παραπάνω περιγράφονται από το διάγραμμα σύγκλισης-αποτόνωσης (εικ.31), όπου είναι εμφανές ότι ένα άκαμπτο σύστημα υποστήριξης ($K_1 > K_2$) τοποθετημένο πλησίον του μετώπου ($U_{r1} < U_{r2}$), συνεισφέρει στον περιορισμό των συγκλίσεων ενώ παράλληλα αναλαμβάνει μεγαλύτερο φορτίο.

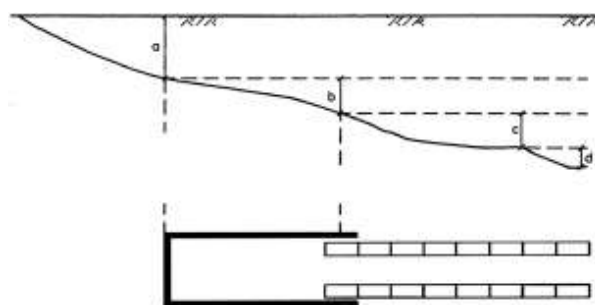


εικ.31 Διάγραμμα σύγκλισης-αποτόνωσης

6.5 Αιτία προκαλούμενων εκ κατασκευής καθιζήσεων

Γενικώς, οι μετακινήσεις στο κατά μήκος της σήραγγας επίπεδο ξεκινούν μπροστά από το μέτωπο και αυξάνονται μέχρι της τοποθέτησης πλήρους συστήματος υποστήριξης. Επομένως πρέπει διακριθούν οι καθιζήσεις εκείνες οι οποίες οφείλονται στις μεθόδους όρυξης οι οποίες εφαρμόζονται στο μέτωπο από αυτές οι οποίες λαμβάνουν χώρα πίσω από το μέτωπο.

Δεδομένης της σημαντικής προόδου η οποία έχει πραγματοποιηθεί σε αυτόν τον τομέα με την χρήση ασπίδων και των συνοδών τεχνικών, πρέπει να διακρίνεται η διάνοιξη με μηχανοποιημένες μεθόδους ολομέτωπης όρυξης με χρήση ασπίδας από τις συμβατικές μεθόδους τμηματικής εκσκαφής.



εικ.32: μορφή καθιζήσεων κατά την διάνοιξη μηχανήματος κλειστού τύπου

Διάνοιξη με χρήση ασπίδας

Οι καθιζήσεις οι οποίες προκαλούνται από την διάνοιξη σηράγγων με μηχανοποιημένες μεθόδους οι οποίες προϋποθέτουν την χρήση ασπίδας, είναι δυνατό να διακριθούν ως εξής (εικ.31):

- ❖ Καθιζήσεις εμπρός και πίσω από το μέτωπο
- ❖ Καθιζήσεις κατά μήκος της ασπίδας
- ❖ Καθιζήσεις στο ουραίο τμήμα της ασπίδας
- ❖ Καθιζήσεις εξαιτίας των παραμορφώσεων της επένδυσης

6.5.1 Καθιζήσεις εμπρός και πίσω από το μέτωπο

Οι καθιζήσεις στην περιοχή του μετώπου οφείλονται σε εδαφικές μετακινήσεις οι οποίες πραγματοποιούνται εμπροσθεν και άνω της ασπίδας με φορά προς το άνοιγμα. Οι μετακινήσεις αυτές εξαρτώνται από τον βαθμό ενδοτικότητας της υποστήριξης στο μέτωπο της σήραγγας, τις ιδιότητες του εδάφους, και το καθεστώς των υπογείων υδάτων.

6.5.2 Καθιζήσεις κατά μήκος της ασπίδας

Μετρήσεις οι οποίες έχουν ληφθεί πάνω από σήραγγες οι οποίες ορύσσονται με μηχανοποιημένες μεθόδους οι οποίες προϋποθέτουν την χρήση ασπίδας, υποδεικνύουν ότι οι εδαφικές κινήσεις σπανίως σταθεροποιούνται στο ουραίο τμήμα αυτής, καθώς και ότι ο χρόνος αντίδρασης του περιβάλλοντος εδάφους απομειώνεται καθώς το πάχος του υπερκειμένου αυξάνει. Οι περιορισμένες στον αριθμό υπάρχουσες παρατηρήσεις των φαινομένων αυτών, υποδηλώνουν ότι οι μετακινήσεις εξελίσσονται προς την επιφάνεια με σταθερή ταχύτητα για δεδομένο τύπο εδάφους (Pantet, 1991).

Οι καθιζήσεις κατά μήκος της ασπίδας κυρίως οφείλονται στα κάτωθι:

- Υπερεκσκαφή η οποία πραγματοποιείται από περιφερειακά τοποθετημένα κοπτικά και αποσκοπεί στην μόρφωση ελαφρά μεγαλύτερης διαμέτρου από αυτήν της ασπίδας προς απομείωση της δύναμης τριβής επί του τοιχώματος αυτής καθώς και στην διευκόλυνση στην προχώρηση του μηχανήματος σε καμπύλη τροχιά.
- Δυσχέρεια στην καθοδήγηση της ασπίδας, ειδικά σε σχέση με την τάση που αυτή έχει να βυθίζεται, χαρακτηριστικό το οποίο επιβάλλει την οδήγησή της υπό κλίση ανοδική. Επιπρόσθετα η τάση της ασπίδας να στρέφεται, οδηγεί σε εκσκαφή πλατύτερη από το μηχανήμα, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η απόκλιση της πραγματικής από την θεωρητική διατομή.
- Απομείωση της διατομής της ασπίδας (κωνικότητα, εφόσον υφίσταται)
- Τραχύτητα της κοπτικής κεφαλής, η οποία σε συνέργια με τις δυνάμεις τριβής και την διάτμηση του εδαφικού υλικού να ενεργοποιήσουν μετακινήσεις μπροστά από το μέτωπο και άνω της κεφαλής.

6.5.3 Καθιζήσεις στο ουραίο τμήμα της ασπίδας.

Στο ουραίο τμήμα της ασπίδας, δημιουργείται κενό μεταξύ της περιφέρειας της εκσκαφής και της εξωτερικής περιφέρειας της προκατασκευασμένης υποστήριξης εξαιτίας παραγόντων όπως:

- Η δημιουργία κενού κατά μήκος της ασπίδας.
- Το πάχος της ουραίας ασπίδας το οποίο διακυμαίνεται αναλόγως του τύπου αυτής και της διαμέτρου της σήραγγας
- Του διάκενου μεταξύ της εσωτερικής επιφάνειας της ουραίας ασπίδας και της εξωτερικής επιφάνειας του προκατασκευασμένου στοιχείου υποστηρίξεως.

Το μέγεθος των επιφανειακών καθιζήσεων εξαρτάται από την κατάλληλη πλήρωση του κενού στην ουραία ασπίδα.

Σημειώνεται ότι τα παραπάνω αφορούν στην περίπτωση όπου η τοποθέτηση των προκατασκευασμένων στοιχείων της υποστήριξης πραγματοποιείται στο εσωτερικό της ουραίας ασπίδας και δεν ισχύουν σε μεθόδους όπως η μέθοδος προκατασκευασμένων διαστελλόμενων τμημάτων επένδυσης. Η τελευταία μέθοδος είναι περιορισμένης εφαρμογής αναφορικά με τον έλεγχο των επιφανειακών καθιζήσεων εξαιτίας του μεγέθους του βαθμού αποτόνωσης των τάσεων που παράγουν στο έδαφος.

6.5.4 Καθιζήσεις εξαιτίας της παραμόρφωσης της υποστήριξης

Τα τοποθετούμενα στην ουραία ασπίδα προκατασκευασμένα από σκυρόδεμα στοιχεία της υποστήριξης πρέπει να είναι ικανής αντοχής ώστε να παραλάβουν το φορτίο το οποίο δημιουργούν τα έμβολα προώθησης. Η ακτινική παραμόρφωση της υποστήριξης παραμένει σε αποδεκτά επίπεδα εφόσον το δημιουργούμενο διάκενο στην ουραία ασπίδα είναι επαρκώς ενεματωμένο.

6.6 Επίδραση των υπογείων υδάτων

Πληθώρα παραδειγμάτων τόσο δυσχερειών όσο και ατυχημάτων (αστοχιών) κατά την κατασκευή υπογείων έργων οφείλονται στην παρουσία υπογείων υδάτων. Τονίζεται ότι ο έλεγχος των υπογείων υδάτων αποτελεί προϋπόθεση για την επιτυχή ολοκλήρωση υπογείων έργων.

Οι καθιζήσεις οι οποίες οφείλονται στην παρουσία υπογείων μπορούν κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

Περίπτωση πρώτη: εκδήλωση καθιζήσεων κατά την διάρκεια της κατασκευής του έργου.

Ο καταβιβασμός της στάθμης του υδροφόρου, πριν την διάνοιξη (με αποστράγγιση) ή ως συνέπεια αυτής, μπορεί να οδηγήσει στην άμεση εμφάνιση καθιζήσεων σε στρώματα ή φακούς συμπιεστών εδαφών, καθώς και σε αποσαθρωμένα βραχώδη υλικά.

Η επίδραση του καταβιβασμού του υδροφόρου ποικίλει αναλόγως με το μέγεθος και την ακτίνα επιρροής:

Όταν αυτός είναι τοπικός, οι προκαλούμενες παραμορφώσεις συχνά ρέπουν στην δημιουργία μεγάλων διαφορικών καθιζήσεων οι οποίες επηρεάζουν τις υπερκείμενες κατασκευές.

Στην περίπτωση που αυτός είναι μεγαλύτερης έκτασης, οι επιπτώσεις είναι λιγότερο σοβαρές.

Η παρουσία υπογείων υδάτων στην περιοχή του μετώπου της διάνοιξης μπορεί να προκαλέσει καθιζήσεις ως αποτέλεσμα:

-της απομείωσης των μηχανικών χαρακτηριστικών και επακόλουθης αύξησης των εδαφικών παραμορφώσεων στην περιοχή του μετώπου καθώς και στις παρειές της σήραγγας, εξαιτίας της υδραυλικής κλίσης

-επιδείνωσης των επιπτώσεων προϋπάρχουσων μηχανικών ασταθειών

-επιδείνωσης των μηχανικών χαρακτηριστικών στο επίπεδο του ανάστροφου τόξου, ειδικά στην περίπτωση της εφαρμογής μεθόδου τμηματικής εκσκαφής όπου παρίσταται κίνδυνος διάτρησης του εδάφους στο επίπεδο αυτό από την προσωρινή υποστήριξη εξαιτίας της απώλειας περιορισμού.

Περίπτωση δεύτερη: η δεύτερη περίπτωση αφορά σε καθιζήσεις οι οποίες εμφανίζονται με χρονική υστέρηση και συνήθως παρατηρούνται σε μαλακά συμπιεστά εδάφη. Η διαδικασία διάνοιξης μιας σήραγγας μπορεί να οδηγήσει σε τοπικού χαρακτήρα αύξηση των τάσεων και συνεπακόλουθη αύξηση της πίεσης των πόρων. Αντίστοιχοι μηχανισμοί μπορούν να αναπτυχθούν σε μεγαλύτερη κλίμακα στην περίπτωση εφαρμογής μεθόδων μηχανοποιημένης όρυξης με μηχανήματα εξισορρόπησης πίεσης μετώπου (EPB TBM, slurry). Επιπλέον, η διήθηση προς τις παρειές της σήραγγας, η οποία αναπόφευκτα λαμβάνει χώρα κατά την κατασκευή ή/και μετά το πέρας αυτή, είτε κατά μήκος των περισσότερο περατών σχηματισμών περί του ανοίγματος είτε μέσω της επένδυσης της σήραγγας, προκαλεί την στερεοποίηση της εδαφομάζας στο σύνολό της. Είναι σαφές ότι το μέγεθος των καθιζήσεων εκ στερεοποίησης θα είναι μεγαλύτερο στις περιοχές όπου η μείωση της πίεσης πόρων είναι αντιστοίχως, μεγαλύτερη.

6.7 Επίδραση των εργοταξιακών συνθηκών

Οι εργοταξιακές συνθήκες μπορούν να λειτουργήσουν καθοριστικά στην ανάπτυξη καθιζήσεων. Κύριος παράγοντας είναι οι δονήσεις, αποτέλεσμα της διαδικασίας όρυξης, είτε αυτή πραγματοποιείται με τμηματική εκσκαφή είτε με μηχανοποιημένες μεθόδους. Καθιζήσεις οι οποίες οφείλονται στα ως άνω αίτια παρατηρούνται σε μαλακούς εδαφικούς σχηματισμούς ή εδάφη καλών μηχανικών χαρακτηριστικών με πτωχό επιφανειακό εδαφικό κάλυμμα

6.8 Εκτίμηση των επιφανειακών καθιζήσεων

6.8.1 Υπολογιστικές μέθοδοι για την εκτίμηση των επιφανειακών καθιζήσεων

Επί του παρόντος, ο θεωρητικός καθορισμός του πεδίου (ζώνη) μετακινήσεων περί της σήραγγας παραμένει δύσκολος, ειδικά στην περίπτωση που επιχειρείται μαθηματική αναπαράσταση των σύνθετων φαινομένων τα οποία παρατηρούνται κατά την διάνοιξη και τούτο εξαιτίας του μεγάλου πλήθους των παραμέτρων οι οποίες πρέπει να συμπεριληφθούν καθώς και της τριδιάστατης μορφής της εδαφικής κίνησης περί του ανοίγματος.

Η ανάλυση του συγκεκριμένου προβλήματος μηχανικής απαιτεί τον καθορισμό των καταστατικών νόμων οι οποίοι περιγράφουν την θεμελιώδη συμπεριφορά των υλικών που αφορούν σε αυτό (έδαφος, υλικό επένδυσης, προϊόντα ενεμάτωσης). Η επίδραση του καταστατικού εδαφικού μοντέλου περιγράφεται σε πλήθος θεωρητικών εργασιών.

Στην Γαλλία, η ανάλυση της σύγκλισης των παρειών μιας σήραγγας ολοκληρώνεται με την χρησιμοποίηση της καμπύλης σύγκλισης-αποτόνωσης (Panet, 1995). Η συγκεκριμένη παράσταση αποτελεί την διδιάστατη απεικόνιση των τριδιάστατης μορφής παραμορφώσεων περί του ανοίγματος με την εισαγωγή μιας εικονικής πίεσης υποστήριξης, το μέγεθος της οποίας καθορίζεται αναλογικά του συντελεστή αποτόνωσης, λ . Το μέγεθος του συγκεκριμένου συντελεστή διακυμαίνεται προκειμένου να ερμηνεύσει την συμπεριφορά του εδάφους στην περιοχή του μετώπου, την απόσταση τοποθέτησης της υποστήριξης, την κατασκευαστική μέθοδο καθώς και την ποιότητα των εργασιών. Οι πρόσφατες εξελίξεις συνυπολογίζουν την ακαμψία της εφαρμοζόμενης υποστήριξης.

Η ισορροπία η οποία επιτυγχάνεται μετά το πέρας των εργασιών διάνοιξης, μπορεί να αναλυθεί με την χρήση δύο συμβατικών τεχνικών (δεδομένου ότι το έδαφος προσομοιώνεται ως συνεχές μέσο, το οποίο υπόκειται σε εξωτερικά φορτία):

- αναλυτικές μέθοδοι
- μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων

Οι αναλυτικές μέθοδοι βασίζονται σε απλουστευτικές υποθέσεις αναφορικά με την γεωμετρία, την στρωμάτωση (ενιαίο ομογενές στρώμα), την επιλογή των καταστατικών μοντέλων και τον καθορισμό των ορίων και την αρχική εντατική κατάσταση του προβλήματος. Η επιστημονική βιβλιογραφία παρέχει πολυάριθμες αναλυτικές μεθοδολογίες (Clough & Schmidt, 1981; Dormieux, de Buhan, & Leca, 1999; Rowe & Lee, 1992a; Rowe & Lee, 1992b; Sagaseta, Analysis of undrained ground deformation due to ground loss, 1987; Yi, Rowe, & Lee, 1993). Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι συγγραφείς επικεντρώνονται στον καθορισμό του νέου εντατικού πεδίου το οποίο προκύπτει από την εκσκαφή· λιγότερες εργασίες επικεντρώνονται στην αξιολόγηση της κατανομής των εδαφικών μετακινήσεων γύρω από το δημιουργούμενο άνοιγμα, καθώς και στην επίδραση χρονικά εξαρτημένων φαινομένων εξαιτίας της πολυπλοκότητας των αναλύσεων αυτών.

Σε αντιδιαστολή, αριθμητικές μέθοδοι όπως αυτή των πεπερασμένων στοιχείων, συνυπολογίζουν την ετερογένεια της εδαφομάζας, εφαρμόζουν συνθετότερα καταστατικά μοντέλα ενώ προσεγγίζουν με ακρίβεια την αρχική εντατική κατάσταση, τα όρια του προβλήματος και την επίδραση χρονικά εξαρτημένων φαινομένων. Οι παραπάνω μέθοδοι είναι ιδιαίτερες αποτελεσματικές για την μελέτη σηράγγων οι οποίες κατασκευάζονται σε εδάφη τα οποία μπορούν να προσομοιωθούν ως συνεχή μέσα ακόμη και σε περιπτώσεις όπου εμφανίζουν μη γραμμική συμπεριφορά ή απαιτείται προσομοίωση περίπλοκων γεωμετριών ή φάσεων εκσκαφής. Παρά ταύτα η τριδιάστατη προσομοίωση παραμένει πολύπλοκη και ως εκ τούτου συχνά το πρόβλημα προσεγγίζεται με απλοποιημένες διδιάστατες αναλύσεις οι οποίες μειώνουν την αποδοτικότητα της μεθόδου.

6.8.2 Μέθοδοι εκτίμησης επιφανειακών καθιζήσεων

Με εξαίρεση την χρησιμοποίηση υπό κλίμακα μοντέλων η οποία πραγματοποιείται κυρίως για ερευνητικές εργασίες, οι υφιστάμενες κύριες μέθοδοι για την εκτίμηση των επιφανειακών καθιζήσεων είναι οι εξής δύο.

6.8.2.1 Εμπειρικές και ημιεμπειρικές μέθοδοι

Οι συγκεκριμένες απλουστευμένες μέθοδοι βασίζονται στην εκτίμηση των επιφανειακών καθιζήσεων συναρτήσει περιορισμένου αριθμού παραμέτρων οι οποίες επιτρέπουν τον συνυπολογισμό:

- Του μεγέθους και του βάθους της εκσκαφής
- Των εδαφικών συνθηκών
- Του όγκου της εδαφικής απώλειας και των συγκλίσεων οι οποίες οφείλονται στην όρυξη.

Η απλούστερη μέθοδος εκτιμά τις επιφανειακές καθιζήσεις βάσει ψευδοελαστικής αναλύσεως, εκφράζοντας την μέγιστη καθίζηση s_{max} ως:

$$s_{max} = K \cdot \lambda \cdot \frac{\gamma R^2}{E}$$

όπου K μεταβλητή εξαρτημένη από το επί τόπου εντατικό πεδίο, την κατάσταση του εδάφους και την γεωμετρία της διατομής, λ ο συντελεστής αποτόνωσης, R η εκσκαμμένη διατομή, γ το μέσο μοναδιαίο βάρος του εδάφους και E το μέτρο του Young.

Η ανωτέρω μέθοδος συχνά θεωρείται ως υπεραπλουστευτική διότι:

- Δεν είναι δυνατό, υπό απόλυτους όρους, να εφαρμοσθεί σε περιπτώσεις αβαθών εκσκαφών, δεδομένου ότι το εντατικό πεδίο περί του ανοίγματος μπορεί να θεωρηθεί ομογενές όταν $H \geq 3D$.
- Δεν συνυπολογίζει άμεσα το βάθος της εκσκαφής.
- Θεωρεί μια ποσοτική συσχέτιση του μεγέθους των επιφανειακών καθιζήσεων και αυτού της αποτονούμενων τάσεων, η οποία συχνά δεν επιβεβαιώνεται στην πράξη.

Μολαταύτα η συγκεκριμένη μέθοδος δεν παύει να έχει το πλεονέκτημα να επιτρέπει την αναγνώριση των βασικών παραμέτρων οι οποίες υπεισέρχονται στον καθορισμό των επιφανειακών καθιζήσεων όπως:

- Η διατομή της εκσκαφής (R^2).
- Η παραμόρφωση του εδάφους (E).
- Η μέθοδος όρυξης και η ποιότητα εκτέλεσης των εργασιών (λ).
- Ο εμπειρικός παράγοντας (K).

Στην πράξη, οι εμπειρικές μέθοδοι αποτελούν την συνήθη πρακτική. Συνδυάζονται με τις αναλυτικές ή αριθμητικές μεθόδους, και διακριβώνονται με χρήση δεδομένων τα οποία εξάγονται από μελέτες περιπτώσεων.

Πρόκειται για μεθόδους απλές, οι οποίες καθιστούν εφικτή την παραμετρική διερεύνηση της επίδρασης των επιφανειακών υποδομών και επομένως αποδεικνύονται ιδιαίτερα χρήσιμες στο προκαταρκτικό στάδιο σχεδιασμού και δυναμικά επαρκούν των σχεδιαστικών απαιτήσεων στις περιπτώσεις όπου υπάρχει επαρκής γνώση των επι τόπου συνθηκών και οι παράμετροι σχεδιασμού έχουν διακριβωθεί καταλλήλως.

Η πραγματιστική αυτή προσέγγιση προτάθηκε για πρώτη φορά από τους Schmidt και Peck (Schmidt, 1969; Peck, 1969) και αναπτύχθηκε περαιτέρω στην Βρετανία, αρχικά βασισμένη σε πλήθος μελετών οι οποίες αφορούσαν στην διάνοιξη σηράγγων σε ομογενές έδαφος και συγκεκριμένα σε άργιλο Λονδίνου (London Clay)(Attewell, Yeates, & Shelby, 1986; Kimura & Mair, 1981; Mair, Gunn, & O'Reilly, 1981; O'Reilly; O'Reilly & New, 1982)

6.8.2.2 Αριθμητικές μέθοδοι

Οι αριθμητικές μέθοδοι ανάλυσης αποσκοπούν στον υπολογισμό των εδαφικών μετακινήσεων σε κάθε σημείο του περιβάλλοντος του ανοίγματος εδάφους. Λαμβάνουν υπόψη τα χαρακτηριστικά τόσο της κατασκευής όσο και του εδάφους (γεωμετρία, αρχικό εντατικό πεδίο, εδαφική συμπεριφορά, στάδια εκσκαφής). Η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη προσέγγιση είναι αυτή της διδιάστατης ανάλυσης εγκάρσιων του άξονα της σήραγγας επιπέδων με χρήση πεπερασμένων σημείων, η οποία και είναι σύμφωνη τόσο με την αναλυτική προσέγγιση όσο και με την μέθοδο σύγκλισης-αποτόνωσης.

Σημειώνεται ότι η συγκεκριμένη προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την εκτίμηση των φορτίων τα οποία θα παραλάβει η υποστήριξη και εν γένει μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στον σχεδιασμό σηράγγων παρέχοντας την δυνατότητα καθορισμού των παραμέτρων αυτού. Παρόλα αυτά η εφαρμογή της μεθόδου παραμένει πολύπλοκη, με αποτέλεσμα αυτή να περιορίζεται στην σύνθεση απλουστευμένων προκαταρκτικών μοντέλων, ενώ τα λεπτομερέστερα εξ αυτών χρησιμοποιούνται κυρίως για την προσομοίωση σχεδιαστικά κρίσιμων διατομών.

Στην περίπτωση αβαθών σηράγγων, οι αριθμητικές μέθοδοι είναι δυνατό να οδηγήσουν σε λανθασμένες εκτιμήσεις της επίδρασης της διάνοιξης στην επιφάνεια του εδάφους, ειδικά στις περιπτώσεις όπου συμπεριλαμβάνονται μηχανισμοί αστοχίας. Ειδικά σε μη συνεκτικά εδάφη, διδιάστατες προσομοιώσεις πεπερασμένων στοιχείων τείνουν να κατανέμουν τις προκαλούμενες εκ της όρυξης παραμορφώσεις σε μία ευρύτερη περιοχή από αυτήν που παρατηρείται επί τόπου. Το γεγονός αυτό είναι δυνατό να οδηγήσει σε υπερεκτίμηση της οριζόντιας κατανομής των εδαφικών μετακινήσεων και επομένως στην ανεπαρκή εκτίμηση των μέγιστων επιφανειακών καθιζήσεων

Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι μεγάλες αποκλίσεις των αποτελεσμάτων τα οποία εξάγονται από φαινομενικά ορθές προσομοιώσεις εν συγκρίσει με πραγματικές μετρήσεις, λόγω της ελλιπούς εκτίμησης των παραμέτρων σχεδιασμού και ειδικά όσον αφορά στην ακαμψία του εδαφικού υλικού και της διαδοχής των φάσεων κατασκευής. Από τα ως άνω απορρέει η ανάγκη ελέγχου της ευαισθησίας του προσομοιώματος σε πλήθος σχεδιαστικών παραδοχών προς αποφυγή λανθασμένων αποτελεσμάτων.

Ως παράδειγμα, αναφέρεται η περίπτωση εισαγωγής δευτερευόντων καταστατικών παραμέτρων του εδάφους, όπως η γωνία διαστολικότητας (διαστολής) η οποία πρέπει να πραγματοποιείται με εξαιρετική προσοχή. Θεωρείται ότι έως ότου αναπτυχθεί μία κοινώς αποδεκτή μέθοδος προσδιορισμού αυτών των παραμέτρων, συνυπολογίζοντας πάντοτε την ευαισθησία των υπολογιστικών προσομοιωμάτων σε αυτές, πρέπει να αναμένονται δυσμενείς επιπτώσεις από την εισαγωγή τους. Οι επιπτώσεις αυτές αναμένεται να ενταθούν εξαιτίας της σημαντικότητας που αποκτούν ως αποτέλεσμα της ακρίβειας των αριθμητικών μεθόδων.

Αναφέρεται ότι οι αριθμητικές μέθοδοι επιτρέπουν, όταν αυτό κρίνεται σκόπιμο, την πλήρη προσομοίωση της αλληλεπίδρασης μεταξύ εδάφους, κατασκευαστικών εργασιών και υπερκειμένων κτιρίων. Η περίπτωση χρησιμοποίησης αυτών των θεωρητικών προσομοιωμάτων προς ανάστροφη ανάλυση δεδομένων πραγματικών περιπτώσεων, τα καθιστά πολύ χρήσιμα μέσα για τον καθορισμό γεωμηχανικών παραμέτρων, την διακρίβωση εμπειρικών μεθόδων και την αξιολόγηση δεδομένων που προκύπτει από την επί τόπου παρακολούθηση.

6.8.3 Βασική μέθοδος για την εκτίμηση των επιφανειακών καθιζήσεων

Η προτεινόμενη προσέγγιση αποτελείται από τρία κύρια χρονικά στάδια:

- (1) εκτίμηση της απώλειας εδαφικού όγκου κατά τη διάνοιξη (V_e)
- (2) εκτίμηση του ποσοστού της απώλειας εδαφικού όγκου η οποία λαμβάνει χώρα στην επιφάνεια (V_s)
- (3) προσδιορισμός του σχήματος της λεκάνης καθιζήσεων:
 - προσδιορισμός του πλάτους της λεκάνης ($2i$),
 - εκτίμηση του βάθους της λεκάνης, δηλ. της μέγιστης καθίζησης επιφάνειας (s_{max}).

6.8.3.1. Εκτίμηση απωλειών όγκου γύρω από το μέτωπο

Με τη μέθοδο σύγκλισης-αποτόνωσης, ο προσδιορισμός της απώλειας εδαφικού όγκου (V_e) στο άνοιγμα μπορεί να επιτευχθεί με την εκτίμηση της σύγκλισης των τοιχωμάτων της σήραγγας. Ποικίλες αναλυτικές προσεγγίσεις είναι διαθέσιμες για την περίπτωση μιας κυκλικής σήραγγας που διανοίγεται ομογενές υλικό. Αυτές οι προσεγγίσεις παρέχουν επίσης μια λογική εκτίμηση του όγκου της εδαφικής απώλειας γύρω από μη-κυκλικές σήραγγες χρησιμοποιώντας την έννοια της ισοδύναμης ακτίνας.

Σε αυτήν την προσέγγιση, η βασική παράμετρος είναι ο συντελεστής αποτόνωσης τάσεων, λ , που λαμβάνει υπόψη της τον όγκο της εδαφικής απώλειας που αναπτύσσεται πάνω και δίπλα από το μέτωπο.

Στην περίπτωση της διάνοιξης σήραγγας με ασπίδα, αν και μια μοναδική γενική τιμή του συντελεστή αποτόνωσης τάσεων μπορεί να είναι ικανοποιητική για τον καθορισμό του πάχους

της επένδυσης, μια σειρά συντελεστών αποτόνωσης τάσεων πρέπει να εφαρμοστεί για να λάβει υπόψη τις διαφορετικές πηγές εδαφικής απώλειας στην αξιολόγηση των καθιζήσεων επιφανείας. Αυτό είναι μια λεπτή διαδικασία, η οποία απαιτεί επαρκή ανατροφοδότηση από την εμπειρία προκειμένου να ρυθμίσει τον καταμερισμό των εδαφικών απωλειών στη βάση της εμφάνισής τους στις παρατηρηθείσες καθιζήσεις. Με βάση την τρέχουσα γνώση, μπορεί να προταθεί η ακόλουθη συνεισφορά των καθιζήσεων:

- το 10-20% προκαλείται από την εδαφική μετακίνηση του μετώπου
- το 40-50% παράγεται κατά μήκος της ασπίδας
- το 30-40% παρατηρείται στο κέλυφος της ουράς

Λαμβάνοντας υπόψη τις τρέχουσες εξελίξεις στις τεχνικές και τις μεθόδους κατασκευής, και με βάση τις παρατηρήσεις που έχουν λάβει χώρα, μπορεί επίσης να καθοριστεί ότι:

- το μέγεθος των παρατηρηθεισών καθιζήσεων τείνει σαφώς να μειωθεί (10-20 mm)
- τα ανωτέρω ποσοστά της συμβολής στις μετατοπίσεις επιφανείας τείνουν να ποικίλουν, με τις μετατοπίσεις στο κέλυφος της ουράς να αποτελούν τώρα ένα μικρότερο ποσοστό της ολικής καθίζησης λόγω της τεχνολογικής προόδου στις τεχνολογίες ενεμάτωσης. Η πρόσφατη εμπειρία από διανοίξεις σε σήραγγες με EPBM δείχνει ότι το η απώλεια όγκου στην περιοχή του μετώπου μπορεί να μειωθεί πολύ ενώ σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να παρατηρηθεί ανύψωση επιφανειακά μπροστά από το μέτωπο της σήραγγας.

6.8.3.2. Διάδοση των μετατοπίσεων προς την επιφάνεια

Το δεύτερο στάδιο αξιολόγησης συνίσταται στον καθορισμό του όγκου της λεκάνης καθιζήσεων (V_s) στην επιφάνεια ή σε ένα δεδομένο βάθος.

Η απλούστερη υπόθεση συνίσταται στην θεώρηση του εδάφους ως ασυμπίεστου. Σε αυτήν την περίπτωση, ο όγκος της λεκάνης καθιζήσεων είναι ίσος με τον όγκο απώλειας εδάφους στο άνοιγμα. Αυτή η υπόθεση εξαρτάται ιδιαίτερα από τη φύση εδάφους και των υπερκειμένων πάνω από τη σήραγγα. Αυτό ισχύει χαρακτηριστικά για ρηχές σήραγγες σε συνεκτικά εδάφη.

Σε αντιδιαστολή, σύγχρονες τάσεις στην ελαστική επίλυση του προβλήματος θεωρούν ότι ο όγκος της λεκάνης καθιζήσεων είναι αποτέλεσμα επαλληλίας της απώλειας εδαφικού όγκου στο επίπεδο της σήραγγας, της ελλειψοειδούς παραμόρφωσης της διατομής και των φαινομένων άνωσης της σήραγγας που εν δυνάμει υφίστανται. (Strack, 2002)

Μολονότι υπάρχουν λίγες περιπτώσεις αύξησης του όγκου καθιζήσεων, έχει παρατηρηθεί ότι διάφοροι παράγοντες μπορούν να συμβάλουν στη μείωση του όγκου καθιζήσεων στην επιφάνεια σε σχέση με εκείνες στο επίπεδο της σήραγγας. Αυτοί περιλαμβάνουν:

- μεγάλο ύψος των υπερκειμένων με συνέπεια την απομείωση της παραμόρφωσης μέχρι 80%
- την παρουσία ενός πιο δύσκαμπτου στρώματος πάνω από τη σήραγγα (επίδραση γεφυρώματος)
- την παρουσία ενός στρώματος υλικού που διαστέλλεται στα υπερκείμενα της σήραγγας (πυκνή άμμος).

6.8.3.3. Εγκάρσιες καθιζήσεις και μετατοπίσεις

Εμπειρικές Σχέσεις

Η μορφή της λεκάνης των καθιζήσεων πάνω από εκσκαφές μεταλλείων εξετάστηκε από τον Martos (1958), ο οποίος και πρότεινε ότι θα μπορούσε να αντιπροσωπευθεί καλά από μια γκαουσιανή καμπύλη ή μια καμπύλη κανονικής κατανομής

(Σχήμα 2.12). Αργότερα, ο Schmidt (Schmidt, 1969) και ο Peck (Peck, 1969) έδειξαν ότι η λεκάνη των καθιζήσεων επιφάνειας επάνω από εκσκαφές σιηράγγων έλαβε μια παρόμοια μορφή.

Ο O'Reilly και ο New (1982) ανέπτυξαν το γκαουσιανό πρότυπο με την παραδοχή ότι η εδαφική απώλεια θα μπορούσε να αντιπροσωπευθεί από μια ακτινωτή ροή του υλικού προς τη σήραγγα και ότι η κοιλότητα θα μπορούσε να συσχετιστεί με τις εδαφικές συνθήκες μέσω μιας εμπειρικής παραμέτρου "trough width parameter" (K). Το πρότυπο καθοδηγήθηκε από μια ανάλυση ιστορικών στοιχείων. Αυτές οι υποθέσεις τους επέτρεψαν να αναπτύξουν τις εξισώσεις για τις κάθετες και οριζόντιες εδαφικές μετακινήσεις που επίσης παρουσιάστηκαν σε όρους εδαφικών τάσεων, της κλίσης και της κυρτότητας (στην εδαφική, και κάτω από αυτήν επιφάνεια). Από τότε οι εξισώσεις έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως ιδιαίτερα για την αξιολόγηση του πιθανού αντίκτυπου των εργασιών διάνοιξης κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού σιηράγγων.

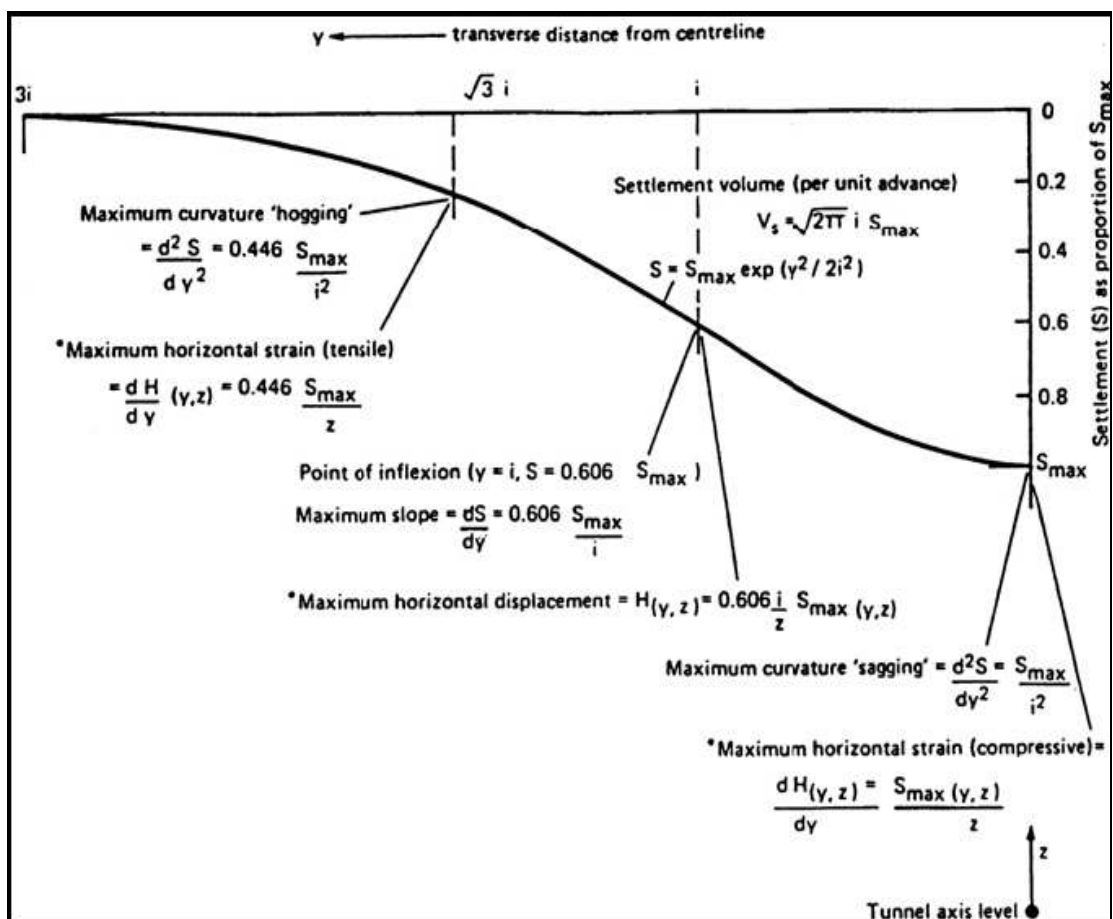
Οι βασικές αυτές εξισώσεις είναι

$$s = s_{max} \exp \left[-\frac{(x)^2}{2i^2} \right]$$

όπου: s : η καθίζηση στην επιφάνεια του εδάφους και σε σημείο το οποίο απέχει εγκάρσια απόσταση x από τον άξονα της σήραγγας

s_{max} : η μέγιστη καθίζηση στην επιφάνεια του εδάφους η οποία προκύπτει για την θέση $x=0$

i : η τυπική απόκλιση της καμπύλης των καθιζήσεων. Η τιμή της παραμέτρου i καθορίζει στην ουσία το εύρος της καμπύλης των καθιζήσεων κι αντιστοιχεί στην θέση του σημείου καμπής (σημείο μέγιστης κλίσης). Στις πρακτικές εφαρμογές το εύρος το εύρος της καμπύλης των επιφανειακών καθιζήσεων λαμβάνεται ίσο με $3i$



Σχήμα 2.1. Εξιδανικευμένη εγκάρσια λεκάνη καθιζήσεων. Σημειώνεται ότι στο ως άνω γράφημα η οριζόντια απόσταση συμβολίζεται εναλλακτικά ως (y)

Όπως εν παρόδω αναφέρεται παραπάνω, η ως άνω μαθηματική σχέση έχει προκύψει μετά από στατιστική επεξεργασία και αξιολόγηση μεγάλου πλήθους επιτόπου μετρήσεων υπό συνθήκες "ελεύθερου πεδίου" οι οποίες προέρχονται από περιπτώσεις διανοίξεων υπογείων ανοιγμάτων σε μεγάλη ποικιλία γεωτεχνικών συνθηκών.

Έπειτα από διαδοχικές παραγωγίσεις της καμπύλης σφάλματος, προκύπτουν εξισώσεις οι οποίες υπολογίζουν την κλίση και την καμπυλότητα των επιφανειακών καθιζήσεων (Αγγνωστόπουλος & Μιχάλης, 2004a).

Κλίση
$$\frac{\partial S}{\partial x} = -\frac{S_{max}}{i^2} x \exp\left(-\frac{x^2}{2i^2}\right)$$

Καμπυλότητα
$$\frac{\partial^2 S}{\partial x^2} = -\frac{S_{max}}{i^2} \left(\frac{x^2}{i^2} - 1\right) \exp\left(-\frac{x^2}{2i^2}\right)$$

Η απώλεια εδαφικού όγκου ανά μονάδα μήκους της σήραγγας στην επιφάνεια του εδάφους, κατ' ουσία ο όγκος ο οποίος περικλείεται από την καμπύλη επιφανειακών καθιζήσεων, υπολογίζεται από το παρακάτω ολοκλήρωμα:

$$V_s = \int_{-\infty}^{\infty} s(x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} s_{\max} \exp\left(-\frac{x^2}{2l^2}\right) dx \cong \sqrt{2\pi} l s_{\max} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow s_{\max} = \frac{V_s}{\sqrt{2\pi}l}$$

Με αντικατάσταση της τιμής s_{\max} στις εξισώσεις κλίσης και καμπυλότητας προκύπτουν τα παρακάτω:

$$\text{Κλίση} \quad \frac{ds}{dx} = -\frac{V_s}{\sqrt{2\pi}l^2} x \exp\left(-\frac{x^2}{2l^2}\right)$$

$$\text{Καμπυλότητα} \quad \frac{d^2s}{dx^2} = -\frac{V_s}{\sqrt{2\pi}l^2} \left(\frac{x^2}{l^2} - 1\right) \exp\left(-\frac{x^2}{2l^2}\right)$$

Το μέγεθος "σχετική απώλεια εδαφικού όγκου" ($V_l = V_s/V$ (%)) εκφράζει την προαναφερθείσα απώλεια εδαφικού όγκου, V_s , ως ποσοστό του ιδεατού όγκου της εκσκαφθείσας διατομής.

Είναι προφανές ότι εφόσον τα μεγέθη V_s ή V_l και l είναι γνωστά, η καθίζηση, η κλίση και η καμπυλότητα σε κάθε σημείο της καμπύλης μπορούν να εκτιμηθούν με χρήση των παραπάνω εξισώσεων.

Η αρχική εκτίμηση του μεγέθους σχετικής απώλειας εδαφικού όγκου $V_l = V_s/V$ (%), είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί με την χρήση του διαγράμματος των Clough και Schmidt (Clough & Schmidt, 1981), δοθείσης της τιμής του συντελεστή υπερφόρτισης (overload factor) (Peck, 1969):

$$N = \frac{(p_o - p_i)}{\sigma_c / 2}$$

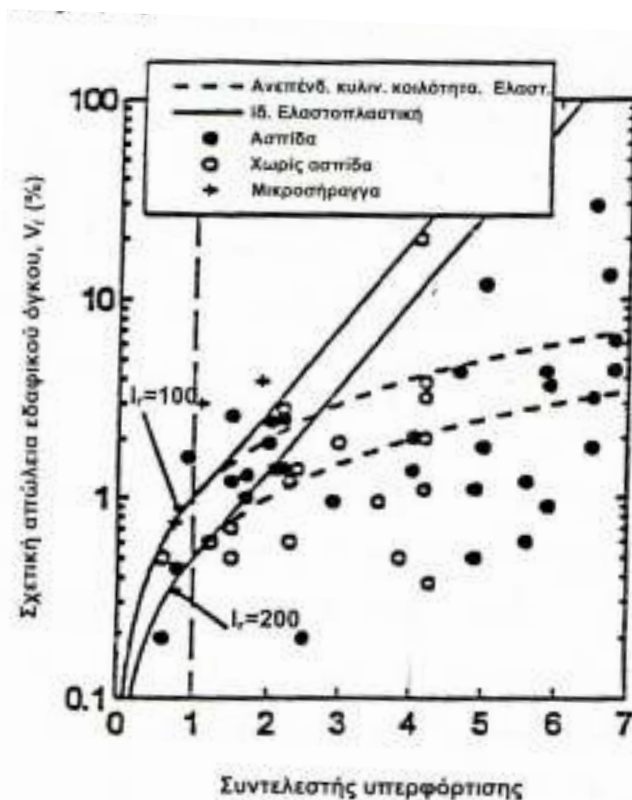
Όπου:

$p_o =$ η ολική πίεση των υπερκειμένων γαιών στην στάθμη του άξονα της σήραγγας ($p_o = \gamma H$)

$p_i =$ η πίεση στο εσωτερικό της σήραγγας λόγω της αντιστήριξής της (λαμβάνεται $p_i = 0$ υπέρ της ασφαλείας)

$\sigma_c =$ η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του περιβάλλοντος σε σήραγγα γεωυλικού (έδαφος/βραχομάζα), η οποία στην περίπτωση αστοχίας κατά Mohr-Coulomb δίνεται από την σχέση: $\sigma_c = 2c \tan\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)$ με c την τιμή της συνοχής και φ την γωνία εσωτερικής τριβής του υλικού.

Στο παρακάτω σχήμα συσχετίζεται η σχετική απώλεια εδαφικού όγκου συναρτήσει του συντελεστή υπερφόρτισης



Σχετική απώλεια εδαφικού όγκου συναρτήσει του συντελεστή υπερφόρτισης

Το παραπάνω διάγραμμα έχει προκύψει ως αποτέλεσμα επεξεργασίας επί τόπου μετρήσεων σχετικής απώλειας εδαφικού όγκου για διάφορες περιπτώσεις διάνοιξης σηράγγων σε ποικιλία γεωτεχνικών συνθηκών (με έμφαση τα αργιλικά εδάφη). Η διασπορά στις μετρήσεις θα πρέπει να αποδοθεί στους διάφορους τρόπους διανοίξεως των σηράγγων καθώς και στον τρόπο εκτιμήσεως της αντοχής σ_c , για τον υπολογισμό του συντελεστή υπερφορτίσεως N . Οι καμπύλες του διαγράμματος έχουν προσδιοριστεί μέσω θεωρητικών αναλύσεων των Clough και Schmidt για περιπτώσεις ανεπένδυτης σήραγγας σε έδαφος το οποίο συμπεριφέρεται ως ιδεατά ελαστικό μέσο (εστιγμένες γραμμές) και σε έδαφος με ιδεατά ελαστοπλαστική συμπεριφορά. Στις συγκεκριμένες αναλύσεις θεωρήθηκαν δύο ακραίες τιμές του δείκτη ακαμψίας $I_r (=2G/\sigma_c)$, όπου G το μέτρο διατμήσεως του εδάφους), $I_r=100$ και 200 . Οι προαναφερθείσες τιμές καλύπτουν ευρύ φάσμα συνθηκών.

- Η απώλεια του εδαφικού όγκου γενικά αυξάνει με την αύξηση της τιμής του συντελεστή υπερφόρτισης.
- Δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ των περιπτώσεων κατασκευής των σηράγγων με μηχανήματα ολομέτωπης κοπής με ασπίδα ή χωρίς ασπίδα για τιμές του $N < 4$. Για τιμές του $N > 4$, η χρήση ασπίδας φαίνεται απαραίτητη, λόγω πιθανής δημιουργίας μηχανισμών καταρρέσεως (Panet, 1989).

- Για $N < 3$, οι μετρηθείσες τιμές του V_i είναι συμβατές με αυτές που προκύπτουν με τη βοήθεια της θεωρίας Ελαστικότητας. Για $N > 3$, οι τιμές του V_i που προκύπτουν από τη θεωρία Ελαστικότητας είναι δυνατόν να θεωρηθούν ως ένα άνω όριο.

Σημειώνεται ότι οι Clough και Schmidt (1981) προτείνουν για τις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει επαρκής εμπειρία, κυρίως λόγω των επικρατούσων γεωτεχνικών συνθηκών, η εκτίμηση του μεγέθους $V_i = V_s/V$ (%), να γίνεται με τη βοήθεια των παρακάτω σχέσεων:

(α) Για προσεκτική κατασκευή της σήραγγας:

$$\frac{V_s}{V} = 0,002 \exp(N - 1)$$

(β) Για συνήθη επιμέλεια στην κατασκευή της σήραγγας:

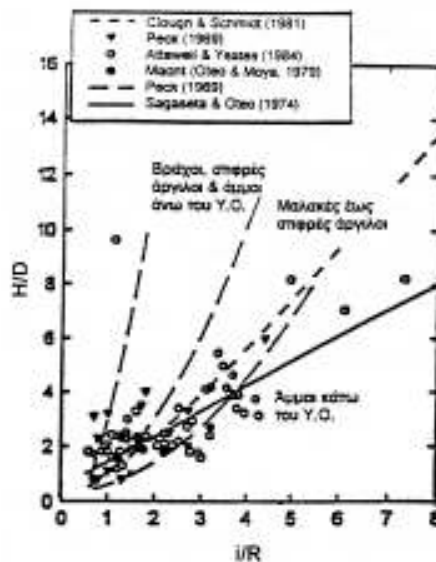
$$\frac{V_s}{V} = 0,004 \exp(N - 1)$$

Ο Mair (Mair, 1998) σχολιάζοντας γενικότερα την εκτίμηση του V_s , αναφέρει ότι κατά την κατασκευή σπηραγγών με χρήση τεχνολογίας μερικής εξισορροπήσεως των γεωστατικών πιέσεων στην περιοχή του μετώπου της σήραγγας (EPB TBM, slurry TBM) περιορίζεται σημαντικά η τιμή του συντελεστή υπερφορτίσεως, με συνέπεια η σχετική απώλεια του εδαφικού όγκου να είναι μικρότερη ακόμη και του 1%. Διανοίξεις σπηραγγών με τις ανωτέρω τεχνολογίες, ακόμη και σε μη συνεκτικά εδάφη, παρουσίασαν τιμές V_s περί το 1%. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το μέγεθος της σχετικής απώλειας του εδαφικού όγκου εξαρτάται άμεσα από τον λόγο H/D . Έτσι σε αβαθείς σήραγγες σε αργιλικά εδάφη, όπου ο λόγος H/D είναι μικρός το μέγεθος του V_i είναι σημαντικά μεγάλο, δηλ. της τάξεως 2 έως 4%, ως αποτέλεσμα της μη ενεργοποίησης, σε σημαντικό βαθμό, του μηχανισμού «θόλου».

Αναφέρεται ότι στις περιπτώσεις όπου η σπηραγγοποιεία καλείται να αντιμετωπίσει ετερογενή εδαφικά περιβάλλοντα, η εφαρμογή των ημιεμπειρικών μεθόδων γίνεται δυσκολότερη και οι εγγενείς περιορισμοί των μεθόδων αυτών γίνονται όλο και πιο προφανείς. Αυτό διαπιστώνεται, επί παραδείγματι στις περιπτώσεις διάνοιξης σε βραχομάζα η οποία έχει υποστεί μηχανική ή χημική αποσάθρωση, η οποία δυνάμει έχει δημιουργήσει μία μικτή κατάσταση υγιούς, ασθενούς και έντονα κερματισμένου βράχου, παραμενόντων εδαφών με ή χωρίς συνοχή. Η απώλεια εδαφικού όγκου εξακολουθεί να παραμένει αλλά έχει διαφορετικά μεγέθη. Παρόλα ταύτα υπάρχουν περιπτώσεις (Guglielmetti, Grasso, Mahtab, & Xu, 2007).

- Η υφιστάμενη απώλεια εδαφικού όγκου δεν θα μεταδοθεί πλήρως στην επιφάνεια λόγω μέρους του υπερκειμένου να αποτελείται από υγιή βραχομάζα.
- Η απώλεια εδαφικού όγκου θα μεταδοθεί στο ασθενέστερο υλικό, οδηγώντας σε μία ασύμμετρη λεκάνη καθιζήσεων, όπου η μέγιστη καθίζηση αποκλίνει εν σχέση με την θέση του άξονα της σήραγγας.
- Κατάσταση μικτού μετώπου δυνάμει θα οδηγήσει σε μεγαλύτερη απώλεια όγκου εν συγκρίσει με την αντίστοιχη ομογενούς, λόγω της μεγάλης διαφοροποίησης της αντοχής των υλικών όπου η δύναμη ώθησης εφαρμόζεται κυρίως στο ισχυρότερο υλικό με ενδεχόμενη υπερεκκαφή του ασθενούς.
- Η ελαστοψαθυρή συμπεριφορά που μπορεί να παρουσιάζει το υλικό μπορεί να καθυστερήσει την μετάδοση των μετακινήσεων στην επιφάνεια

Ο καθορισμός του εύρους της καμπύλης των επιφανειακών καθιζήσεων μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια του κατωτέρω σχήματος στο οποίο συνοψίζεται μεγάλος αριθμός επιτόπου μετρήσεων από διαφορετικές περιπτώσεις κατασκευής σηράγγων σε ποικιλία εδαφικών συνθηκών. Ειδικότερα, ο Peck (Peck, 1969) συνέδεσε την εκτίμηση της τυπικής απόκλισης της καμπύλης των καθιζήσεων με τον τύπο του εδάφους, κι έτσι με περιορισμένο αριθμό στοιχείων πρότεινε τις καμπύλες του κάτωθι σχήματος.



Προσδιορισμός του σημείου καμπής της καμπύλης καθιζήσεων

Παρατηρώντας τη μορφή των καμπυλών $H/D = f(i/R)$ του ως άνω σχήματος όπου

H: είναι το βάθος του άξονα της σήραγγας,

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

i: είναι η οριζόντια απόσταση του σημείου καμπής της καμπύλης του σχήματος από τον άξονα της σήραγγας,

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

Σε πρόσφατες αναφορές της διεθνούς βιβλιογραφίας εμφανίζονται προσπάθειες ενοποίησης όλων των διαθέσιμων στοιχείων, κατά τρόπο ώστε να εκφρασθεί μία ενιαία σχέση της μορφής $H/D = f(i/R)$, η οποία να εφαρμόζεται σε διαφορετικές γεωτεχνικές συνθήκες.

Από μετρήσεις καθιζήσεων, κατά τη διάνοιξη σηράγγων, σε ποικιλία εδαφικών συνθηκών έχει βρεθεί ότι η τιμή της τυπικής απόκλισης i είναι, κατά προσέγγιση, γραμμική συνάρτηση του βάθους διάνοιξης της σήραγγας H (δηλαδή του βάθους του άξονα της σήραγγας), ανεξάρτητα από τον τρόπο κατασκευής της και τη διάμετρο της D. Έτσι έχει γίνει αποδεκτό για το σχεδιασμό, η εκτίμηση της γραμμικής απόκλισης να πραγματοποιείται από τη γραμμική σχέση των O'Reilly και New (O'Reilly & New, 1982):

$$i = kH$$

Όπου k: παράμετρος έκφρασης πλάτους καμπύλης καθιζήσεων.

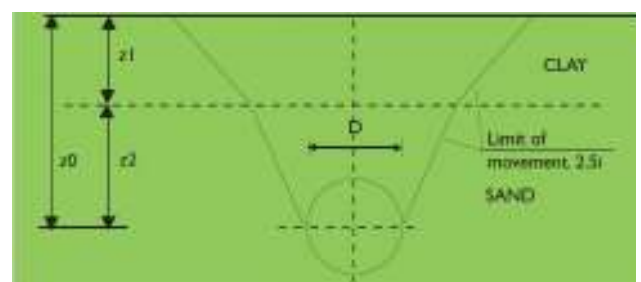
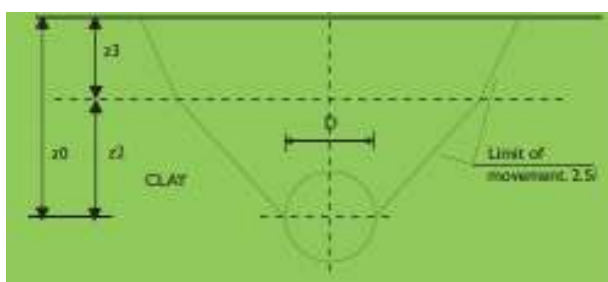
Οι Mair και Taylor (Mair, Taylor, & Burland, 1996) συνιστούν για πρακτικές εφαρμογές σχεδιασμού τις παρακάτω τιμές της παραμέτρου k: α) k=0.5 για την περίπτωση αργιλικών εδαφών (Σχήμα 3.4) και β) k=0.35 για την περίπτωση κοκκωδών εδαφών (άμμων και χαλίκων, Σχήμα 3.5). Ειδικότερα, για τα κοκκώδη εδαφικά υλικά, η τιμή k=0.35 ισχύει ανεξάρτητα από την τυχόν ύπαρξη στάθμης υπογείων υδάτων επάνω από τη σήραγγα.

Στην περίπτωση όπου η σήραγγα διανοίγεται σε στρωσιγενές περιβάλλον και αυτής υπέρκειται στρώματα συνεκτικά και μη συνεκτικά, το προφίλ των εδαφικών μετακινήσεων ακολουθεί την αλληλουχία των στρωμάτων (Κράτηση_θέσης1; Guglielmetti, Grasso, Mahtab, & Xu, 2007). Βασισόμενος στην εκτίμηση αριθμητικών προσομοιωμάτων ο Selby (Selby, 1988) προτείνει την χρήση της απλής σχέσης:

$$i = \sum_{1}^{n} k_m z_n \Rightarrow k_{eq} = \frac{\sum_{1}^{n} k_n z_n}{z_0}$$

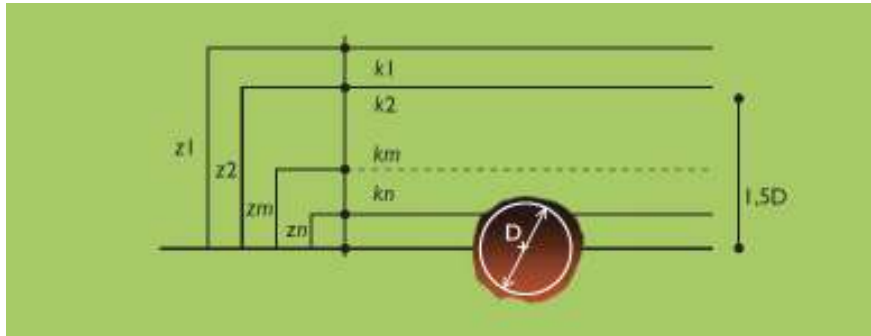
Είναι προφανές ότι όσο μικρότερο είναι το υπερκείμενο της σήραγγας, τόσο μεγαλύτερη είναι η σημασία του ρόλου των περιβαλλόντων στρωμάτων για το μέγεθος της απώλειας εδαφικού όγκου και για την διάδοση των μετακινήσεων στην επιφάνεια. Στη περίπτωση σήραγγας σε βάθος μεγαλύτερο από 1,5D προτείνεται η χρήση ενός βαρυμμένου μέσου για την εκτίμηση του k_{eq} , ο οποίος λαμβάνει υπόψη την μείζονος σημασίας επιρροή του εδάφους ακριβώς άνω της στέψης της σήραγγας. Τα στρώματα σε ένα υπερκείμενο 1,5D βαρύνονται κατά λ>50%, όπου το λ μπορεί προκαταρκτικά να καθοριστεί με χρήση αριθμητικών μεθόδων και κατόπιν να χρησιμοποιηθεί εκτενώς σε ημιεμπειρικές σχέσεις προς γρήγορο και απλό υπολογισμό των καθιζήσεων “ελευθέρου πεδίου” (Chirioti, Marchionni, & Grasso, 2000)

$$k_{eq} = \frac{(1 - \lambda) \cdot (z_1 k_1 + z_2 k_2 + \dots + z_m k_m) + \lambda \cdot (z_{m+1} k_{m+1} + \dots + z_n k_n)}{(1 - \lambda) \cdot (z_1 + z_2 + \dots + z_m) + \lambda \cdot (z_{m+1} + \dots + z_n)}$$

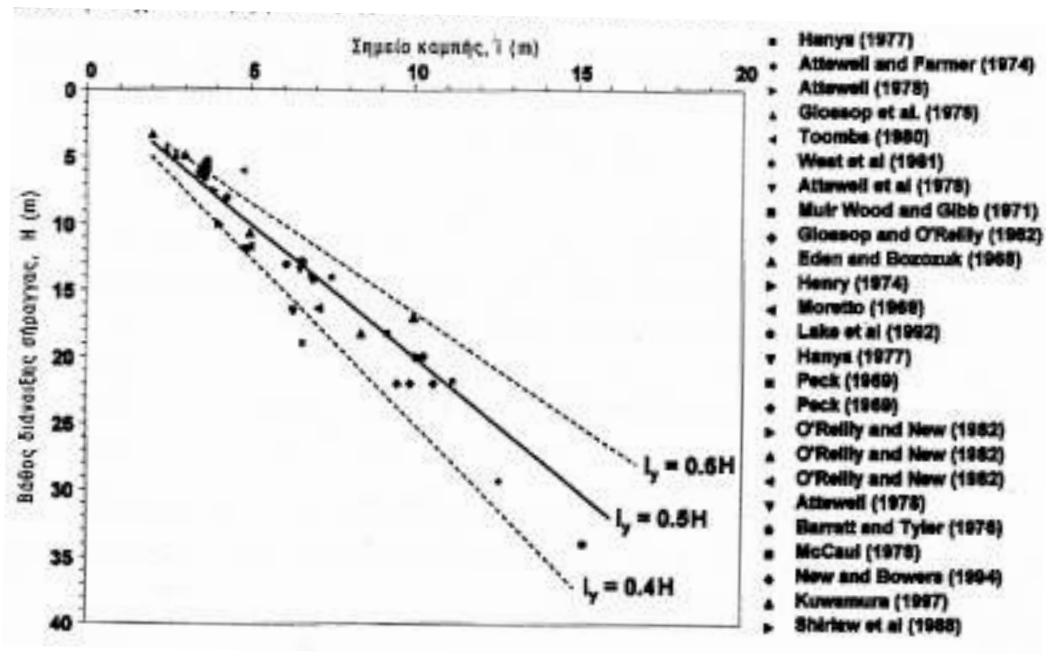


Μετάδοση των μετακινήσεων προς την επιφάνεια σε ομογενή εδαφομάζα

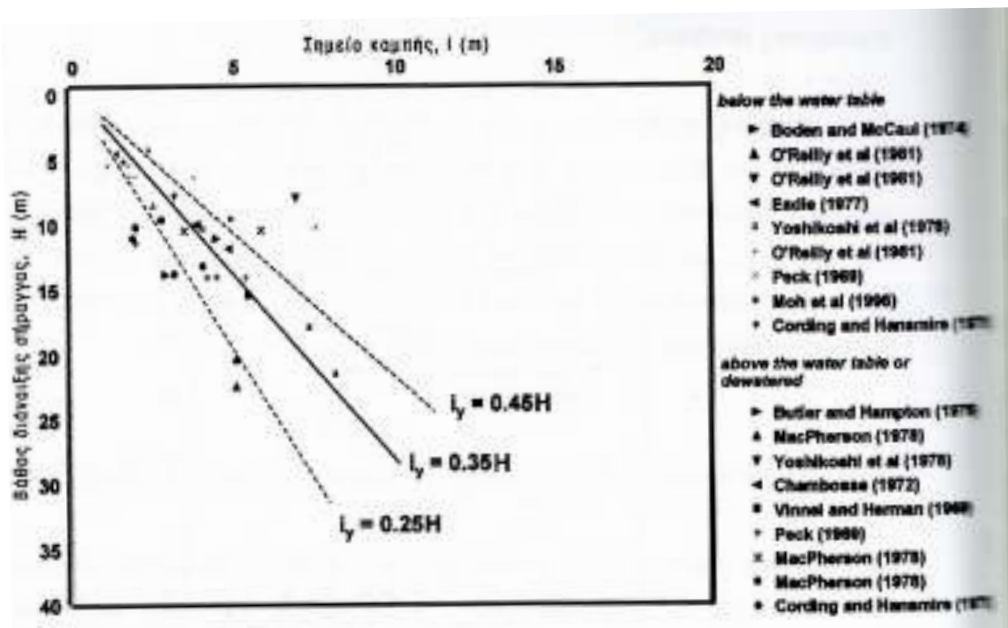
Μετάδοση των μετακινήσεων προς την επιφάνεια σε ετερογενή (στρωσιγενή) εδαφομάζα αποτελούμενη από διαφορετικής σύστασης στρώματα.



Προτεινόμενη μέθοδος για τον υπολογισμό του k_{eq} σε στρωσιγενές υλικό, σε βάθος μεγαλύτερο του $1,5D$



Εκτίμηση του i συναρτήσει του βάθους διάνοιξης της σήραγγας σε αργιλικά εδάφη



Εκτίμηση του i συναρτήσει του βάθους διάνοιξης της σήραγγας σε κοκκώδη εδάφη (άμμοι και χάλικες).

Οι Clough και Schmidt (Clough & Schmidt, 1981) προτείνουν μόνον για αργίλους την παρακάτω σχέση:

$$i/D = 0.5 (H/D)^{0.8}$$

Ενώ οι Oteo και Sagaseta (Oteo & Sagaseta, Prediction of settlements due to underground openings, 1982) συνδέοντας δεδομένα και στοιχεία μετρήσεων της βιβλιογραφίας, καθώς και μεγάλο αριθμό αποτελεσμάτων αναλύσεων με πεπερασμένα στοιχεία προτείνουν την ακόλουθη γραμμική σχέση:

$$i/R = 1.05 (H/D) - 0.42$$

Για συνηθισμένο εύρος τιμών του λόγου H/D , ανεξαρτήτως τύπου εδάφους οι παραπάνω εξισώσεις δίδουν τις ίδιες περίπου τιμές του λόγου i/H , οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 0,35 και 0,50.

Οι Mair και Taylor (Mair & Taylor, 1993) ύστερα από αξιολόγηση σημαντικού αριθμού επιτόπου τρήσεων των κατακόρυφων εδαφικών μετακινήσεων σε διαφορετικές στάθμες (z_s) υπερκείμενες των σηράγγων, κυρίως σε άργιλο, κατέληξαν ότι η χρήση των εξισώσεων γκαουσιανής κατανομής και η αντίστοιχη απώλεια όγκου δίνει με ικανοποιητική προσέγγιση την κατανομή των κατακόρυφων εδαφικών μετακινήσεων σε διαφορετικές στάθμες από την επιφάνεια του εδάφους. Τα ευρη αυτών των καμπυλών προτείνεται να καθορίζονται με τη βοήθεια της σχέσεως:

$$i = \left[0.175 + 0.325 \left(1 - \frac{z_s}{H} \right) \right] H$$

Όπου: z_s : βάθος από την επιφάνεια του εδάφους

H: βάθος του άξονα της σήραγγας

6.8.3.4 Οριζόντιες επιφανειακές εδαφικές μετακινήσεις κάθετα προς τον άξονα της σήραγγας

Έχει παρατηρηθεί ότι σε μία ευρύτερη περιοχή αστικού περιβάλλοντος, όπου διανοίγεται μία σήραγγα, και κατά τη διαδικασία κατασκευής της δημιουργούνται στα υπερκείμενα κτίρια ζημιές όχι μόνον εξαιτίας των καθιζήσεων αλλά και λόγω της δημιουργίας οριζοντίων εφελκυστικών παραμορφώσεων. Έτσι καθίσταται απαραίτητη η εκτίμηση και των οριζοντίων μετακινήσεων στην επιφάνεια του εδάφους, που σχετίζονται με την κατασκευή ενός υπογείου ανοίγματος. Ο Mair (Mair, Taylor, & Burland, 1996) προτείνει την παρακάτω προσεγγιστική σχέση:

$$s_h = \frac{x}{H} s$$

Η οποία συνδέει την καθίζηση s με την οριζόντια μετακίνηση s_h στην επιφάνεια του εδάφους, σε μία εγκάρσια απόσταση x από τον άξονα της σήραγγας, με την προϋπόθεση ότι η συνισταμένη των διανυσμάτων, κατευθύνεται προς τον άξονα τη σήραγγας. Συνδυάζοντας την σχέση των κατακόρυφων μετακινήσεων του Peck και αυτή των οριζοντίων μετακινήσεων του Mair καταληγούμε στην ακόλουθη μαθηματική σχέση:

$$s_h = s_{\max} \left(\frac{x}{H} \right) \exp\left(-\frac{x^2}{2l^2}\right)$$

Επιλύοντας την εξίσωση:

$$\frac{ds_h}{dx} = \frac{s_{\max}}{H} \left(1 - \frac{x^2}{l^2}\right) \exp\left(-\frac{x^2}{2l^2}\right) = 0,$$

Προκύπτει ότι η μέγιστη τιμή της οριζόντιας εδαφικής μετακίνησης στην επιφάνεια s_{\max} υπολογίζεται με βάση την εξίσωση οριζοντίων μετακινήσεων βάση της μέγιστης κατακόρυφης για $x=\pm l$ και ισούται με:

$$s_{h\max} = 0.606 s_{\max} \left(\frac{\pm l}{H} \right)$$

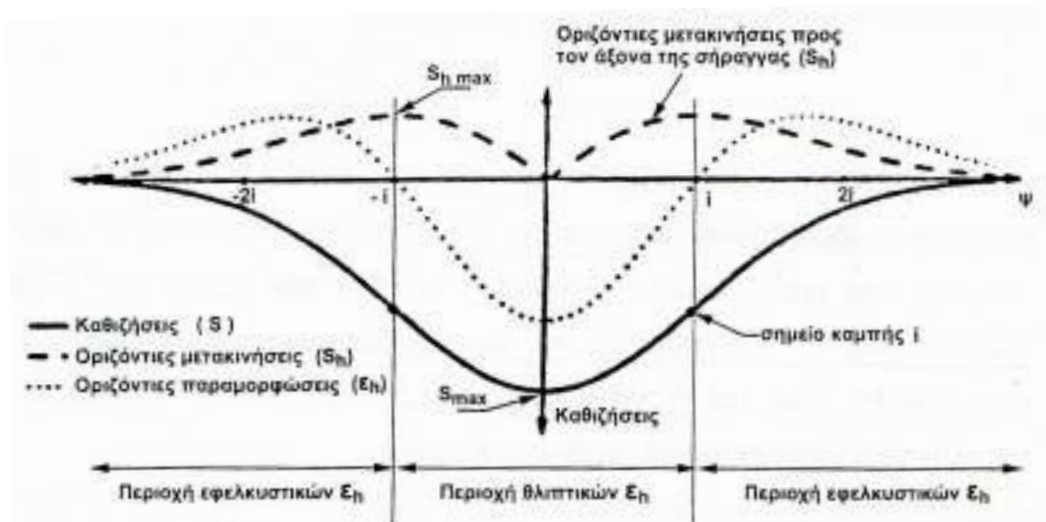
Εκ των παραπάνω προκύπτει ότι

$$\frac{s_h}{s_{h\max}} = \pm 1.65 \left(\frac{x}{H} \right) \exp\left(-\frac{x^2}{2l^2}\right)$$

$$s_h = \frac{ds_h}{dx} = \frac{s_{\max}}{H} \left(1 - \frac{x^2}{l^2}\right) \exp\left(-\frac{x^2}{2l^2}\right),$$

Οι Oteo και Sagasetta (Oteo & Sagasetta, 1996) αναφέρουν ότι οι οριζόντιες μετακινήσεις στην επιφάνεια είναι περίπου ίσες προς το 1/3-1/4 των αντίστοιχων καθιζήσεων και προτείνουν τελικώς μετά από αναλύσεις με πεπερασμένα στοιχεία, ότι ο λόγος της μέγιστης οριζόντιας μετακίνησης προς την μέγιστη καθίζηση είναι 0,3

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η κατά πλάτος κατανομή των οριζοντίων μετακινήσεων s_h , των οριζοντίων παραμορφώσεων ε_h καθώς και οι αντίστοιχες καθιζήσεις s στην επιφάνεια του εδάφους λόγω διανοίξεως σήραγγας (Mair, Taylor, & Burland, 1996).

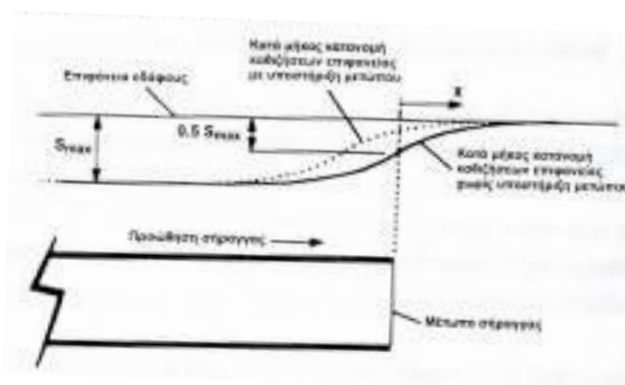


Κατά πλάτος κατανομές οριζόντιων επιφανειακών μετακινήσεων, λόγω υπόγειων εκσκαφών

6.8.3.5 Κατακόρυφες εδαφικές επιφανειακές μετακινήσεις κατά μήκος του άξονα της σήραγγας

Οι καθιζήσεις κατά μήκος του άξονα διάνοιξης μίας σήραγγας, από παρατηρήσεις των Attewell και Woodman (Attewell & Woodman, 1982) σε κατασκευές σηράγγων σε αργιλικά εδάφη, διαπιστώθηκε ότι ακολουθούν με ικανοποιητική ακρίβεια τη μορφή μίας συναρτήσεως πιθανότητας. Η μορφή αυτή παρουσιάζεται στο κάτωθι σχήμα. Οι ανωτέρω ερευνητές παρατήρησαν ακόμη ότι η άμεση καθίζηση της επιφανείας του εδάφους αμέσως επάνω από το μέτωπο της σήραγγας λαμβάνει την τιμή $0.5s_{\max}$ στην περίπτωση όπου η σήραग्γα κατασκευάζεται χωρίς ικανοποιητικά μέτρα για την υποστήριξη του μετώπου της. Σε εκείνες όμως τις περιπτώσεις όπου λαμβάνονται επιπλέον μέτρα υποστήριξης του μετώπου, η ανωτέρω καθίζηση είναι σημαντικά μικρότερη από την τιμή $0.5s_{\max}$ τόσο για την περίπτωση ύπαρξης συνθηκών σφιχτής αργίλου, όσο και για την περίπτωση παρουσίας μαλακής αργίλου στην περιοχή διέλευσης της σήραγγας.

Η εκδήλωση των ανωτέρω καθιζήσεων κατά τη διάρκεια της κατασκευής των, είναι δυνατόν να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές σε υπερκείμενες ανωδομές, ανάλογες με εκείνες οι οποίες προέρχονται από τις αντίστοιχες κατά πλάτος καθιζήσεις μετά και την ολοκλήρωση των εργασιών διανοίξεως (Mair, 1998).



Κατανομή επιφανειακών καθιζήσεων κατά μήκος του άξονα της σήραγγας

6.8.4. Αλληλεπίδραση σε δίδυμη σήραγγα

6.8.4.1 Μέθοδος υπέρθεσης ανεξαρτήτως αλληλεπίδρασης.

Η μέθοδος της υπέρθεσης θεωρείται δόκιμη τόσο για τις κλειστές αναλυτικές λύσεις όσο και για τις ημιεμπειρικές (Strack, 2002; Wang, Kong, & Leung, 2003; Verrujit & Booker, 1996; Peck, 1969). Για παράδειγμα η υπέρθεση της Γκαουσιανής κατανομής καθιζήσεων δίδει εξίσωση της μορφής:

$$S_P = S_{\max A} \exp \left[-\frac{(x + D/2)^2}{2i_A^2} \right] + S_{\max B} \exp \left[-\frac{(x + D/2)^2}{2i_B^2} \right] - S_{AB}$$

Όπου $S_{AB}=0$ για μηδενική αλληλεπίδραση. Στην περίπτωση που οι δύο σήραγγες έχουν την ίδια διάμετρο και απώλεια εδαφικού όγκου τότε ισχύει $S_{\max A}=S_{\max B}$ και $i_A=i_B$ οπότε η καθίζηση εκφράζεται ως:

$$S_P = S_{\max A} \left\{ \exp \left(-\frac{(x + D/2)^2}{2i^2} \right) + \exp \left(-\frac{(x + D/2)^2}{2i^2} \right) \right\}$$

Σύμφωνα με τους Wang, Kong και Leung (Wang, Kong, & Leung, 2003), οι μηχανικές ιδιότητες του εδάφους επηρεάζουν σημαντικά την μορφή του προφίλ των εδαφικών καθιζήσεων. Σε μαλακές αργίλους η μορφή των καθιζήσεων για δίδυμες σήραγγες είναι παρόμοια με αυτήν που προκύπτει για μονές σήραγγες με διαφοροποίηση το μικρότερο μέγεθος της μέγιστης καθίζησης. Στις συγκεκριμένες περιπτώσεις η μέθοδος της υπέρθεσης θεωρείται δόκιμη για την περιγραφή του προφίλ των καθιζήσεων. Σε σφιχρά εδάφη η μέθοδος της υπέρθεσης έχει μεγαλύτερο σφάλμα.

6.8.4.2 Συντελεστής αλληλεπίδρασης

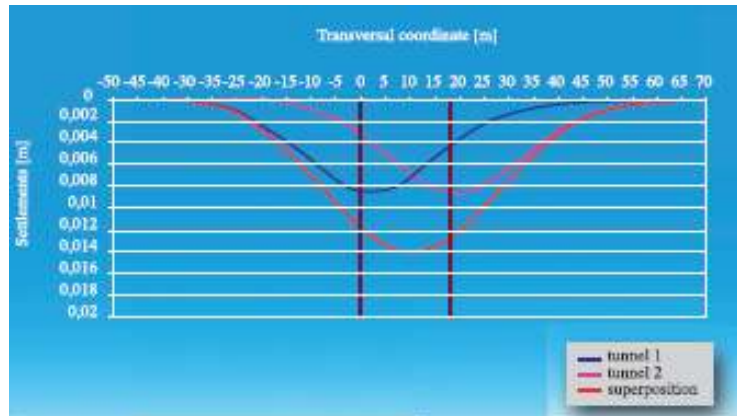
Σε περίπτωση που δίδυμες παράλληλες σήραγγες είναι αρκετά κοντά, η αλληλεπίδρασή τους δεν είναι αμελητέα. Ο Sagaseta (Sagaseta, 1999) μελέτησε την αλληλεπίδραση δύο παράλληλων στοών χρησιμοποιώντας τον κώδικα πεπερασμένων στοιχείων FLAC, και κατέληξε στον ορισμό ενός συντελεστή αλληλεπίδρασης της μορφής:

$$\eta = \frac{V_s - V_{s0}}{V_{s0}}$$

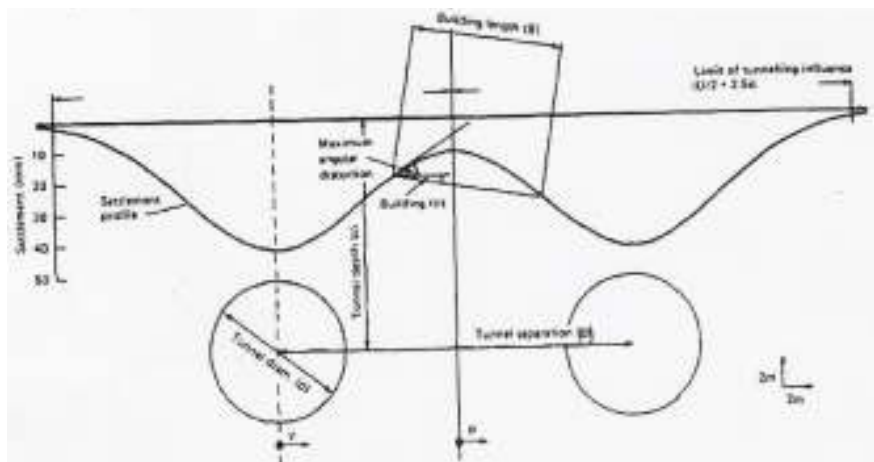
Όπου: V_s είναι η απώλεια εδαφικού όγκου εξαιτίας της δεύτερης στοάς

V_{s0} : η απώλεια εδαφικού όγκου στην περίπτωση που η πρώτη σήραγγα δεν είχε κατασκευαστεί.

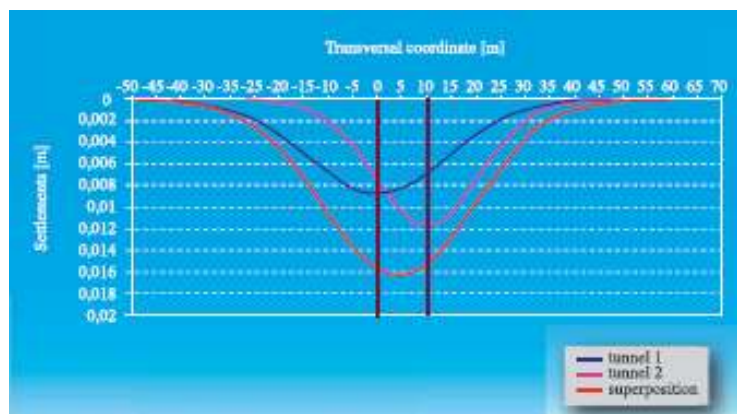
Τα φαινόμενα αλληλεπίδρασης ήταν αξιοσημείωτα τόσο για την στοά αυτή καθ'αυτή όσο και για την ασπίδα του μηχανήματος (EPB) το οποίο προσομοιώθηκε.



Πρόβλεψη καθιζήσεων για δίδυμη σήραγγα χωρίς αλληλεπίδραση των σιράγγων και με υπέρθεση των αποτελεσμάτων.



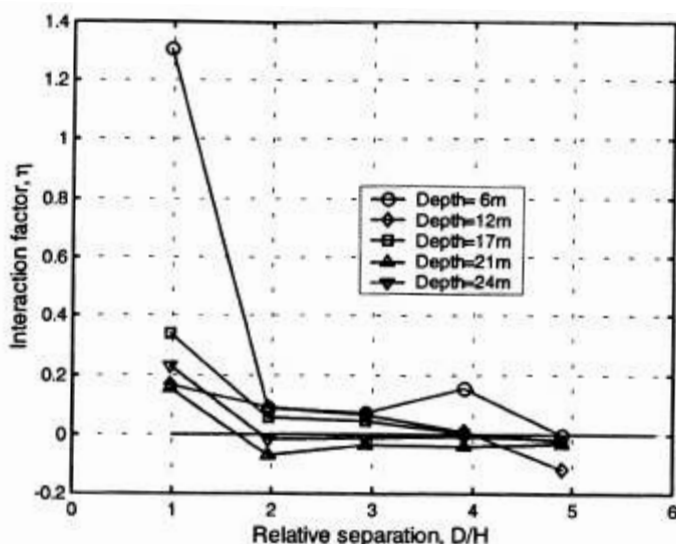
Πρόβλεψη καθιζήσεων για δίδυμη σήραγγα χωρίς αλληλεπίδραση και με ικανή μεταξύ των αξόνων απόσταση..



Πρόβλεψη καθιζήσεων για δίδυμη σήραγγα με αλληλεπίδραση των σιράγγων και με επανεκτίμηση των μηχανικών παραμέτρων μετά την εκσκαφή της πρώτης σήραγγας..

Οι Wang, Kong και Leung (Wang, Kong, & Leung, 2003) δηλώνουν μετά από παραμετρική μελέτη με αριθμητικές μεθόδους, ότι το βάθος αλλά και η μεταξύ

απόσταση των σηράγγων είναι καθοριστικής σημασίας για τα φαινόμενα αλληλεπίδρασης των σηράγγων και τελικά για την μορφή του προφίλ καθιζήσεων που τελικά θα προκύψει από την εκσκαφή των. Σύμφωνα με τις αναλύσεις τους ο συντελεστής αλληλεπίδρασης είναι σχεδόν μηδενικός όταν ο σχετικός διαχωρισμός των σηράγγων (δηλαδή D/H, όπου D η απόσταση των αξόνων και H βάθος τους) είναι μεγαλύτερος του 3.



Συντελεστής αλληλεπίδρασης συναρτήσεσι του βάθους

6.8.5. Ανάστροφη ανάλυση καθιζήσεων σε δίδυμη σήραγγα

Παρά το γεγονός ότι σύμφωνα με τον Peck (Peck, 1969) η μέγιστη καθίζηση θα εμφανιστεί στο μεσοδιάστημα των αξόνων των διδύμων σηράγγων, η πρακτική στις περισσότερες περιπτώσεις έδειξε ότι το μέγιστο της είναι μετατεθειμένο προς έναν από τους δύο άξονες και συχνά η καμπύλη είναι ασύμμετρη. Για τον λόγο αυτό οι New και Bowers προτείνουν την περιγραφή των καμπυλών καθιζήσεων εισάγοντας έναν παράγοντα μετάθεσης στην Γκαουσιανή καμπύλη η οποία πλέον είναι της μορφής(New & Bowers, 1993):

$$S = S_{\max} \exp\left(-\frac{(x-\alpha)^2}{2l^2}\right)$$

Όπου α, η απόσταση της μετάθεσης του μεγίστου.

Παρόλα ταύτα η ως άνω σχέση δεν αντιμετωπίζει το πρόβλημα της ασυμμετρίας της καμπύλης

Σύμφωνα με τους Suwansawat και Einstein(Suwansawat & Einstein, 2007), προκειμένου να περιγραφούν οι προκληθείσες καθιζήσεις ικανοποιητικά θα πρέπει να περιγραφεί η καμπύλη των καθιζήσεων η οποία προκαλείται από έκαστη εκ των δύο σηράγγων και εν συνεχεία αυτές να υπερτεθούν.

Η μέθοδος που προτείνουν προβλέπει τα εξής βήματα:

1^{ov}: Μέτρηση της μέγιστης καθίζησης και προσδιορισμός της Γκαουσσισιανής καμπύλης καθιζήσεων που αφορούν την διάνοιξη της πρώτης σήραγγας, με άξονα συμμετρίας τον άξονα αυτής

2^{ov}: Παρατήρηση των καθιζήσεων πάνω από τον άξονα της δεύτερης σήραγγας μετά την διάνοιξη της δεύτερης σήραγγας.

3^{ov}: Υπολογισμός των επιπλέον προκληθέντων καθιζήσεων με αφαίρεση των καθιζήσεων που προκλήθηκαν κατά την όρυξη της πρώτης σήραγγας από τις μετρήσεις των καθιζήσεων μετά την διάνοιξη της δεύτερης.

4^{ov}: Προσδιορισμός της Γκαουσσισιανής καμπύλης η οποία περιγράφει τις καθιζήσεις λόγω της κατασκευής της δεύτερης σήραγγας και ακολούθως υπέρθεση των δύο καμπυλών.

6.8.6 Συσχέτιση μεταξύ μετατόπισης στέψης και επίγειας επιφάνειας

Η χρήση της ανωτέρω διαδικασίας, καθώς επίσης και οι υπολογισμοί των μετατοπίσεων γύρω από την εκσκαφή ή η χρήση μιας εμπειρικής προσέγγισης, μπορούν να οδηγήσουν σε μια άμεση σχέση μεταξύ της μετατόπισης στην στέψη της σήραγγας (U_{crown}) και της μέσης μετατόπισης επιφάνειας (S_{max}).

Διάφοροι ερευνητές έχουν προτείνει τύπους για να υπολογίσουν το λόγο S_{max}/U_{crown} σύμφωνα με το λόγο H/R και μια παράμετρο που ποικίλλει ανάλογα με τις εδαφικές συνθήκες (Sagasetta, Analysis of undrained ground deformation due to ground loss, 1987). Κάθε τύπος έχει σχεδιαστεί για συγκεκριμένες περιπτώσεις. Ειδικότερα, η επιλογή της παραμέτρου που συνδέεται με το έδαφος αξίζει προσοχή γιατί αυτή μπορεί να ενσωματώσει πολλούς άλλους παράγοντες.

Πρέπει να αναφερθεί ότι μια άλλη μέθοδος για τον υπολογισμό των μετατοπίσεων επιφάνειας μπορεί να πραγματοποιηθεί από έναν χαρακτηριστικό ψευδο-ελαστικό υπολογισμό.

6.8.7. Η λεκάνη καθίζησης σε τρεις διαστάσεις

Οι εξισώσεις που δίνονται ανωτέρω περιγράφουν τη μορφή των εδαφικών μετακινήσεων σε δύο διαστάσεις στον άξονα σηράγγων. Στην πράξη η λεκάνη μετατοπίσεων προχωρά επίσης μπροστά από το μέτωπο της σήραγγας. Είναι μια φυσική συνέπεια της υπόθεσης ενός γκαουσσισιανού εγκάρσιου σχεδιαγράμματος ότι αυτή η λεκάνη πρέπει να πάρει τη μορφή μιας συσσωρευτικής κατανομής πιθανοτήτων (Attewell & Woodman, 1982).

Οι εργασίες διάνοιξης περιλαμβάνουν συνήθως ποικίλες διατομές εκσκαφής, όπου οι σήραγγες αλλάζουν διάμετρο, συναντάνε στόμια (συνδετήριες στοές) και όπου πραγματοποιούνται άλλες διανοίξεις. Οι New και O'Reilly (1991) ενσωμάτωσαν τις παραμετρικές υποθέσεις ακτινωτής ροής και την παράμετρο του πλάτους των

κοιλοτήτων στο συσσωρευτικό μοντέλο κατανομής πιθανοτήτων ώστε αυτό να παρέχει ένα τριδιάστατο μοντέλο και έδειξαν την εφαρμογή του σε μια σχετικά σύνθετη εκσκαφή.

Οι New και Bowers ανέπτυξαν περαιτέρω το συσσωρευτικό πρότυπο κατανομής πιθανοτήτων με ανανεωμένες υποθέσεις σχετικά με τη θέση της απώλειας εδαφικού όγκου και έδωσαν μιας πλήρη σειρά εξισώσεων για την πρόβλεψη των εδαφικών μετακινήσεων σε τρεις διαστάσεις. Η μέθοδος είναι απλή για να ισχύσει δεδομένου ότι οι μόνες εισαγωγές που απαιτούνται είναι η γεωμετρία της σήραγγας της περιοχής, το ποσοστό απώλειας εδαφικού όγκου που προβλέπεται (V_s) και η εμπειρική παράμετρος πλάτους της λεκάνης (k) που περιγράφεται πιο πάνω. Οι εξισώσεις δίνουν τις κάθετες και οριζόντιες εδαφικές μετακινήσεις, τις σχετικές τάσεις και τις εδαφικές κυρτότητες. Ειδικότερα, αυτή η προσέγγιση δίνει σημαντικά βελτιωμένες προβλέψεις στην περιοχή της σήραγγας..

Οι προβλέψεις μετατοπίσεων πραγματοποιούνται συνήθως χρησιμοποιώντας διαδικασίες βασισμένες στην εμπειρία χωρίς συγκεκριμένο σεβασμό στη μέθοδο κατασκευής. Εντούτοις, η προτεινόμενη μέθοδος κατασκευής θα επηρεάσει την τιμή που λαμβάνεται ως αντιπροσωπευτική του όγκου της κοιλότητας των μετατοπίσεων και επομένως τις προβλεπόμενες εδαφικές καθιζήσεις. Και αφού οι εδαφικές καθιζήσεις θεωρούνται σημαντικές, πρέπει να καταβληθεί κάθε δυνατή προσπάθεια για τον έλεγχο του εδάφους όσο το δυνατόν γρηγορότερα και αποτελεσματικότερα σε κάθε στάδιο εκσκαφής και υποστήριξης.

Η ευκολία των γκαουσιανών/συσσωρευτικών πιθανοτικών καμπυλών οδηγεί σε μια σειρά απλών μαθηματικών μετασχηματισμών και μιας προφανέστατης ακρίβειας που μπορεί να μην εμφανίζεται πάντα στα στοιχεία πεδίου. Στην πράξη οι απροσδόκητες εδαφικές συνθήκες ή οι φτωχές τεχνικές διάνοιξης μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικά μεγαλύτερες εδαφικές καθιζήσεις από τις προβλεπόμενες. Η ιδιαίτερη δύναμη αυτής της προσέγγισης βρίσκεται στην ευκολία χρήσης της και στη γενική επικύρωσή της από μετρήσεις πεδίου από πολλές πηγές κατά τη διάρκεια πολλών ετών.

Είναι μικρής πρακτικής συνέπειας για τις εδαφικές καθιζήσεις εάν οι εδαφικές απώλειες εμφανίζονται στο μέτωπο της σήραγγας ή στην περιφέρεια της ασπίδας ή της επένδυσης. Η μέθοδος κατασκευής δεν θα επηρεάσει συνήθως την τελική μορφή του σχεδιαγράμματος της εδαφικής μετακίνησης αλλά η κατασκευαστική ακολουθία μπορεί να αλλάξει τις μέγιστες γωνιακές διαστρεβλώσεις σε μια κατεύθυνση παράλληλη στον άξονα της σήραγγας.

7 Ανάστροφη ανάλυση παρατηρούμενων καθιζήσεων στο τμήμα Αγία Σοφία Χ.Θ. 1+890.627- Πανεπιστήμιο Χ.Θ. 3+345.462.

7.1 Προσδιορισμός βέλτιστης καμπύλης Γκαουσιανής κατανομής

Μετά από την παρατήρηση των ισοϋψών καμπυλών οι οποίες περιγράφουν τις προκληθείσες καθιζήσεις προκύπτει ότι τόσο κατά την διάνοιξη της πρώτης σήραγγας όσο και μετά την διάνοιξη της δεύτερης, το μέγιστο της καμπύλης εμφανίζεται μετατεθειμένο εν σχέση με τον άξονα της πρώτης στην πρώτη περίπτωση αλλά και με το μεσοδιάστημα των αξόνων στην δεύτερη περίπτωση. Για τον λόγω αυτό επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί η σχέση των New και Bowers για την περιγραφή της καμπύλης των καθιζήσεων(New & Bowers, 1993).

Επαναλαμβάνεται ότι η καμπύλη αυτή εκφράζεται από εξίσωση της μορφής:

$$s = s_{max} \exp \left[-\frac{(x - a)^2}{2i^2} \right]$$

όπου: s : η καθίζηση στην επιφάνεια του εδάφους και σε σημείο το οποίο απέχει εγκάρσια απόσταση x από τον άξονα της σήραγγας

s_{max} : η μέγιστη καθίζηση στην επιφάνεια του εδάφους η οποία προκύπτει για την θέση $x-a=0$

a : η εγκάρσια απόσταση του σημείου όπου παρατηρείται η μέγιστη καθίζηση από τον άξονα της σήραγγας

i : η τυπική απόκλιση της καμπύλης των καθιζήσεων. Η τιμή της παραμέτρου i καθορίζει στην ουσία το εύρος της καμπύλης των καθιζήσεων κι αντιστοιχεί στην θέση του σημείου καμπής (σημείο μέγιστης κλίσης). Στις πρακτικές εφαρμογές το εύρος το εύρος της καμπύλης των επιφανειακών καθιζήσεων λαμβάνεται ίσο με $3i$.

Για την προσαρμογή της βέλτιστης καμπύλης Γκαουσιανής κατανομής στα υπάρχοντα δεδομένα, η ως άνω εξίσωση μετασχηματίζεται κατά τον εξής τρόπο:

$$\begin{aligned}
s &= s_{max} \exp\left[-\frac{(x-a)^2}{2i^2}\right] \Leftrightarrow \\
\frac{s}{s_{max}} &= \exp\left[-\frac{(x-a)^2}{2i^2}\right] \\
\ln\left(\frac{s}{s_{max}}\right) &= -\frac{(x-a)^2}{2i^2} \\
\ln(s) - \ln(s_{max}) &= -\frac{(x-a)^2}{2i^2} \\
\ln(s) &= -\frac{1}{2i^2}(x-a)^2 + \ln(s_{max})
\end{aligned}$$

Η αρχική εξίσωση έχει μετασχηματιστεί σε εξίσωση ευθείας της μορφής $Y = AX + B$, όπου:

$$Y = \ln(s)$$

$$A = -\frac{1}{2i^2}$$

$$X = (x-a)^2$$

$$B = \ln(s_{max})$$

Προσδιορίζοντας τα μεγέθη A και B, με απλή επίλυση μπορούν να υπολογιστούν το μέγιστο αλλά και η τυπική απόκλιση της Γκαουσιανής κατανομής όπως ακολούθως:

$$A = -\frac{1}{2i^2} \Rightarrow i = \sqrt{-\frac{1}{2A}}$$

$$\& \quad B = \ln(s_{max}) \Rightarrow s_{max} = e^B$$

Ακολούθως περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε.

Βήμα Πρώτο

Κατά το πρώτο βήμα της διαδικασίας και στην περίπτωση που το σημείο το οποίο παρουσιάζει την μέγιστη καθίζηση ευρίσκεται επί του άξονα της σήραγγας ($\alpha=0$), υπολογίζονται το τετράγωνο της απόστασης και ο νεπέριος λογάριθμος της καθίζησης για κάθε σημείο.

Εφόσον το σημείο στο οποίο εμφανίζεται η μέγιστη καθίζηση παρεκκλίνει του άξονα της σήραγγας ($\alpha \neq 0$), υπολογίζεται το τετράγωνο της διορθωμένης απόστασης $(x-\alpha)^2$ και ομοίως με παραπάνω, ο νεπερίος λογάριθμος της απόστασης για κάθε σημείο.

Βήμα Δεύτερο

Ακολουθως προσδιορίζεται η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων η οποία αντιστοιχεί στα ανωτέρω υπολογισμένα μεγέθη, για έκαστη περιοχή.

Στην περίπτωση που η ευθεία χαρακτηρίζεται από κακή προσαρμογή, η ανάλυση πραγματοποιείται ανεξάρτητα εκατέρωθεν του άξονα της σήραγγας, δηλαδή προσδιορίζεται μία ευθεία για τα υπολογισμένα μεγέθη εκείνα τα οποία αντιστοιχούν στο αριστερό τμήμα του εγκάρσιου επιπέδου και αντιστοίχως μία για εκείνα τα οποία αντιστοιχούν στο δεξιό.

Βήμα Τρίτο

Οι συντελεστές της εξίσωσης ελαχίστων τετραγώνων οδηγούν με χρήση των παραπάνω εξισώσεων στον προσδιορισμό των βασικών μεγεθών της βέλτιστης Γκαουσιανής καμπύλης που περιγράφει τις επί τόπου κατακόρυφες μετακινήσεις.

Όπως αναφέρεται παραπάνω, η ανάλυση πραγματοποιείται εκατέρωθεν οπότε ως μέγιστη αντιπροσωπευτική καθίζηση για έκαστο προφίλ καθιζήσεων λογίζεται η μεγαλύτερη από εκείνες που προκύπτουν εξ αριστερών και εκ δεξιών αντίστοιχα, εφόσον υπερβαίνει την μέγιστη μετρηθείσα. Εν αντιθέσει, στην περίπτωση που η πρώτη είναι μικρότερη από την μέγιστη μετρηθείσα, η τελευταία λογίζεται ως αντιπροσωπευτική για το υπό ανάλυση προφίλ, και προσδιορίζεται μόνον η τυπική απόκλιση i της Γκαουσιανής καμπύλης

Τέλος προσδιορίζεται η αντιπροσωπευτική για την εκάστοτε θέση Γκαουσιανή καμπύλη η οποία περιγράφει τις προκληθείσες κατακόρυφες μετακινήσεις, εισάγοντας στην σχέση που την περιγράφει τις υπολογισθείσες παραμέτρους.

Ακρίβεια προσαρμογής

Στο σύνολο των αναλύσεων λαμβάνονται υπόψη τόσο τα χωροσταθμικά σημεία όσο και μετρήσεις οι οποίες έχουν προσδιοριστεί με την βοήθεια των ισουψών καμπύλων. Τούτο εφαρμόσθηκε αφενός διότι κατά θέσεις το πλήθος των χωροσταθμικών σημείων τα οποία ευρίσκονταν επί του υπό ανάλυση εγκάρσιου επιπέδου και κατέδειξαν καθιζήσεις μεγαλύτερες των 2mm δεν επαρκούσαν για την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων και αφετέρου διότι η αύξηση των εισαγόμενων δεδομένων δημιουργεί μία ροπή προς καλύτερη προσαρμογή στη ευθεία ελαχίστων τετραγώνων. Ομοίως προς βελτίωση της ακρίβειας, στο σύνολο των περιοχών προσεγγίστηκε ανεξάρτητα ο αριστερός και αντίστοιχα ο δεξιός κλάδος του προφίλ των καθιζήσεων. Τέλος, ακόμη και στις περιπτώσεις όπου η απόκλιση του σημείου μέγιστης μετακίνησης από τον άξονα της σήραγγας είναι μικρή –μικρότερη του μέτρου- στους υπολογισμό λήφθηκε υπόψη η διορθωμένη απόσταση των σημείων για την υπό ανάλυση περιοχή.

7.2 Οι καμπύλες Γκαουσιανής κατανομής βέλτιστης προσαρμογής

Ο προσδιορισμός της καμπύλης Γκαουσιανής κατανομής βέλτιστης προσαρμογής πραγματοποιήθηκε για κάθε μία από τις περιοχές οι οποίες ορίζονται στον πίνακα 1(Κεφάλαιο 5) (πλήν των δύο πρώτων TDSS1948_22 και TDSS 1957_12 λόγω μικρής επιρροής της όρυξης) για κάθε φάση της διάνοιξης της δίδυμης σήραγγας.

Συγκεκριμένα, σε πρώτη φάση ελήφθησαν υπόψη οι καθιζήσεις οι οποίες μετρήθηκαν μετά από διάστημα τουλάχιστον δύο εβδομάδων σε σχέση με την όρυξη της διατομής στην εν προκειμένω θέση από το πρώτο μηχάνημα (γραμμή 1) και επαρκές πριν την όρυξη της αντίστοιχης διατομής της γραμμής 2 από το δεύτερο μηχάνημα, θεωρώντας ότι έχει πάψει εξέλιξη των κατακόρυφων μετακινήσεων και έχει επέλθει ισορροπία. Στην συγκεκριμένη φάση προσδιορίστηκαν οι καμπύλες Γκαουσιανής κατανομής βέλτιστης προσαρμογής και τα επακόλουθα μεγέθη (όπως η απώλεια εδαφικού όγκου επί παραδείγματι) τα οποία αφορούν στην διάνοιξη της μίας εκ των διδύμων διατομών, από το πρώτο μηχάνημα.

Ακολούθως, οι καθιζήσεις οι οποίες μετρήθηκαν μετά από διάστημα τουλάχιστον δύο εβδομάδων σε σχέση με την όρυξη της διατομής στην εν προκειμένω θέση από το δεύτερο μηχάνημα (γραμμή 2), θεωρώντας ότι έχει πάψει η εξέλιξη των κατακόρυφων μετακινήσεων και έχει επέλθει ισορροπία, χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των καμπυλών Γκαουσιανής κατανομής βέλτιστης προσαρμογής και τα επακόλουθα μεγέθη, οι οποίες αφορούν στην τελική κατάσταση δηλαδή στην πλήρη διάνοιξη διατομής δίδυμης σήραγγας.

Εν συνεχεία, μετά από αφαίρεση των μετρήσεων οι οποίες αφορούν στην τελική κατάσταση από αυτές που αφορούν στην πρώτη φάση διάνοιξης (διατομή γραμμής 1), προσδιορίζεται το μέγεθος εκείνο των μετρήσεων το οποίο αφορά αποκλειστικά στην διάνοιξη της δεύτερης φάσης (διατομή γραμμής 2). Η συγκεκριμένη διαφορά λογίζεται για τον προσδιορισμό των καμπυλών Γκαουσιανής κατανομής βέλτιστης προσαρμογής η οποία χαρακτηρίζει τις μετακινήσεις που οφείλονται μόνον στην διάνοιξη της διατομής της γραμμής 2, από την οποία αντιστοίχως προκύπτουν και τα επακόλουθα μεγέθη.

Με υπέρθεση των καμπυλών που αφορούν στην διάνοιξη της διατομής της γραμμής 1 και της αντίστοιχης της γραμμής 2, προσδιορίζεται εναλλακτικά η καμπύλη εκείνη η οποία αφορά στην τελική κατάσταση.

Τα υπολογιζόμενα μεγέθη που προκύπτουν από την ανάλυση αφορούν:

- Στην απώλεια εδαφικού όγκου ανά μονάδα μήκους σήραγγας η οποία υπολογίζεται ως:

$$V_s = \sqrt{2\pi} i s_{max}$$

- Στην σχετική απώλεια εδαφικού όγκου η οποία υπολογίζεται ως:

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

- Την παράμετρο πλάτους της καμπύλης που προκύπτει από την σχέση των O'Reilly και New:

$$k = \frac{i}{H}$$

Παρατίθενται προς σύγκριση οι τιμές του i , που προκύπτουν από τις σχέσεις των Clough και Schmidt, Oteo και Sagaseta, Mair και Taylor αλλά και βάσει των O'Reilly και New βάσει της τιμής k που προκύπτει από την σχέση του Selby. Οι τιμές για τον υπολογισμό του k κατά τον Selby έχουν προκύψει από την στρωματογραφία κάθε υπό μελέτη θέσης όπως αυτή παρουσιάζεται στον πίνακα 2 του κεφαλαίου 5.

Περιοχή Χ.Θ.1995.9,

Στην περιοχή Χ.Θ.1995.9 εξετάζεται το εγκάρσιο επίπεδο εκείνο το οποίο διέρχεται από το σημείο TDSS1994_99.

Η γκαουσιανή καμπύλη προσδιορίζεται για την διέλευση του TBM1, την τελική κατάσταση και για τις καθιζήσεις που οφείλονται αποκλειστικά στο TBM2, θεωρώντας ως κέντρο τον άξονα της γραμμής 1 όπου και στις τρεις περιπτώσεις εμφανίζεται το μέγιστο των καθιζήσεων. Η απόσταση διορθώνεται κατά την απόσταση που απέχει το χωροσταθμικό με την μέγιστη καθίζηση από τον άξονα.

Τα μεγέθη που υπολογίζονται είναι:

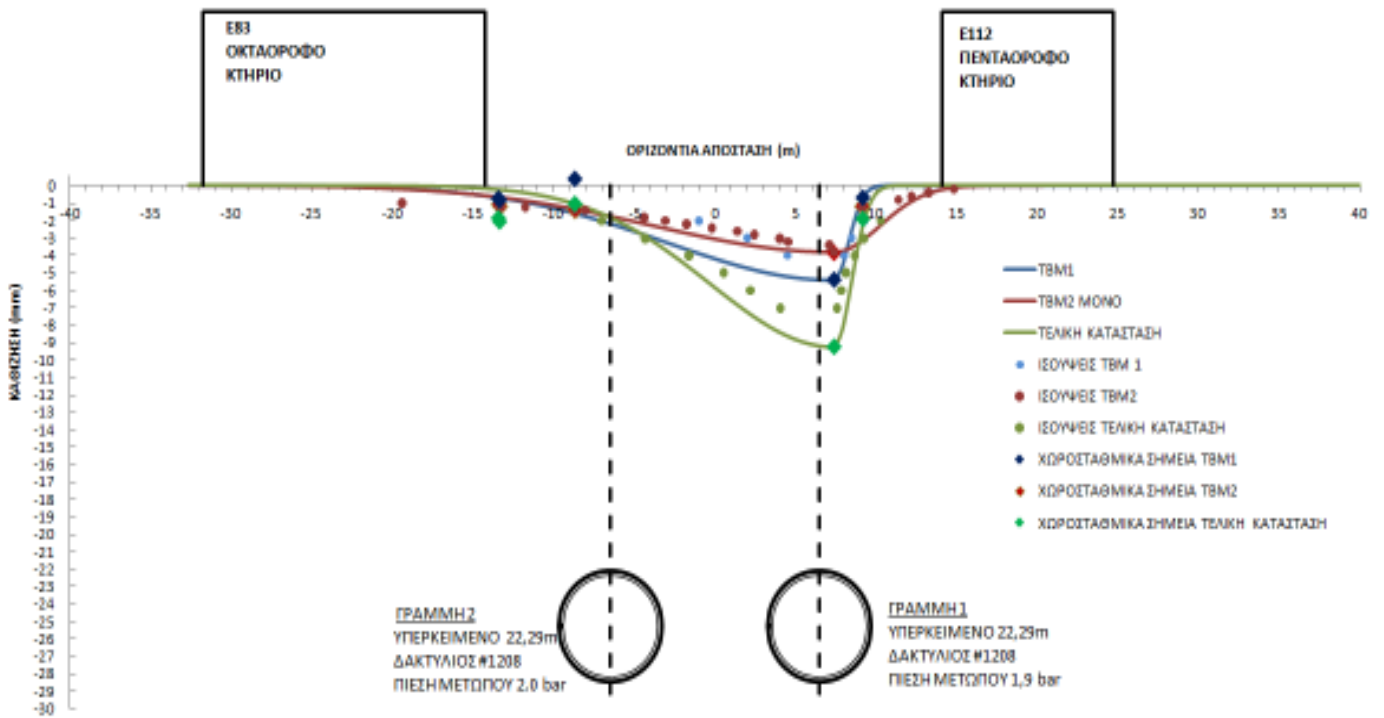
L.P		TBM1				
		i	smax	Vs	VI	k
TETS1994_99	Αριστερός κλάδος	5.71662	5.409734	0.077518	0.256763	0.226412
	Δεξιός κλάδος	1.263295	5.409734	0.017131	0.056741	0.050034
	Συνολικά				0.156752	

L.P		TBM2				
		i	smax	Vs	VI	k
TETS1994_99	Αριστερός κλάδος	11.18034	3.820189	0.107061	0.354615	0.442807
	Δεξιός κλάδος	2.85133	3.820189	0.027304	0.090438	0.112929
	Συνολικά				0.222526	

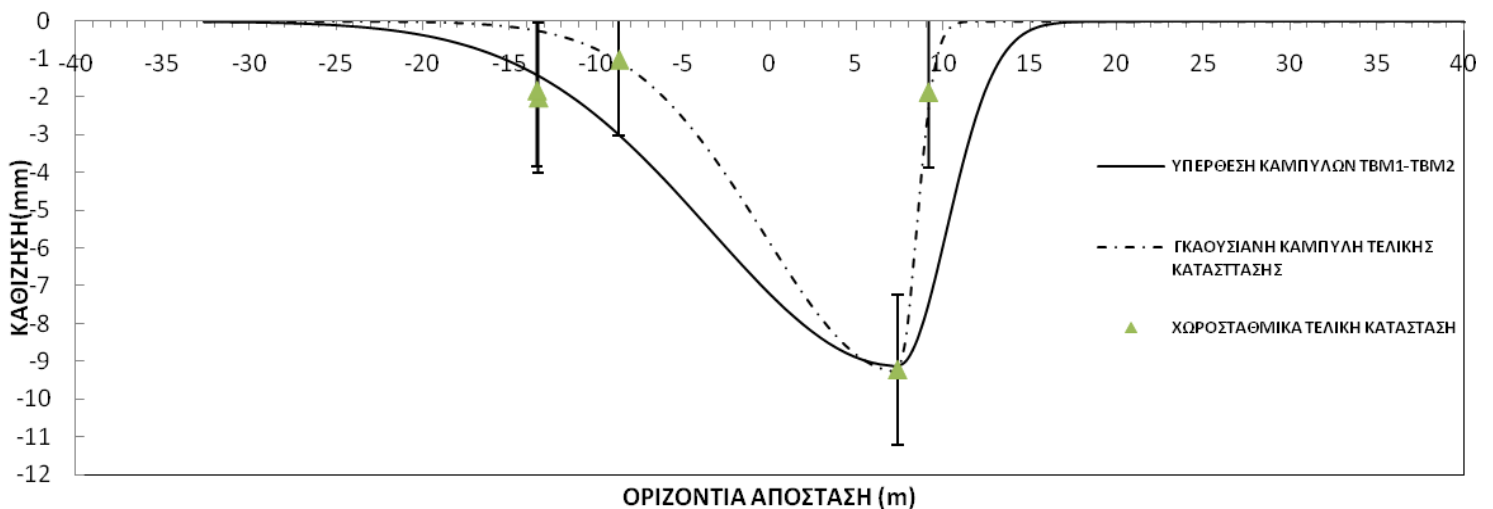
L.P		TBM1&2				
		i	smax	Vs	VI	k
TETS1994_99	Αριστερός κλάδος	7.808688	9.249782	0.18105	0.299845	0.30927
	Δεξιός κλάδος	1.122109	9.230378	0.025962	0.042997	0.044442
	Συνολικά				0.171421	

L.P		Υπέρθωση				
		i	smax	Vs	VI	k
TETS1994_99	Αριστερός κλάδος	10.78328	9.107516	0.246173	0.407697	0.427081
	Δεξιός κλάδος	2.817181	9.107516	0.064314	0.106513	0.111577
	Συνολικά				0.257105	

i			k
Clough & Schmidt	Oteo & Sagasetta	Mair & Taylor	Selby
9.578530818	12.03237	12.6994	0.442477597



Εικ.33: Επιφανειακές καθιζήσεις στην Χ.Θ.1995.9. Γκαουσιανές Καμπύλες βέλτιστης προσαρμογής



Εικ.34: Επιφανειακές καθιζήσεις στην Χ.Θ.1995.9 μετά την ολοκλήρωση της διάνοιξης των δύο γραμμών.. Γκαουσιανές Καμπύλες βέλτιστης προσαρμογής τελικής κατάστασης και εξ υπέρθεσης των καμπυλών ΤΒΜ1 και ΤΒΜ 2.

Περιοχή Χ.Θ.2340 έως Χ.Θ.2392

Στην περιοχή Χ.Θ.2340 έως Χ.Θ.2392 εξετάζεται το εγκάρσιο επίπεδο εκείνο το οποίο διέρχεται από το σημείο TDSS2361_99 (Χ.Θ.2362.2).

Η γκαουσιανή καμπύλη προσδιορίζεται για την διέλευση του TBM1, την τελική κατάσταση και για τις καθιζήσεις που οφείλονται αποκλειστικά στο TBM2, θεωρώντας ως κέντρο τον άξονα της γραμμής 2 όπου και στις τρεις περιπτώσεις εμφανίζεται το μέγιστο των καθιζήσεων. Η απόσταση διορθώνεται κατά την απόσταση που απέχει το χωροσταθμικό με την μέγιστη καθίζηση από τον άξονα.

Τα μεγέθη που υπολογίζονται είναι:

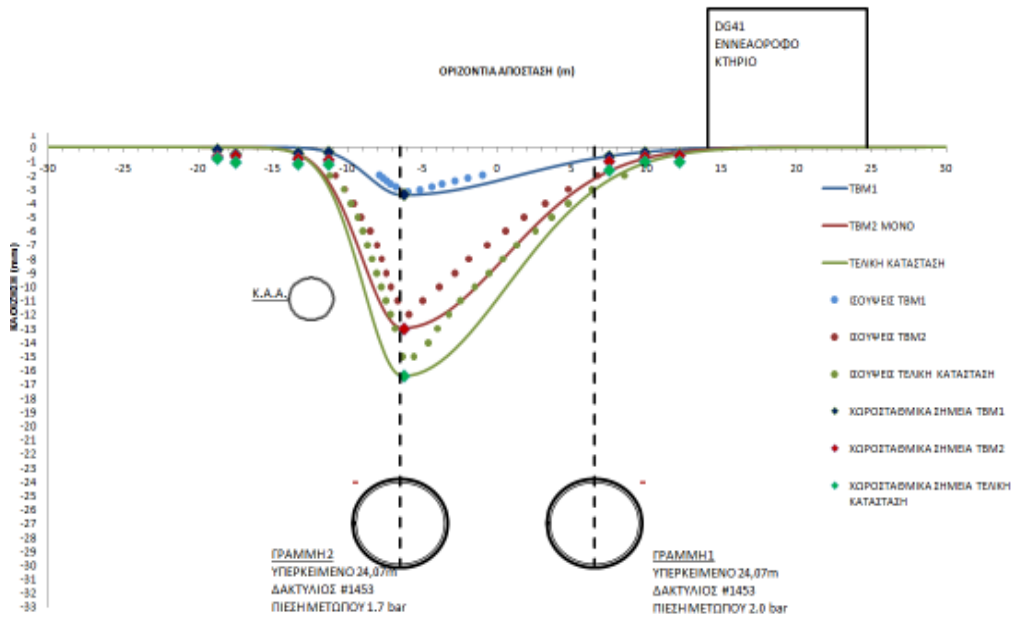
L.P		TBM1				
		i	smax	Vs	VI	k
TETS2361_99	Αριστερός κλάδος	1.403863	3.400084	0.011965	0.039631	0.051965
	Δεξιός κλάδος	4.811252	3.400084	0.041005	0.13582	0.178092
	Συνολικά				0.087725	

L.P		TBM2				
		i	smax	Vs	VI	k
TETS2361_99	Αριστερός κλάδος	2.186347	12.99936	0.071241	0.235971	0.080929
	Δεξιός κλάδος	6.401844	12.99936	0.208601	0.690945	0.236968
	Συνολικά				0.463458	

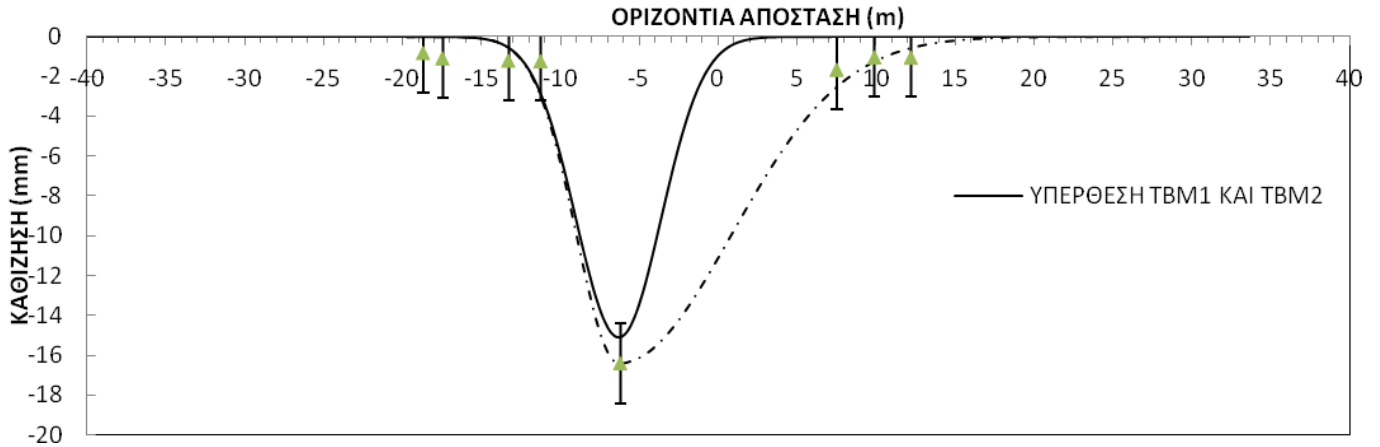
L.P		TBM1&2				
		i	smax	Vs	VI	k
TETS2361_99	Αριστερός κλάδος	2.144718	16.40031	0.088168	0.146019	0.079388
	Δεξιός κλάδος	6.772855	16.40031	0.278428	0.461116	0.250702
	Συνολικά				0.303568	

L.P		Υπέρθωση				
		i	smax	Vs	VI	k
TETS2361_99	Αριστερός κλάδος	2.715627	15.11065	0.102859	0.170349	0.100521
	Δεξιός κλάδος	2.678358	15.11065	0.101448	0.168011	0.099141
	Συνολικά				0.16918	

i			k
Clough & Schmidt	Oteo & Sagaseta	Mair & Taylor	Selby
10.10796626	12.95994	13.5828	0.469575493



Εικ.35: Επιφανειακές καθιζήσεις στ ην Χ.Θ2362.2. Γκαουσιανές Καμπύλες βέλτιστης προσαρμογής



Εικ.36: Επιφανειακές καθιζήσεις στην Χ.Θ.2362.2 μετά την ολοκλήρωση της διάνοιξης των δύο γραμμών. Γκαουσιανές Καμπύλες βέλτιστης προσαρμογής τελικής κατάστασης και εξ υπέρθεσης των καμπυλών ΤΒΜ1 και ΤΒΜ 2

Περιοχή από Χ.Θ:2400 έως Χ.Θ.2469

Στην περιοχή από Χ.Θ.2400 έως Χ.Θ.2469 εξετάζονται τα εγκάρσια επίπεδα εκείνα τα οποία διέρχονται από τα χωροσταθμικά σημεία εκείνα με κωδικούς TETS2448_99, TETS2453_12, TETS 2483_99 και ευρίσκονται στην Χ.Θ. 2444,9, Χ.Θ. 2451,5 και Χ.Θ. 2483.3 αντίστοιχα.

Χ.Θ.2444,9, χωροσταθμικό σημείο TETS2448_99

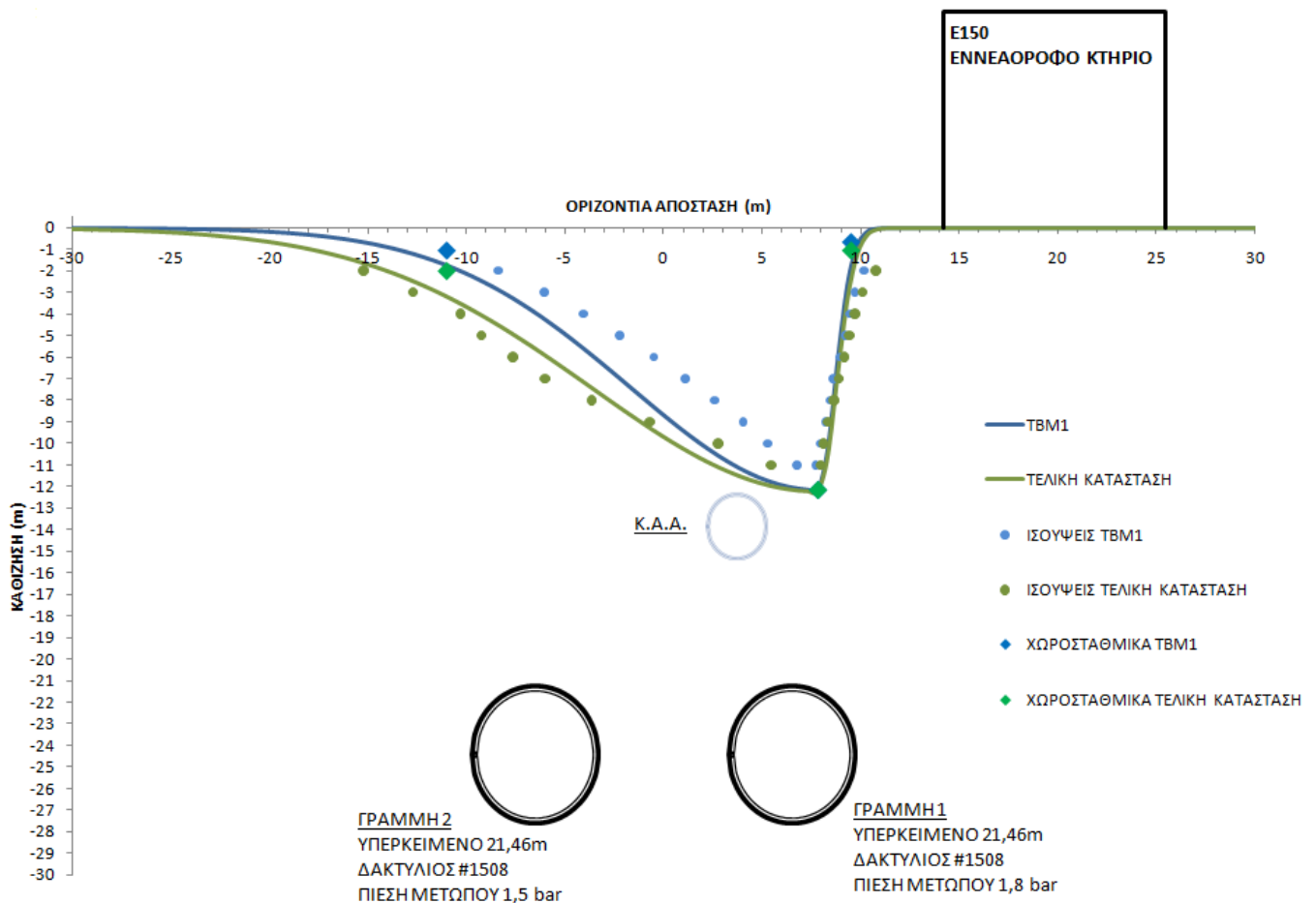
Η γκαουσιανή καμπύλη προσδιορίζεται για την διέλευση του TBM1 και την τελική κατάσταση, θεωρώντας ως κέντρο τον άξονα της γραμμής 1 όπου και στις δύο περιπτώσεις εμφανίζεται το μέγιστο των καθιζήσεων. Η απόσταση διορθώνεται κατά την απόσταση που απέχει το χωροσταθμικό με την μέγιστη καθίζηση από τον άξονα. Βάση του πίνακα 1 έχει θεωρηθεί ότι η συνεισφορά του TBM2 στις επιφανειακές καθιζήσεις είναι αμελητέα, παρόλα από την διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων TBM1 και TBM2 φαίνεται να υφίσταται υπολογίσιμη συνεισφορά.

Τα μεγέθη που υπολογίζονται είναι

L.P		TBM1				
		i	smax	Vs	VI	k
TETS2448_99	Αριστερός κλάδος	8.164966	12.14965	0.248661	0.823635	0.334469
	Δεξιός κλάδος	1.031751	12.14965	0.031422	0.104077	0.042265
	Συνολικά				0.463856	

L.P		TBM1&2				
		i	smax	Vs	VI	k
TETS2448_99	Αριστερός κλάδος	11.47079	12.23622	0.351828	1.165352	0.469889
	Δεξιός κλάδος	1.13651	12.23622	0.034859	0.115461	0.046556
	Συνολικά				0.640407	

i			k
Clough & Schmidt	Oteo & Sagaseta	Mair & Taylor	Selby
9.325133979	11.5928925	12.28085	0.456334456



Εικ.37: Επιφανειακές καθιζήσεις στην Χ.Θ2444,9. Γκαουσιανές Καμπύλες βέλτιστης προσαρμογής

Χ.Θ.2451,5 χωροσταθμικό σημείο TETS2453_12

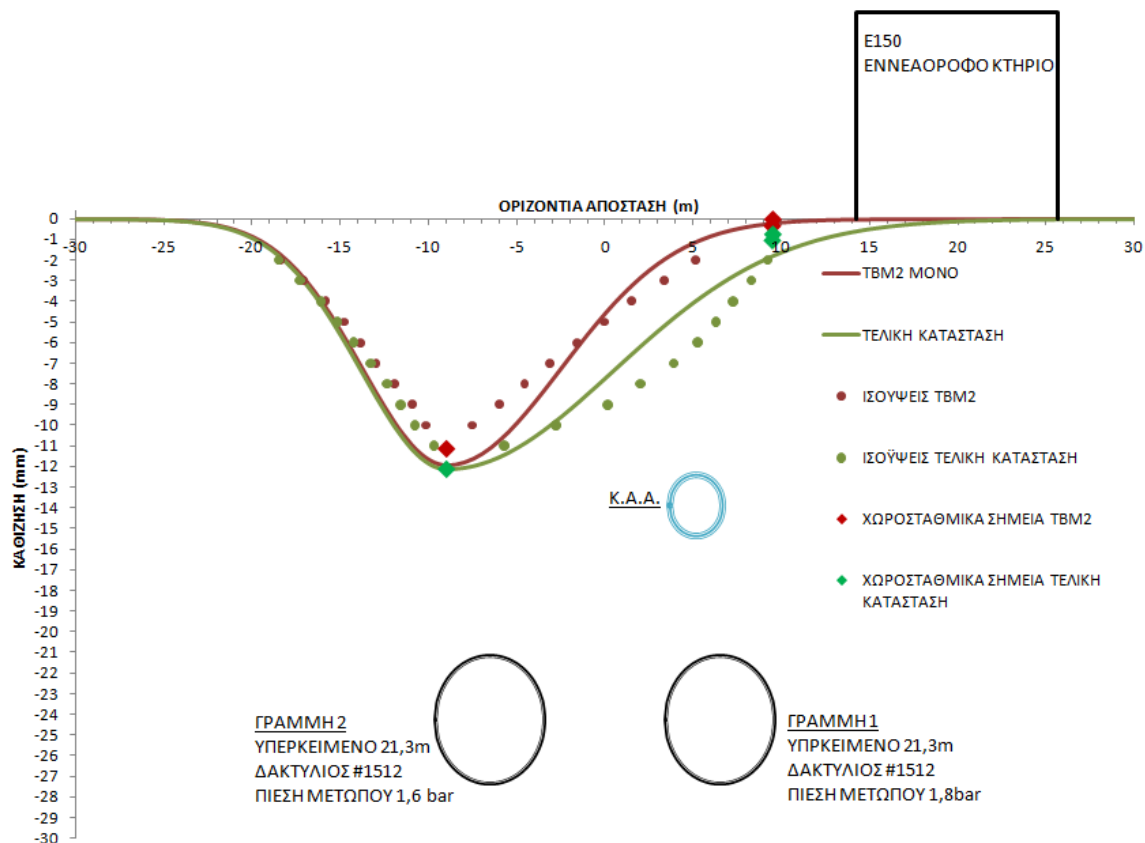
Η γκαουσιανή καμπύλη προσδιορίζεται για την τελική κατάσταση αλλά και για τις καθιζήσεις αποκλειστικά λόγω της διάνοιξης της γραμμής 2, θεωρώντας ως κέντρο τον άξονα της γραμμής 2 όπου και στις δύο περιπτώσεις εμφανίζεται το μέγιστο των καθιζήσεων. Η απόσταση διορθώνεται κατά την απόσταση που απέχει το χωροσταθμικό με την μέγιστη καθίζηση από τον άξονα. Βάση του πίνακα 1 έχει θεωρηθεί ότι η συνεισφορά του TBM1 στις επιφανειακές καθιζήσεις είναι αμελητέα, παρόλα από την διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων TBM2 και τελικής κατάστασης υφίσταται υπολογίσιμη συνεισφορά.

Τα μεγέθη που υπολογίζονται είναι

L.P		TBM2				
		i	smax	Vs	VI	k
TETS2453_12	Αριστερός κλάδος	4.800154	11.9556	0.143852	0.476478	0.19792
	Δεξιός κλάδος	7.216878	11.9556	0.216277	0.71637	0.297566
	Συνολικά				0.596424	

L.P		TBM1&2				
		i	smax	Vs	VI	k
TETS2453_12	Αριστερός κλάδος	4.735137	13.06974	0.155128	0.513826	0.195239
	Δεξιός κλάδος	10.31421	13.06974	0.337904	1.119231	0.425276
	Συνολικά				0.816529	

i			k
Clough & Schmidt	Oteo & Sagaseta	Mair & Taylor	Selby
9.276900919	11.509575	12.2015	0.455067



Εικ. 38 Επιφανειακές καθιζήσεις στην Χ.Θ2451,5. Γκαουσιανές Καμπύλες βέλτιστης προσαρμογής

Χ.Θ.2483,3 χωροσταθμικό σημείο TETS2483_99

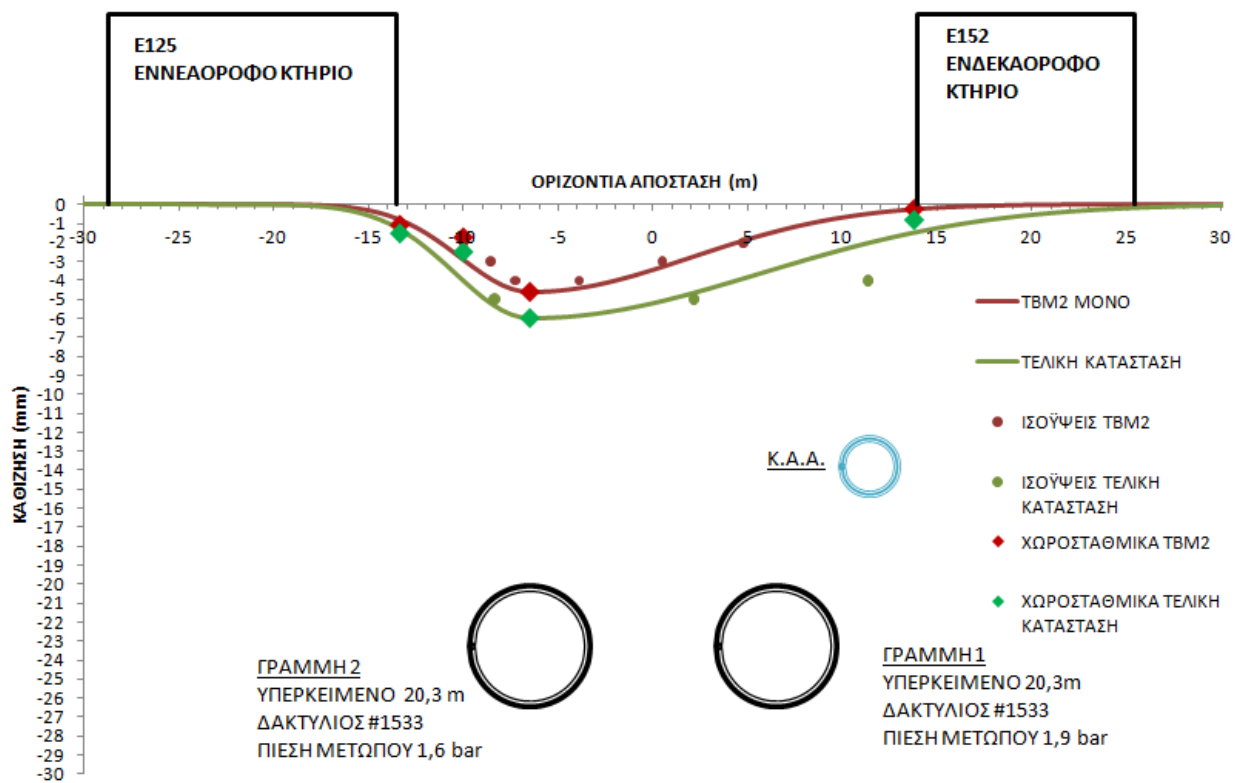
Η γκαουσιανή καμπύλη προσδιορίζεται για την τελική κατάσταση αλλά και για τις καθιζήσεις αποκλειστικά λόγω της διάνοιξης της γραμμής 2, θεωρώντας ως κέντρο τον άξονα της γραμμής 2 όπου και στις δύο περιπτώσεις εμφανίζεται το μέγιστο των καθιζήσεων. Η απόσταση διορθώνεται κατά την απόσταση που απέχει το χωροσταθμικό με την μέγιστη καθίζηση από τον άξονα. Βάση του πίνακα 1 έχει θεωρηθεί ότι η συνεισφορά του TBM1 στις επιφανειακές καθιζήσεις είναι αμελητέα, παρόλα από την διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων TBM2 και τελικής κατάστασης υφίσταται υπολογίσιμη συνεισφορά.

Τα μεγέθη που υπολογίζονται είναι

L.P		TBM2				
		i	smax	Vs	VI	k
TETS2483_99	Αριστερός κλάδος	2.575131	4.620024	0.029822	0.098778	0.11073
	Δεξιός κλάδος	8.512565	4.620024	0.098581	0.326529	0.366039
	Συνολικά				0.212653	

L.P		TBM1&2				
		i	smax	Vs	VI	k
TETS2483_99	Αριστερός κλάδος	2.633403	6.16754	0.040712	0.134848	0.113236
	Δεξιός κλάδος	18.89822	6.16754	0.292161	0.96772	0.812621
	Συνολικά				0.551284	

i			k
Clough & Schmidt	Oteo & Sagaseta	Mair & Taylor	Selby
8.972430496	10.98615	11.703	0.448859267



Εικ. 39 Επιφανειακές καθιζήσεις στην Χ.Θ2483,3. Γκαουσιανές Καμπύλες βέλτιστης προσαρμογής

Περιοχή από Χ.Θ:2830 έως Χ.Θ.2870

Στην περιοχή από Χ.Θ.2830 έως Χ.Θ.2870 εξετάζονται τα εγκάρσια επίπεδα εκείνα τα οποία διέρχονται από τα χωροσταθμικά σημεία εκείνα με κωδικούς TFCS2830_31, TFCS2843_31, TFCS2862_01, TFCS2870_01 και ευρίσκονται στην Χ.Θ.2834,7, Χ.Θ.2843,6, Χ.Θ.2858,5 και Χ.Θ. 2874,6 αντίστοιχα.

Χ.Θ.2834,7 χωροσταθμικό σημείο TFCS2830_31

Η γκαουσιανή καμπύλη προσδιορίζεται για την διέλευση του TBM1, την τελική κατάσταση και για τις καθιζήσεις που οφείλονται αποκλειστικά στο TBM2, θεωρώντας ως κέντρο τον άξονα της γραμμής 1 όπου και στις τρεις περιπτώσεις εμφανίζεται το μέγιστο των καθιζήσεων. Η απόσταση διορθώνεται κατά την απόσταση που απέχει το χωροσταθμικό με την μέγιστη καθίζηση από τον άξονα, κατά την ανάλυση της διάνοιξης του TBM1 ενώ για τις άλλες δύο περιπτώσεις η απόσταση διορθώνεται σύμφωνα με την θέση του μέσου της προβολής της τομής της περιοχής η οποία ορίζεται από την ισούψή μέγιστης καθίζησης στο υπό μελέτη εγκάρσιο επίπεδο. Η τελευταία διόρθωση πραγματοποιείται υπό την παραδοχή ότι η καμπύλη τείνοντας στο μέγιστό της αντιστοίχως τείνει να γίνει συμμετρική.

Τα μεγέθη που υπολογίζονται είναι:

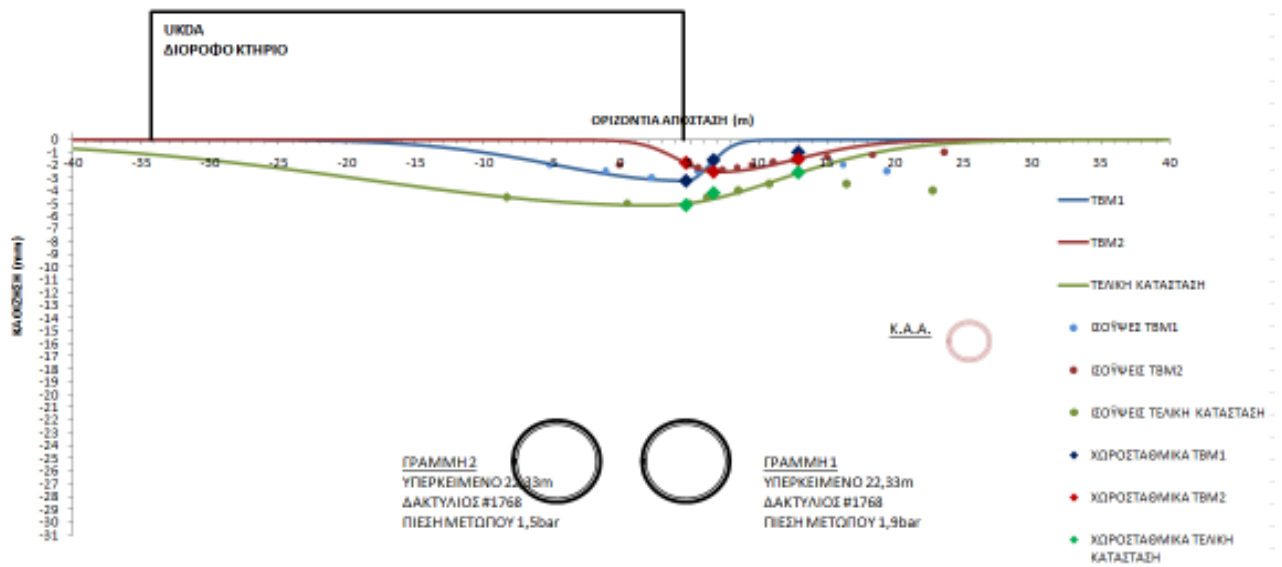
L.P		TBM1				
		i	smax	Vs	VI	k
TFCS2830_31	Αριστερός κλάδος	9.622504	3.290041	0.079356	0.262849	0.380608
	Δεξιός κλάδος	1.713978	3.290041	0.014135	0.046819	0.067795
	Συνολικά				0.154834	

L.P		TBM2				
		i	smax	Vs	VI	k
TFCS2830_31	Αριστερός κλάδος	2.739983	2.540091	0.017446	0.057785	0.108377
	Δεξιός κλάδος	5.792844	2.540091	0.036883	0.122168	0.22913
	Συνολικά				0.089976	

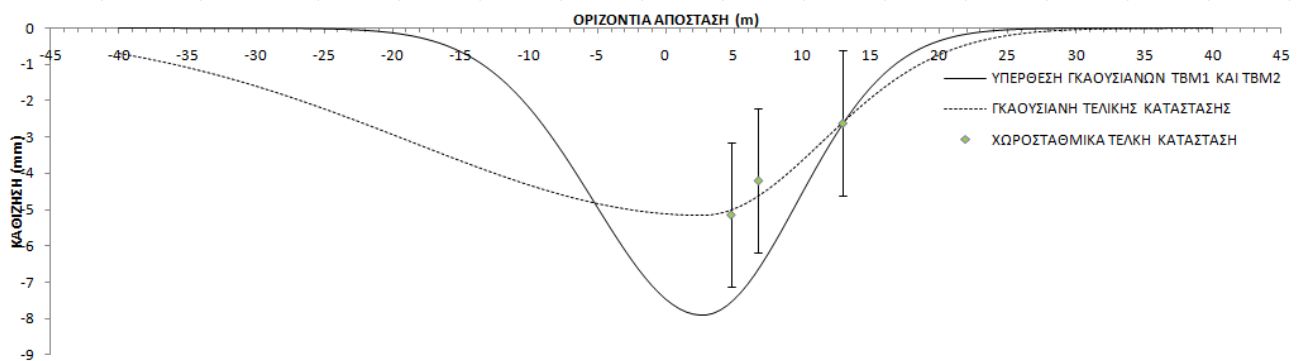
L.P		TBM1&2				
		i	smax	Vs	VI	k
TFCS2830_31	Αριστερός κλάδος	21.32007	5.140241	0.274702	0.454945	0.843294
	Δεξιός κλάδος	8.77058	5.140241	0.113006	0.187154	0.346911
	Συνολικά				0.321049	

L.P		Υπέρθωση				
		i	smax	Vs	VI	k
TFCS2830_31	Αριστερός κλάδος	7.905694	7.896345	0.156479	0.259151	0.312702
	Δεξιός κλάδος	6.933752	7.896345	0.137241	0.22729	0.274258
	Συνολικά				0.243221	

i			k
Clough & Schmidt	Oteo & Sagaseta	Mair & Taylor	Selby
9.588515796	12.0497475	12.71595	0.478412938



Εικ.40 Επιφανειακές καθιζήσεις στην Χ.Θ2834.7. Γκαουσιανές Καμπύλες βέλτιστης προσαρμογής



Εικ.41: Επιφανειακές καθιζήσεις στην Χ.Θ.2834.7 μετά την ολοκλήρωση της διάνοιξης των δύο γραμμών. Γκαουσιανές Καμπύλες βέλτιστης προσαρμογής τελικής κατάστασης και εξ υπέρθεσης των καμπυλών TBM1 και TBM 2

Χ.Θ.2843,6 χωροσταθμικό σημείο TFCS2843_31

Η γκαουσιανή καμπύλη προσδιορίζεται για την διέλευση του TBM1 και την τελική κατάσταση θεωρώντας ως κέντρο τον άξονα της γραμμής 1, ενώ για τις καθιζήσεις που οφείλονται αποκλειστικά στο TBM2 τον άξονα της γραμμής 2. Η απόσταση διορθώνεται κατά την απόσταση που απέχει το χωροσταθμικό με την μέγιστη καθίζηση από τον άξονα, κατά την ανάλυση της διάνοιξης του TBM1 ενώ για τις άλλες δύο περιπτώσεις η απόσταση διορθώνεται σύμφωνα με την θέση του μέσου της προβολής της τομής της περιοχής η οποία ορίζεται από την ισουψή μέγιστης καθίζησης στο υπό μελέτη εγκάρσιο επίπεδο.

Τα μεγέθη που υπολογίζονται είναι:

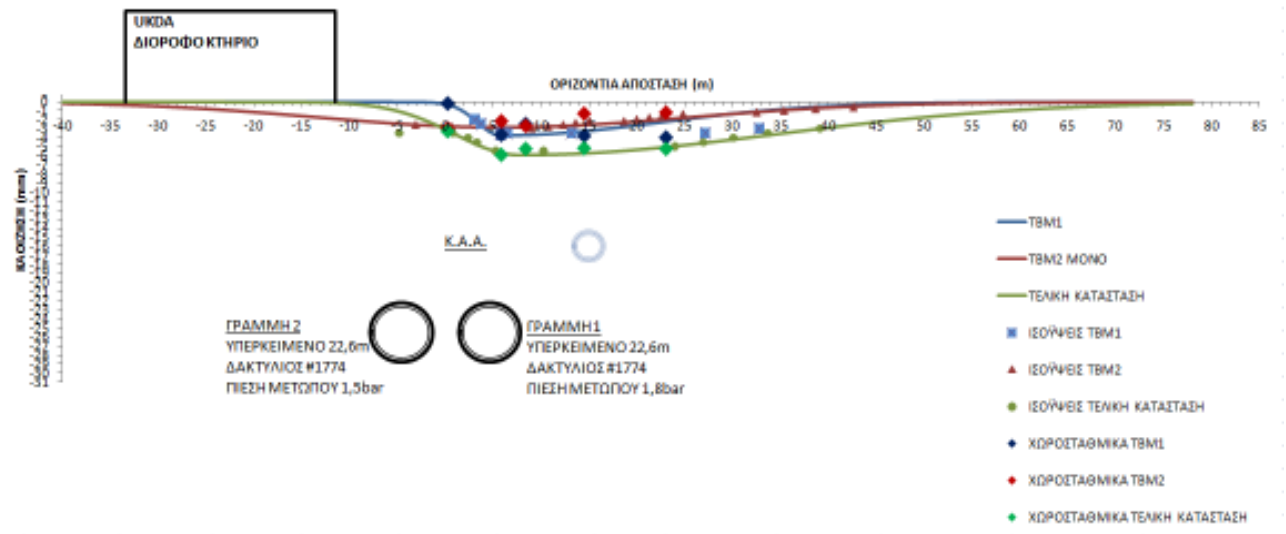
L.P		TBM1				
		i	smax	Vs	VI	k
TFCS2843_31	Αριστερός κλάδος	2.46183	3.689902	0.02277	0.075421	0.096423
	Δεξιός κλάδος	16.66667	3.689902	0.154154	0.510599	0.652788
	Συνολικά				0.29301	

L.P		TBM2				
		i	smax	Vs	VI	k
TFCS2843_31	Αριστερός κλάδος	18.89822	2.904322	0.13758	0.455704	0.740192
	Δεξιός κλάδος	19.61161	2.904322	0.142774	0.472906	0.768134
	Συνολικά				0.464305	

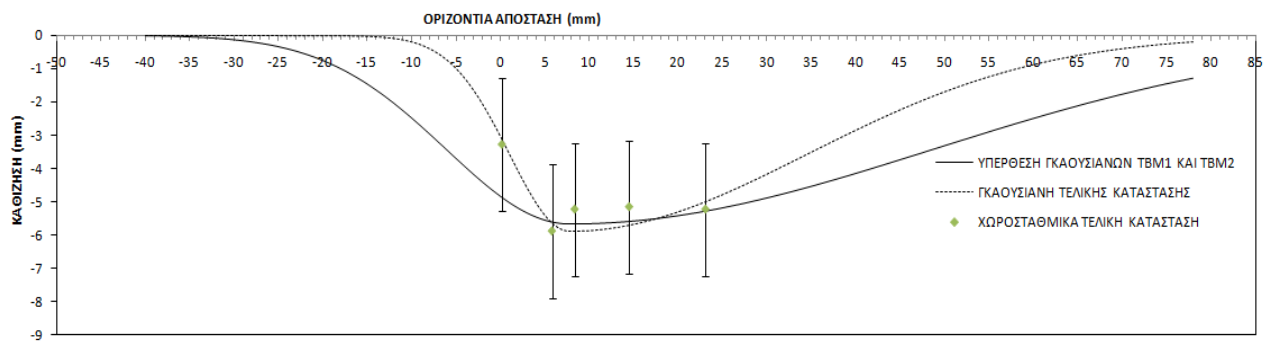
L.P		TBM1&2				
		i	smax	Vs	VI	k
TFCS2843_31	Αριστερός κλάδος	6.772855	5.890259	0.099999	0.165612	0.265274
	Δεξιός κλάδος	26.72612	5.890259	0.394603	0.653517	1.04679
	Συνολικά				0.409565	

L.P		Υπέρθωση				
		i	smax	Vs	VI	k
TFCS2843_31	Αριστερός κλάδος	13.8675	5.671763	0.197154	0.326515	0.543153
	Δεξιός κλάδος	40.82483	5.671763	0.580407	0.961234	1.598998
	Συνολικά				0.643874	

i		k	
Clough & Schmidt	Oteo & Sagasetta	Mair & Taylor	Selby
9.66372697	12.1807875	12.84075	0.479907716



Εικ.42 Επιφανειακές καθιζήσεις στην Χ.Θ2843.6. Γκαουσιανές Καμπύλες βέλτιστης προσαρμογής



Εικ.43: Επιφανειακές καθιζήσεις στην Χ.Θ.2843.6 μετά την ολοκλήρωση της διάνοιξης των δύο γραμμών. Γκαουσιανές Καμπύλες βέλτιστης προσαρμογής τελικής κατάστασης και εξ υπέρθεσης των καμπυλών ΤΒΜ1 και ΤΒΜ 2

Χ.Θ.2858,5 χωροσταθμικό σημείο TFCS2862_01

Η γκαουσιανή καμπύλη προσδιορίζεται για την διέλευση του TBM1 και την τελική κατάσταση θεωρώντας ως κέντρο τον άξονα της γραμμής 1, ενώ για τις καθιζήσεις που οφείλονται αποκλειστικά στο TBM2 τον άξονα της γραμμής 2. Η απόσταση διορθώνεται κατά την απόσταση που απέχει το χωροσταθμικό με την μέγιστη καθίζηση από τον άξονα, κατά την ανάλυση της διάνοιξης του TBM1 ενώ για τις άλλες δύο περιπτώσεις η απόσταση διορθώνεται σύμφωνα με την θέση του μέσου της προβολής της τομής της περιοχής η οποία ορίζεται από την ισουψή μέγιστης καθίζησης στο υπό μελέτη εγκάρσιο επίπεδο.

Τα μεγέθη που υπολογίζονται είναι:

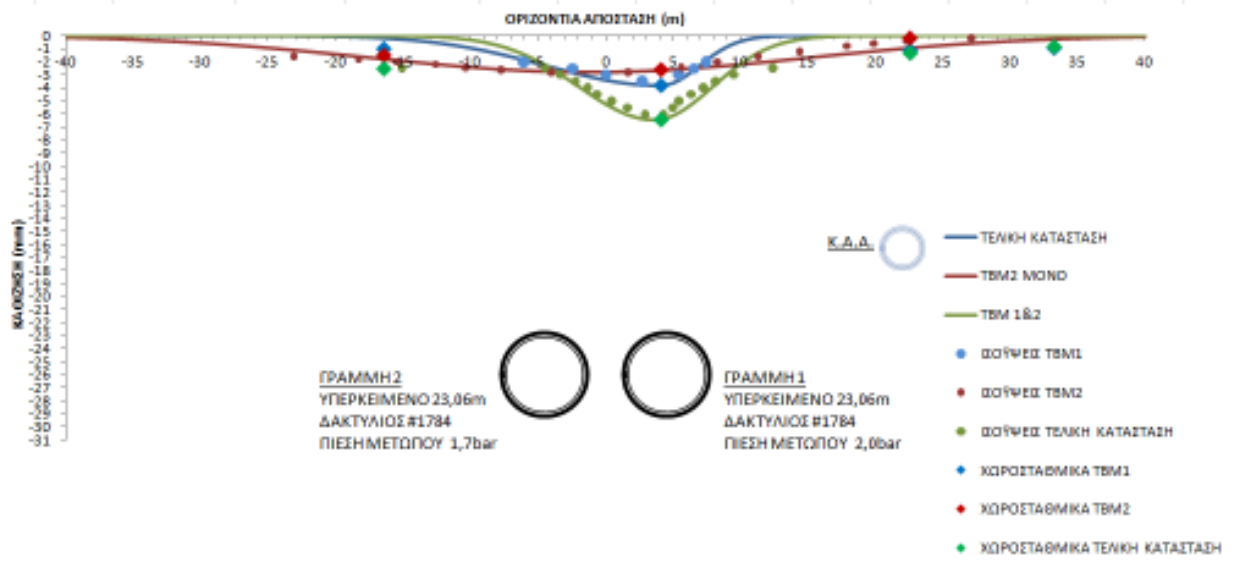
L.P		TBM1				
		i	smax	Vs	VI	k
TFCS2862_01	Αριστερός κλάδος	8.451543	3.820189	0.08093	0.268063	0.324917
	Δεξιός κλάδος	2.830693	3.820189	0.027106	0.089783	0.108825
	Συνολικά				0.178923	

L.P		TBM2				
		i	smax	Vs	VI	k
TFCS2862_01	Αριστερός κλάδος	16.22214	2.841409	0.11554	0.3827	0.623655
	Δεξιός κλάδος	11.62476	2.841409	0.082796	0.274242	0.44691
	Συνολικά				0.328471	

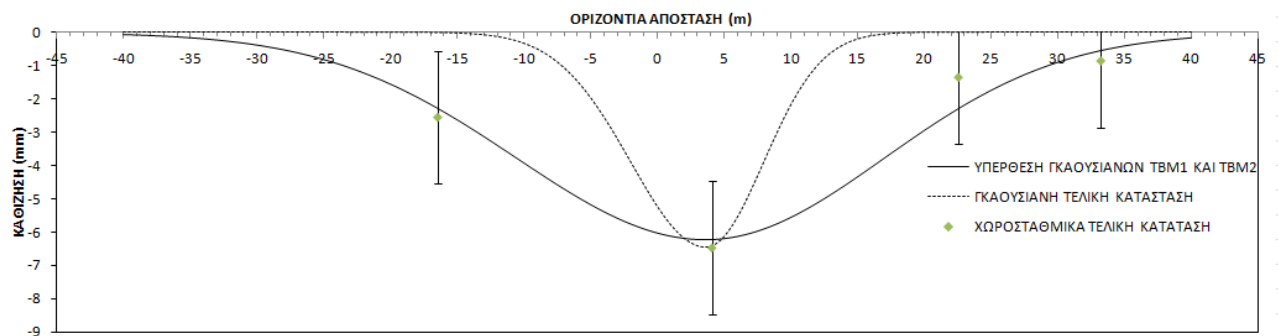
L.P		TBM1&2				
		i	smax	Vs	VI	k
TFCS2862_01	Αριστερός κλάδος	5.59017	6.459811	0.090518	0.14991	0.214912
	Δεξιός κλάδος	4.327423	6.459811	0.070071	0.116048	0.166366
	Συνολικά				0.132979	

L.P		Υπέρθεση				
		i	smax	Vs	VI	k
TFCS2862_01	Αριστερός κλάδος	14.14214	6.228279	0.220787	0.365653	0.54369
	Δεξιός κλάδος	13.36306	6.228279	0.208624	0.34551	0.513739
	Συνολικά				0.355582	

i		k	
Clough & Schmidt	Oteo & Sagasetta	Mair & Taylor	Selby
9.807924795	12.432735	13.0807	0.487213987



Εικ.44 Επιφανειακές καθιζήσεις στην Χ.Θ2858.5. Γκαουσιανές Καμπύλες βέλτιστης προσαρμογής



Εικ.45: Επιφανειακές καθιζήσεις στην Χ.Θ.2858.5 μετά την ολοκλήρωση της διάνοιξης των δύο γραμμών. Γκαουσιανές Καμπύλες βέλτιστης προσαρμογής τελικής κατάστασης και εξ υπέρθεσης των καμπυλών ΤΒΜ1 και ΤΒΜ 2

Χ.Θ.2874,6 χωροσταθμικό σημείο TFCS2870_01

Η γκαουσιανή καμπύλη προσδιορίζεται για την διέλευση του TBM1, την τελική κατάσταση και για τις καθιζήσεις που οφείλονται αποκλειστικά στο TBM2, θεωρώντας ως κέντρο τον άξονα της γραμμής 2 όπου πλησίον της οποίας και στις τρεις περιπτώσεις εμφανίζεται το μέγιστο των καθιζήσεων. Η απόσταση διορθώνεται σύμφωνα με την θέση του μέσου της προβολής της τομής της περιοχής η οποία ορίζεται από την ισοϋψή μέγιστης καθιζήσης στο υπό μελέτη εγκάρσιο επίπεδο.

Τα μεγέθη που υπολογίζονται είναι:

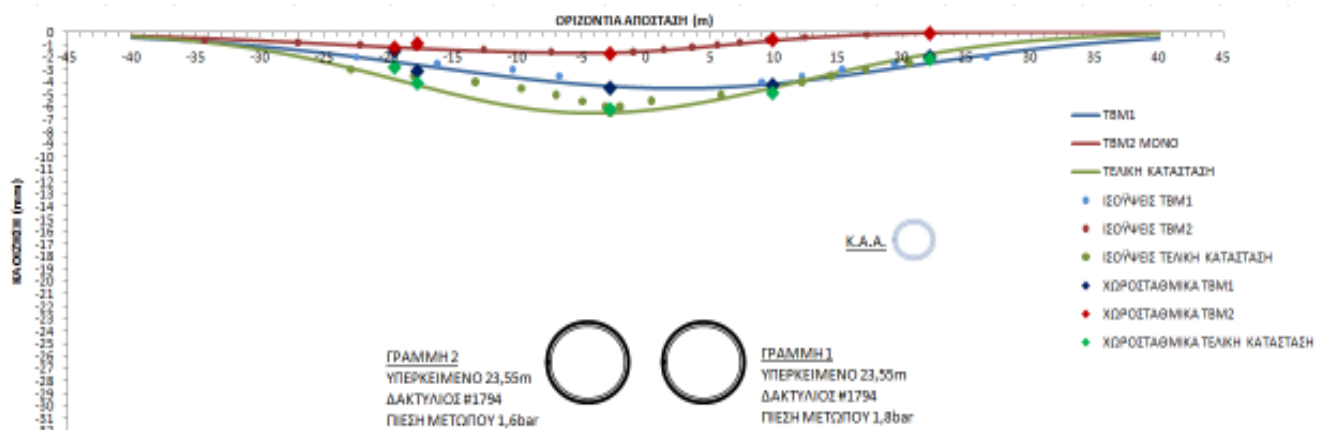
L.P		TBM1				
		i	smax	Vs	VI	k
TFCS2870_01	Αριστερός κλάδος	19.61161	4.470052	0.219743	0.727851	0.740066
	Δεξιός κλάδος	17.67767	4.470052	0.198074	0.656076	0.667087
	Συνολικά				0.691964	

L.P		TBM2				
		i	smax	Vs	VI	k
TFCS2870_01	Αριστερός κλάδος	19.61161	1.710011	0.084062	0.278438	0.740066
	Δεξιός κλάδος	10.66004	1.710011	0.045693	0.151347	0.402269
	Συνολικά				0.214893	

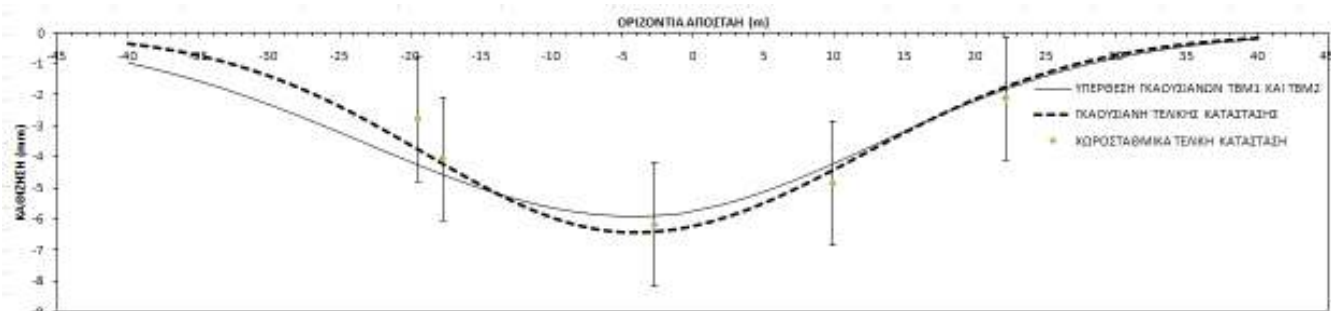
L.P		TBM1&2				
		i	smax	Vs	VI	k
TFCS2870_01	Αριστερός κλάδος	14.7442	6.459811	0.238743	0.395392	0.556389
	Δεξιός κλάδος	16.22214	6.459811	0.262675	0.435025	0.612161
	Συνολικά				0.415209	

L.P		Υπέρθωση				
		i	smax	Vs	VI	k
TFCS2870_01	Αριστερός κλάδος	18.89822	5.92393	0.280621	0.464748	0.713146
	Δεξιός κλάδος	17.14986	5.92393	0.25466	0.421752	0.647169
	Συνολικά				0.44325	

i			k
Clough & Schmidt	Oteo & Sagaseta	Mair & Taylor	Selby
9.954194283	12.68925	13.325	0.486941839



Εικ.46 Επιφανειακές καθιζήσεις στην Χ.Θ2874.6. Γκαουσιανές Καμπύλες βέλτιστης προσαρμογής



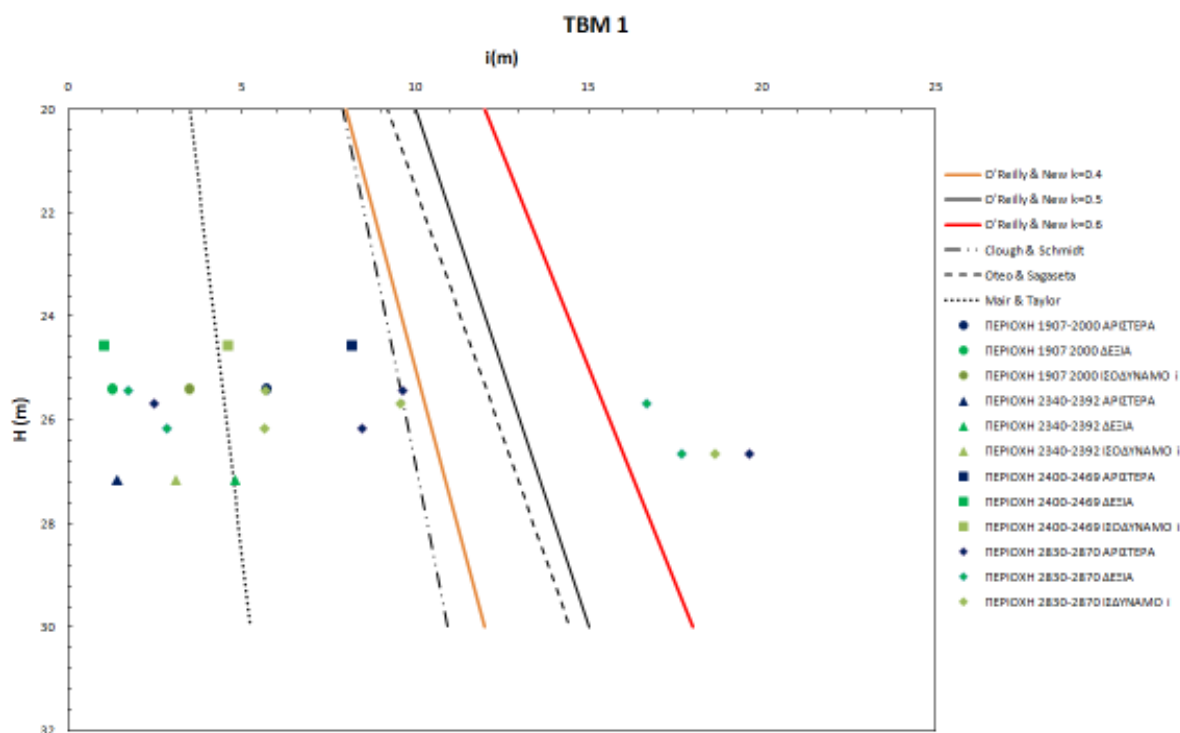
Εικ.47: Επιφανειακές καθιζήσεις στην Χ.Θ.2874.6 μετά την ολοκλήρωση της διάνοιξης των δύο γραμμών. Γκαουσιανές Καμπύλες βέλτιστης προσαρμογής τελικής κατάστασης και εξ υπέρθεσης των καμπυλών TBM1 και TBM 2

7.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Επειδή το πλήθος των υπολογιζόμενων μεγεθών είναι τέτοιο το οποίο δεν επιτρέπει την απευθείας σύγκριση με τα αντίστοιχα που προκύπτουν από τις σχέσεις που προτείνει η βιβλιογραφία (Oteo & Sagaseta, O'Reilly & New, Clough & Schmidt, Mair & Taylor), επιλέχθηκε να χαραχθούν διαγράμματα της τυπικής απόκλισης συναρτήσει του βάθους της εκσκαφής εφόσον όλες οι παραπάνω σχέσεις εκφράζουν την τυπική απόκλιση είτε άμεσα (O'Reilly & New, Mair & Taylor) είτε κατόπιν απλούστατου μετασχηματισμού (Oteo & Sagaseta, Clough & Schmidt). Στα διαγράμματα αναπαρίστανται προς σύγκριση, οι καμπύλες οι οποίες εκφράζουν τις παραπάνω γραμμικές ή μη σχέσεις. Στα διαγράμματα εμφανίζονται επίσης οι τιμές ισοδύναμης τυπικής απόκλισης, οι οποίες αποτελούν το ημίθροισμα των εξ αριστερών και εκ δεξιών προσδιορισμένων τυπικών αποκλίσεων για εκάστοτε περίπτωση.

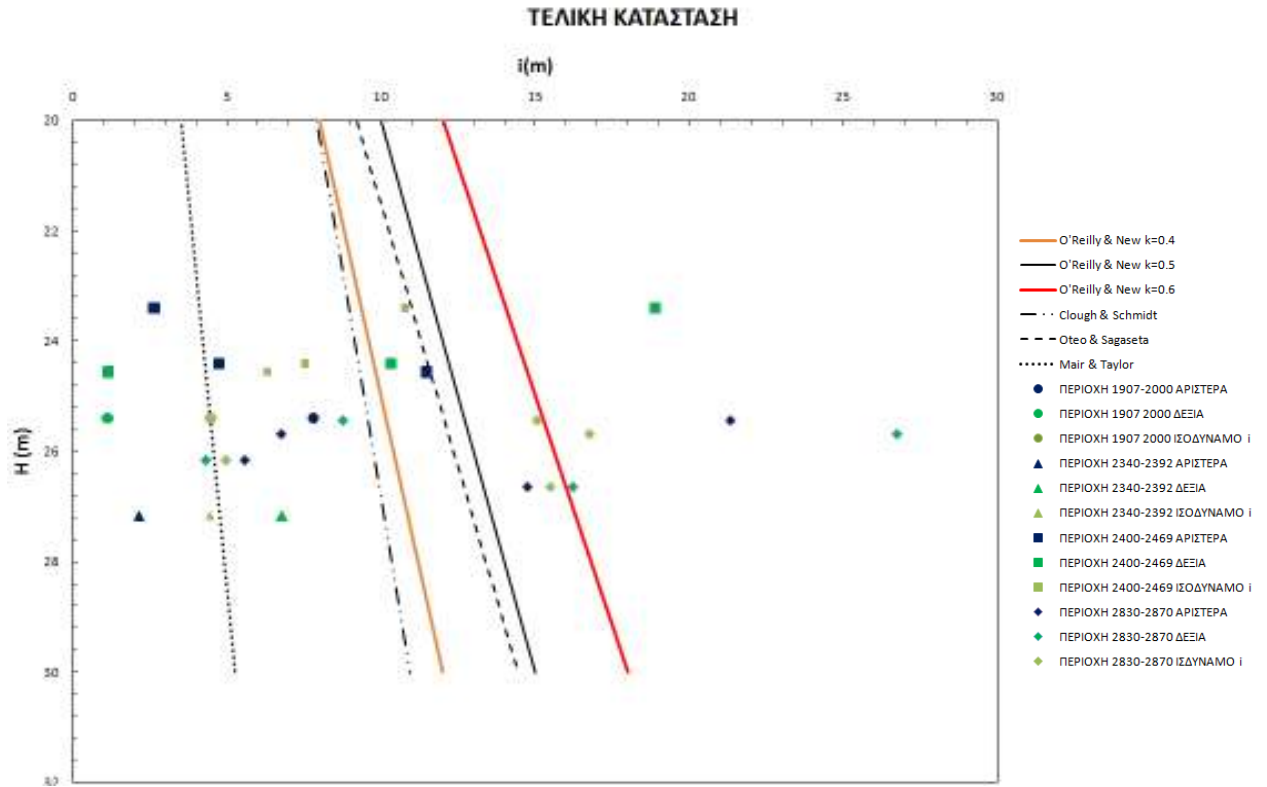
Διάνοιξη Γραμμής 1

Παρατίθεται το διάγραμμα τυπικής απόκλισης συναρτήσει του βάθους διάνοιξης, με τις τιμές που προέκυψαν κατά την ανάλυση των δεδομένων που αφορούν την διάνοιξη της γραμμής 1.



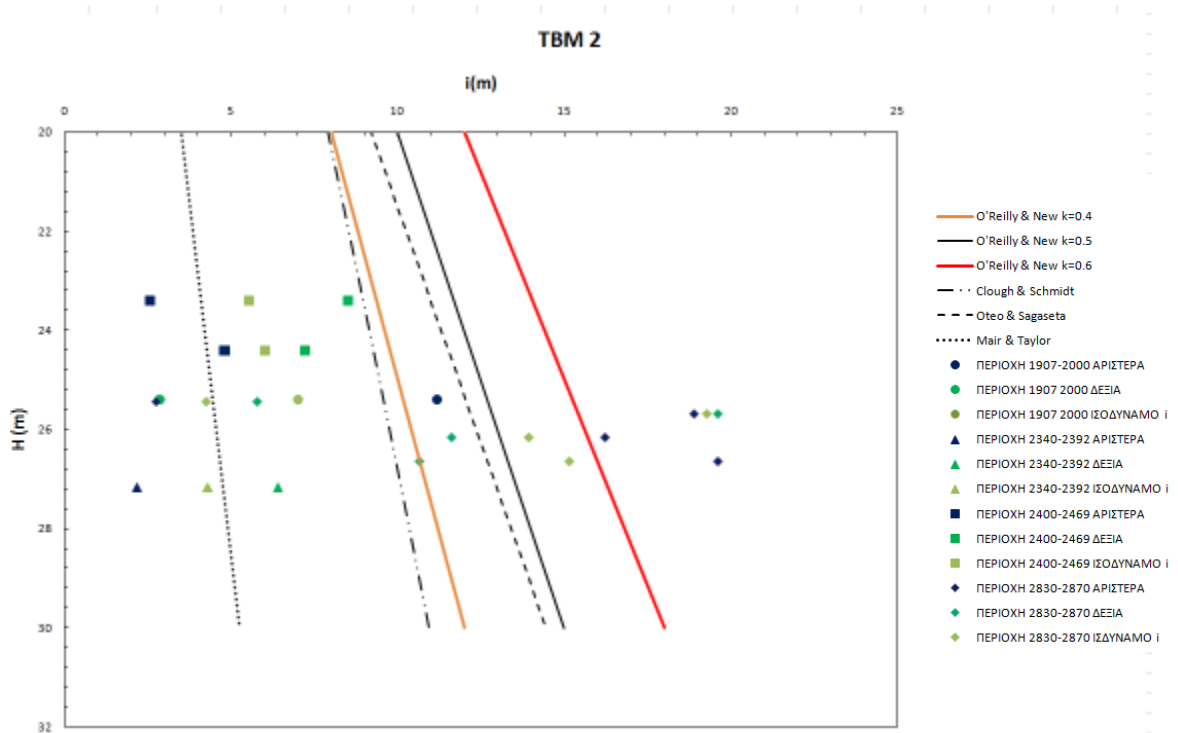
Τελική Κατάσταση

Παρατίθεται το διάγραμμα τυπικής απόκλισης συναρτήσεως του βάθους διάνοιξης, με τις τιμές που προέκυψαν κατά την ανάλυση των δεδομένων που αφορούν την τελική κατάσταση των καθιζήσεων.



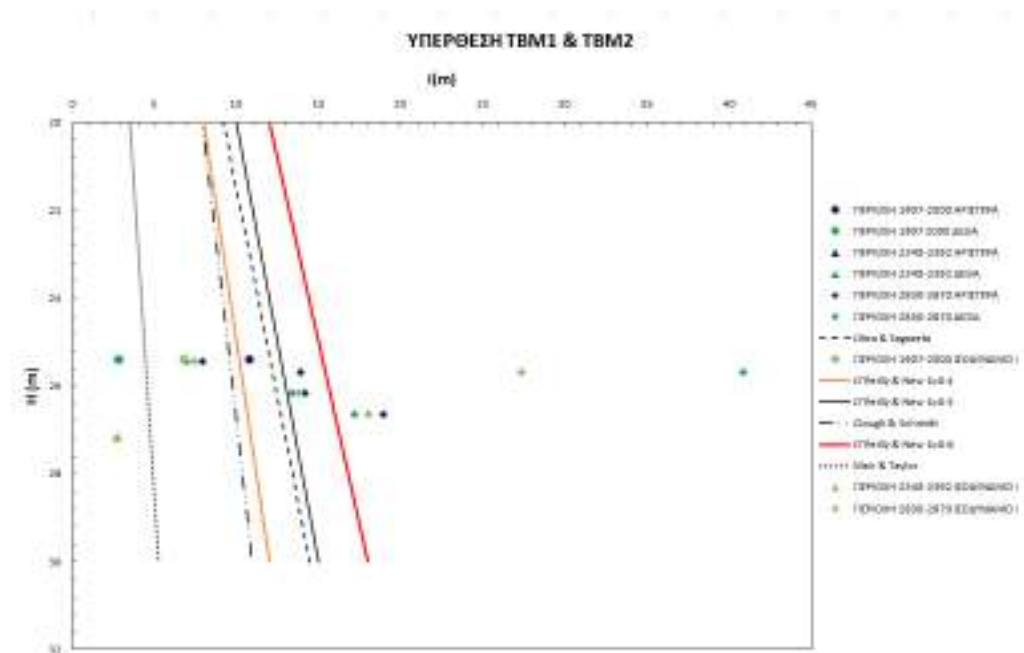
Καθιζήσεις Λόγω Διάνοιξης Γραμμής 2 μόνον

Παρατίθεται το διάγραμμα τυπικής απόκλισης συναρτήσεσι του βάθους διάνοιξης, με τις τιμές που προέκυψαν κατά την ανάλυση των δεδομένων που αφορούν τις καθιζήσεις αποκλειστικά λόγω της διάνοιξης της γραμμής 2.



Υπέρθωση Γκαουσιανών Γραμμής 1 και Γραμμής 2.

Παρατίθεται το διάγραμμα τυπικής απόκλισης συναρτήσει του βάθους διάνοιξης, με τις τιμές που προέκυψαν κατά την ανάλυση των δεδομένων που αφορούν τις καμπύλες που παράγονται εξ υπερθέσεως των γκαουσιανών καμπύλων που αφορούν τις καθιζήσεις λόγω της διάνοιξης της γραμμής 1 και της διάνοιξης της γραμμής 2 (μόνον λόγω αυτής).



Αξιολόγηση

Παρατηρείται από τα παραπάνω διαγράμματα, ότι στο σύνολο των περιπτώσεων υπάρχει ασυμφωνία των υπολογισμένων τιμών τυπικής απόκλισης με αυτές που προκύπτουν από τις σχέσεις που βιβλιογραφικά προτείνονται. Η διασπορά των τιμών είναι τέτοια που δεν είναι δυνατό να θεωρηθεί ότι προσεγγίζονται από μοναδική εκ των γνωστών σχέσεων.

Παρά ταύτα μπορεί να διακριθεί ότι υπάρχει μια συγκέντρωση των τιμών στην αριστερή περιοχή του διαγράμματος η οποία διατέμνεται από την καμπύλη που περιγράφει την γραμμική σχέση των Mair & Taylor και εκ τούτου μπορεί να ειπωθεί ότι η συγκεκριμένη σχέση είναι και αυτή που περιγράφει καλύτερα –συγκριτικά πάντοτε- τις υπολογισμένες τιμές.

Η ασυμφωνία αυτή μπορεί να αποδοθεί στην γεωλογική ανομοιογένεια των περιοχών και την έντονα μεταβαλλόμενη διαστρωμάτωση, σύνθεση δηλαδή συνθηκών οι οποίες δεν συνάδουν με αυτές των περιοχών που εξετάστηκαν για την εξαγωγή των παραπάνω σχέσεων.

8 Προσομοίωση με χρήση αριθμητικών μεθόδων της περιοχής από Χ.Θ.2340 έως Χ.Θ.2392

Η συνηθέστερη μέθοδος ανάλυσης της διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης σήραγγων είναι η διδιάστατη ανάλυση με χρήση πεπερασμένων στοιχείων στο επίπεδο της διατομής της σήραγγας. Το αυξανόμενο ενδιαφέρον και η συνεχής έρευνα στον τομέα της αριθμητικής ανάλυσης και προσομοίωσης σε συνδυασμό με την αλματώδη πρόοδο της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών κατέστησε εφικτή την επέκταση της αριθμητικής ανάλυσης στην τρίτη διάσταση. Έτσι πλέον υπάρχουν κώδικες οι οποίοι παρέχουν την δυνατότητα τρισδιάστατης ανάλυσης της διάνοιξης και υποστήριξης και προσομοίωσης της γεωμετρίας της σήραγγας στον χώρο. Όπως και στην διδιάστατη ανάλυση, στην τρισδιάστατη ανάλυση προσομοιώνονται οι φάσεις τις εκσκαφής και υποστήριξης της σήραγγας, καθώς και η χρονική υστέρηση στην τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης μετά την εκσκαφή κάποιας φάσης. Η γεωμάζα αλλά και τα όποια στοιχεία της υποστήριξης, προσομοιώνονται ως ελαστοπλαστικά υλικά με κάποια ελαστικά χαρακτηριστικά και ένα κριτήριο αστοχίας που καθορίζει το πέρας της ελαστικής τους συμπεριφοράς. Από την ανάλυση υπολογίζονται:

- ❖ Οι παραμορφώσεις του τοιχώματος της σήραγγας
- ❖ Η έκταση της πλαστικής ζώνης (δηλαδή της ζώνης στην οποία ικανοποιείται το κριτήριο αστοχίας) στην γεωμάζα που περιβάλλει την σήραγγα.
- ❖ Η ένταση των μέτρων άμεσης υποστήριξης (δυνάμεις, ροπές)

Η μέθοδος ανάλυσης με χρήση πεπερασμένων στοιχείων έρχεται να αντικαταστήσει τις πολλές φορές ιδιαίτερα σύνθετες αναλυτικές προσεγγίσεις προβλημάτων ευστάθειας υπογείων ανοιγμάτων καθώς και των συνεπειών που αυτά μπορεί να έχουν όπως είναι οι επιφανειακές καθιζήσεις. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών εξαρτώνται άμεσα από την ορθότητα του καταστατικού μοντέλου το οποίο χρησιμοποιείται αλλά και των εισαγόμενων στον κώδικα παραμέτρων. Μπορεί να διατυπωθεί ως γενικός κανόνας, ότι η προσομοίωση της διάνοιξης μίας σήραγγας πρέπει να δομηθεί κατά τέτοιο τρόπο ούτως ώστε να αναπαριστά όσο το δυνατό πιο πιστά την πραγματική διαδικασία.(Dasari et al, 1996)

Ως κυριότερες πηγές σφαλμάτων κατά την αριθμητική προσομοίωση (πίν.4)αναφέρονται οι ακόλουθες (Powell et al., 2007):

Πίνακας 4: Πηγές σφαλμάτων στην αριθμητική προσομοίωση

Παράμετρος της προσομοίωσης	Παράδειγμα
Γεωμετρία	Διδιάστατη ανάλυση ενός τριδιάστατου προβλήματος. Απλούστευση της κατασκευής στις τρισδιάστατες αναλύσεις
Κατασκευαστική μέθοδος	Αναλύσεις όπου δομικά στοιχεία θεωρούνται στην τελική τους θέση πριν την ολοκλήρωση προαπαιτούμενων διαδικασιών (π.χ. τοποθέτηση υποστήριξης πριν την εκσκαφή του αντίστοιχου όγκου υλικού). Επίπτωση της αλληλουχίας των κατασκευαστικών φάσεων στην τρισδιάστατη ανάλυση.
Καταστατική προσομοίωση και επιλογή των παραμέτρων	Υπόθεση της γραμμικά ελαστικής συμπεριφοράς του εδάφους και της επένδυσης
Θεωρητική βάση της ανάλυσης	Θεώρηση ασυνεχούς εδαφικού υλικού ως συνεχούς
Εκτίμηση αποτελεσμάτων	Προσαρμογή του συντελεστή ασφάλειας
Ανθρώπινο σφάλμα	Σφάλματα κατά την δημιουργία του δικτύου πεπερασμένων στοιχείων και/ ή την εισαγωγή των γεωτεχνικών δεδομένων

8.1 Μοντέλο προσομοίωσης δίδυμης σήραγγας με μηχανήμα εξισσορόπισης εδαφικών πιέσεων

Για την ανάλυση της μηχανοποιημένης διάνοιξης της δίδυμης σήραγγας χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας πεπερασμένων στοιχείων PLAXIS TUNNEL 3D 2,4. Ο συγκεκριμένος κώδικας είναι ένα εξειδικευμένο μέσο για την διενέργεια αναλύσεων παραμορφώσεων και ευστάθειας για διάφορους τύπους διάνοιξης σηράγγων σε βραχομάζα ή εδαφομάζα. Η τρισδιάστατη προσομοίωση της σήραγγας και του χώρου στον οποίο αυτή διανοίγεται γίνεται με την επανάληψη γεωμετρικών διατομών στον άξονα της τρίτης διάστασης. Ο κώδικας διαθέτει ειδικές εντολές για την εύκολη και γρήγορη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων διανοίξεων με μεθόδους NATM ή μηχανοποιημένη όρυξη (TBM) (PLAXIS, 2004).

8.1.1 Παράμετροι και μεταβλητές

Η παρούσα αριθμητική ανάλυση, βασίσθηκε στα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση των αντίστοιχων αναλύσεων για τις σήραγγες του ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ. Συγκεκριμένα με εκκίνηση τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τις αναλύσεις πρόβλεψης οι οποίες εκτελέσθηκαν για λογαριασμό της ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, πραγματοποιήθηκαν δοκιμαστικές αναλύσεις μέχρι τα εξαγόμενα αποτελέσματα να ανταποκρίνονται κατά το δυνατό στα μετρημένα μεγέθη τα οποία χαρακτηρίζουν το προφίλ καθιζήσεων στην περιοχή από Χ.Θ.2340 έως 2392.

8.1.2 Διδιάστατη Γεωμετρία μοντέλου

Οι διαστάσεις του χώρου της περιβάλλουσας εδαφομάζας είναι οι ακόλουθες:

- Πλάτος 140m
- Ύψος 55m

Η διατομή διαιρέθηκε καθ' ύψος σε εδαφικά κλάσματα σύμφωνα με την στρωματογραφία η οποία απαντάται στην θέση ενδιαφέροντος

Από(m)	Έως(m)	Ενότητα(m)
0.00	-5,50	T.E.
-5.50	-16.50	A2b
-16.50	-55.00	A2c

Η στάθμη του ελεύθερου υδροφόρου τοποθετήθηκε στα -3,5m.

Το μήκος του χώρου καθορίζεται κατά την διάρκεια της δημιουργίας του τριδιάστατου πλέγματος, διαδικασία η οποία περιγράφεται παρακάτω.

Ελήφθησαν υπόψη πέραν της θέσεως και της διατομής των δύο σηράγγων, ο Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός, καθώς και το υπόγειο του παρακείμενου κτηρίου με κωδικό DG41.

Τα παραπάνω δομικά στοιχεία τοποθετήθηκαν λογίζοντας τις σχετικές αποστάσεις από το μεσοδιάστημα των σηράγγων (το οποίο στο προσομοίωμα αποτελεί το

σημείο 0,0) όπως αυτές προέκυψαν από τις μετρήσεις επί της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής. Συγκεκριμένα:

Στοιχείο	Θέση X(m)	Θέση Y(m)	Εσωτερική Ακτίνα(m)	Εξωτερική Ακτίνα(m)
Κ.Α.Α	-12,5	11,0	1,25	1,30
Αριστερός Κλάδος	-6,5	-24,0	2,95	3,1
Δεξιός Κλάδος	6,5	-24,0	2,95	3,1

Το υπόγειο του κτηρίου DG41 εκτείνεται ως βάθους 5,0m και απέχει από το μεσοδιάστημα των αξόνων 14 έως 24,5m. Θεωρήθηκε να έχει πάχος τοιχοποιίας 0,5m.

8.1.3 Προσομοίωση εδαφικού υλικού και σκυροδέματος επένδυσης

Εν συνεχεία εισήχθησαν στο μοντέλο τα χαρακτηριστικά των υλικών, τόσο των εδαφικών όσο και του σκυροδέματος αλλά και των στοιχείων τα οποία συνθέτουν την επένδυση του TBM αλλά και την επιφάνεια του υπογείου του DG41(plate elements). Στην επιφάνεια του τελευταίου τοποθετήθηκε στοιχείο επένδυσης προκειμένου να επιβληθεί το κατανεμημένο φορτίο της οικοδομής.

Τα εδαφικά υλικά θεωρήθηκαν ότι ακολουθούν το κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb. Οι παράμετροι οι οποίες απαιτούνται για τους υπολογισμούς είναι το ειδικό βάρος γ , το μέτρο ελαστικότητας του υλικού E , ο λόγος Poisson ν , η συνοχή c , η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ και η γωνία διαστολής ψ . Για το ειδικό βάρος του εδάφους λογίζονται δύο τιμές, μία η οποία αφορά το έδαφος σε κορεσμένη κατάσταση και μία σε ακόρεστη.

Ειδικότερα για την ενότητα A2c, χρησιμοποιήθηκαν 3 εναλλακτικά υλικά. Συγκεκριμένα ένα υλικό το οποίο ανταποκρίνεται στην ενότητα in situ πριν την πραγματοποίηση της διάνοιξης, ένα υλικό (A2cR<1) το οποίο ανταποκρίνεται στην κατάσταση του υλικού κατά την οποία έχει πραγματοποιηθεί η εκσκαφή και υπάρχει απώλεια τριβής και πρόσφυσης στην διεπιφάνεια εκσκαφής-ασπίδας μηχανήματος, και τέλος ένα υλικό το οποίο ανταποκρίνεται στην κατάσταση του υλικού κατά την αποφόρτιση όπου παρατηρείται αύξηση του μέτρου ελαστικότητας ($E_{unloading}$).

Στις ενότητες A2b, A2cunloading θεωρήθηκε βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών με το βάθος.

Οι ιδιότητες των υλικών έχουν ως εξής:

Ιδιότητα	Υλικό					
	MMD	A2b	A2c	A2cR<1	A2c _{unloading}	Concrete
Μοντέλο	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Linear Elastic
Κατάσταση	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained	Non Porous
γ_{unsut}	18	19	19	19	19	24
γ_{sut}	20	21,5	21,5	21,5	21,5	24
$K_x=K_y=K_z=$ (m/day)	24,540	0,009	0,043	0,043	0,043	0
E_{ref} (MN/m ²)	7500	9000	3,35E+05	3,35E+05	1E+06	3,100E+07
ν	0,3	$\nu=0,3$	0,25	0,25	0,25	0,1
C_{ref} (KN/m ²)	0,5	1	65	10	8	
ϕ (deg)	35	27	27	27	27	
$E_{increment}$ (KN/m ² /m)		5			70	
y_{ref} (m)		-5,5			-16.5	
$C_{increment}$ (KN/m ²)		0,4			0	
y_{ref} (m)		-5,5			16.5	
Tension cut off		0			0	
R_{inter}				0,8	0,8	

Οι ιδιότητες των υλικών της επένδυσης έχουν ως εξής:

Ιδιότητα	Υλικό	
	TBM	Building
Μοντέλο	Elastic	Elastic
EA(kN/m)	8,200E+06	5,000E+06
EI(kN/m ² /m)	8,380E+04	8500
d _{eq} (m)	0,35	0,143
W(kN/m/m)	10,716	0,000
ν	0	0

Το βάρος της επένδυσης του μηχανήματος, είναι ίσο με το βάρος του μηχανήματος ανά μέτρο μήκος του, προκειμένου να προσομοιωθεί και η επιφόρτιση λόγω της παρουσίας του μηχανήματος.

8.1.4 Τριδιάστατη γεωμετρία μοντέλου

Μετά την δημιουργία του διδιάστατου δικτύου πεπερασμένου στοιχείων εισαχθήκανε σε κάθε μοντέλο τα στοιχεία για την δημιουργία του τριδιάστατου δικτύου. Κατά την διαδικασία αυτή, πέραν της δημιουργίας του πλέγματος καθορίζονται τα χαρακτηριστικά της τρισδιάστατης γεωμετρίας της προσομοίωσης.

Στην προσομοίωση θεωρείται ότι έκαστο μηχάνημα πραγματοποιεί διάνοιξη αυτοστιγμεί σε μήκος ίσο με το μήκος του (=10.2m) και πραγματοποιεί την ενεμάτωση του τελευταίου δακτυλίου (1,5m). Θεωρείται ένα μήκος 20m από το αρχικό επίπεδο του χώρου όπως και 30m από το επίπεδο στην οποία λήγει η διαδικασία προσομοίωσης για λόγους απαλοιφής φαινομένων επιρροής της ουραίας ασπίδας και του μετώπου αντίστοιχα. Τα μήκη των όγκων που ορίζουν το τριδιάστατο πλέγμα είναι τα εξής:

Επίπεδο	Μήκος (m)
Εμπρόσθιο	0.0
A	20.0
B	28.7
C	30.2
D	40.4
Οπίσθιο	70

Τα μήκη έχουν καθοριστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε το επίπεδο D, να αντιστοιχεί στη Χ.Θ. 2362,5 με αντίστοιχο αύξοντα αριθμό δακτυλίου 1453.

8.1.5 Αρχική κατάσταση

Την δημιουργία του τριδιάστατου πλέγματος, ακολουθεί η διαδικασία καθορισμού της αρχικής κατάστασης.

Όπως αναφέρεται ανωτέρω, οι αναλύσεις αφορούν προσομοιώσεις υπό καθεστώς υδροφορίας και πραγματοποιείται επομένως ο υπολογισμός των αρχικών υδροστατικών πιέσεων..

Ο καθορισμός του αρχικού εντατικού πεδίου εξαρτάται από το βάρος του εδαφικού υλικού και εν γένει από το ιστορικό του σχηματισμού. Η εντατική κατάσταση αυτή χαρακτηρίζεται από μία αρχική κατακόρυφη τάση $\sigma_{v,0}$ και την αρχική οριζόντια $\sigma_{h,0}$ για την η οποία υπολογίζεται βάσει συντελεστή πλευρικών ωθήσεων $k=0,7$

8.2 Διεξαγωγή των αριθμητικών αναλύσεων

Η πρώτη παράμετρος η οποία καθορίζεται σε μία φάση υπολογισμού είναι αυτή του τύπου υπολογισμού. Ο κώδικας PLAXIS TUNNEL 3D 2 παρέχει την δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε τρεις διάφορους τύπους οι οποίοι είναι οι: *3D Plastic calculation*, *3D Consolidation* (στερεοποίησης), *3D Phi-c reduction* (προσδιορισμός συντελεστή ασφάλειας)

Η διεξαγωγή των αναλύσεων έγινε με υπολογισμούς τύπου *3D Plastic*.

Ένας υπολογισμός τύπου *3D Plastic* χρησιμοποιείται για την διεξαγωγή αναλύσεων ελαστοπλαστικής παραμόρφωσης σύμφωνα με την θεωρία των μικροπαραμορφώσεων. Σε τέτοιου είδους υπολογισμούς, οι οποίοι θεωρούνται κατάλληλοι για την πλειονότητα των πρακτικών γεωτεχνικών εφαρμογών, το αρχικό μητρώο δυσκαμψίας βασίζεται στην πρωτόθετη απαραμόρφωτη γεωμετρία. Γενικά, κατά τον συγκεκριμένο τύπο υπολογισμού δεν λαμβάνεται υπόψη ο παράγοντας χρόνος. Αναλύσεις οι οποίες αφορούν αποστραγγισμένη γεωμάζα, όταν πραγματοποιούνται με υπολογισμούς *3D Plastic* μπορούν να δώσουν μία εκτίμηση των μακροπρόθεσμων καθιζήσεων και να οδηγήσουν σε ρεαλιστικά ακριβείς προβλέψεις παρά το γεγονός ότι η διαδικασία της στερεοποίησης δεν αντιμετωπίζεται αυστηρά καθώς και το ιστορικό των επιβαλλόμενων φορτίων δεν προσομοιώνεται πιστά (PLAXIS, 2004).

8.2.1 Διάρθρωση των φάσεων υπολογισμού

Ο υπολογισμός πραγματοποιείται σε επτά φάσεις οι οποίες εν συνεχεία περιγράφονται.

Φάση πρώτη (3D Plastic)

Κατά την πρώτη φάση καθίστανται κενά τα κλάσματα όγκου που ευρίσκονται στο εσωτερικό του Κ.Α.Α. και του υπογείου του κτιρίου, και ανατίθεται υλικό σκυροδέματος στο κλάσμα το οποίο αναπαριστά την επένδυση του αγωγού και της τοιχοποιίας του υπογείου καθώς και ενεργοποιείται το στοιχείο επένδυσης στο άνω μέρος του υπογείου. Τα κλάσματα του υπογείου ενεργοποιούνται σε μήκος 40,4m Εφαρμόζεται φορτίο ίσο με 90 KPa (10KPa ανά όροφο) επί της επένδυσης του υπογείου..

Ο χώρος στο εσωτερικό του Κ.Α.Α και ο αντίστοιχος στο υπόγειο θεωρείται ότι δεν αλληλεπιδρούν με τον ελεύθερο υδροφόρο και για τον λόγο αυτό μηδενίζονται οι πιέσεις πόρων στο εσωτερικό τους.

Φάση δεύτερη (3D Plastic)

Στην δεύτερη φάση τοποθετούνται και τα δύο μηχανήματα στις θέσεις των διατομών. Θεωρείται ότι έχουν πραγματοποιήσει διάνοιξη και υποστήριξη. Αυτό προσομοιώνεται με απενεργοποίηση των εδαφικών κλασμάτων στο εσωτερικό των διατομών μέχρι το μήκος 30,2m. Τοποθετείται η επένδυση TBM στο μήκος από 20 έως 30,2m, ενώ στο μήκος από 0,0m έως 20m ανατίθεται το προσομοιούμενο σκυρόδεμα στον αντίστοιχο δακτύλιο των διατομών. Εφαρμόζεται πίεση εξισορρόπησης ίση με 1,7bar στα μέτωπα των εκσκαφών. Οι χώροι στο εσωτερικό των εκσκαμμένων σηράγγων (0,0m έως 30,2m) θεωρούνται εν ξηρώ και οι υδατικές πιέσεις στο εσωτερικό τους μηδενίζονται. Στο μήκος από 20 έως 30,2m ανατίθεται το υλικό A2cR<1 στην περιβάλλουσα των TBM ενότητα. Στο μήκος 0,0 έως 20m τοποθετείται το υλικό A2unloading στην περιβάλλουσα ενότητα της υποστηριγμένης σήραγγας.

Ο υπολογισμός πραγματοποιείται αφού οι μετακινήσεις από τον προηγούμενο έχουν μηδενιστεί.

Φάση τρίτη (3D Plastic)

Στην τρίτη φάση, πραγματοποιείται διάνοιξη σε μήκος όσο το μήκος του μηχανήματος, τουτέστι μέχρι το μήκος 40,4 (επιφάνεια D) , στον δεξιό κλάδο (Γραμμή 1). Ομοίως με ανωτέρω από το μήκος 30,2 έως το μήκος 40,4 τοποθετείται η επένδυση TBM στον δεξιό κλάδο και ανατίθεται το υλικό A2cR<1 στην περιβάλλουσα του TBM ενότητα. Τοποθετείται σκυρόδεμα στον δακτύλιο από 20 έως 28,7. Το μήκος από 28,7 έως 30,2 παραμένει ανεπένδυτο. Εφαρμόζεται η μετρηθείσα πίεση κεφαλής στην Χ.Θ.2362,5, ίση με 180kPa η οποία αυξάνεται γραμμικά από την στέψη της σήραγγας κατά 14kPa ανά m, λαμβάνοντας υπόψη το βάρος του εδαφικού πολφού.

Ο χώρος στο εσωτερικό της διανοιγμένης σήραγγας και του TBM καθίσταται στεγανός. Στο ανεπένδυτο μήκος, εφαρμόζεται στον δακτύλιο της διατομής πίεση πόρων ίση με 200kPa στην στέψη της σήραγγας η οποία αυξάνεται γραμμικά κατά 20 kPa λόγω του ίδιου βάρους του ενέματος, προσομοιώνοντας την διαδικασία ενεμάτωσης.

Προδιαγράφεται (λόγος μείωσης εμβαδού διατομής) contraction ίσο με 2,5%

Φάση τέταρτη(3D Plastic)

Κατά την τέταρτη φάση ο ανεπένδυτος δακτύλιος πληρώνεται με σκυρόδεμα προκειμένου να διαπιστωθεί η επίδραση της πίεσης ενεμάτωσης στις υφιστάμενες κατακόρυφες μετακινήσεις.

Το εσωτερικό της σήραγγας καθορίζεται ως στεγανό.

Φάση πέμπτη-έκτη-έβδομη(3D Plastic)

Οι τελευταίες τρεις φάσεις αποτελούν επανάληψη των φάσεων υπολογισμού από δύο έως τέσσερα, αλλά εν προκειμένω για τον αριστερό κλάδο (Γραμμή 2).

Τα μεγέθη που διαφοροποιούνται είναι η πίεση μετώπου η οποία είναι η αντίστοιχη μετρηθείσα στην υπό μελέτη θέση και ίση με 160kP (και ομοίως αυξάνεται γραμμικά με το βάθος) καθώς το contraction το οποίο προσδιορίζεται ίσο με 3.5%

Κατά την έβδομη φάση το περιβάλλον υλικό των σηράγγων στο μήκος της διάνοιξης, αντικαθίσταται με A2cunloading, τα στοιχεία επένδυσης των μηχανημάτων απομακρύνονται , και τοποθετείται η επένδυση σκυροδέματος στο διανοιχθέν τμήμα.

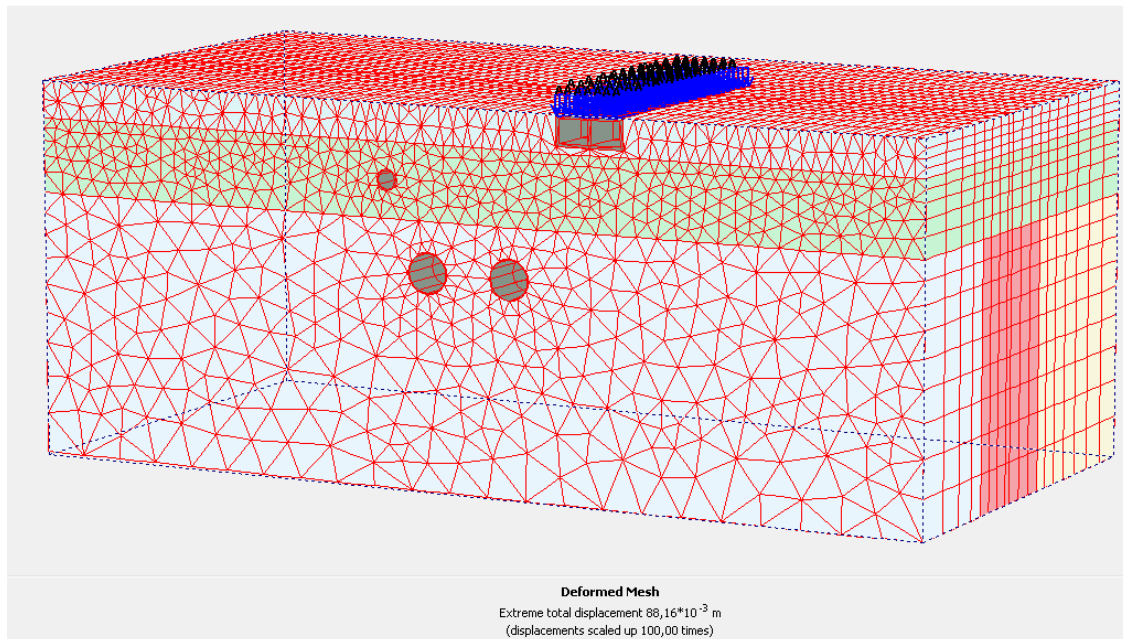
8.2.2 Εκτέλεση υπολογισμών

Τον καθορισμό των παραμέτρων της κάθε φάσης και της διάρθρωσης αυτών ακολουθεί η έναρξη της εκτέλεσης των υπολογισμών. Οι υπολογισμοί αυτοί, εφόσον ενέχουν έννοιες όπως η πλαστικότητα του εδάφους, περιγράφονται από μη γραμμικές συναρτήσεις οι οποίες για την επίλυσή τους απαιτούν την εφαρμογή υπολογιστικών βημάτων (load steps). Το μέγεθος των βημάτων αυτών καθορίζεται αυτόματα, όπου μία συγκεκριμένη κατάσταση ή ένα συγκεκριμένο επίπεδο φορτίσεων πρέπει να επιτευχθεί, όπως είναι οι υπολογισμοί *3D Plastic*. Η μέθοδος η οποία καθορίζει το πρώτο βήμα φόρτισης, βασίζεται στην πραγματοποίηση ενός δοκιμαστικού υπολογιστικού βήματος από τον κώδικα, και ακολούθως στον καθορισμό ενός κατάλληλου βήματος βάσει της δοκιμής. Εναλλακτικά το αρχικό βήμα φόρτισης λογίζεται ίσο με το τελευταίο βήμα φόρτισης οποιουδήποτε προηγούμενου υπολογισμού. Ο υπολογισμός διεξάγεται μέχρι εκπλήρωσης ενός εκ των ακολούθων κριτηρίων (PLAXIS, 2004):

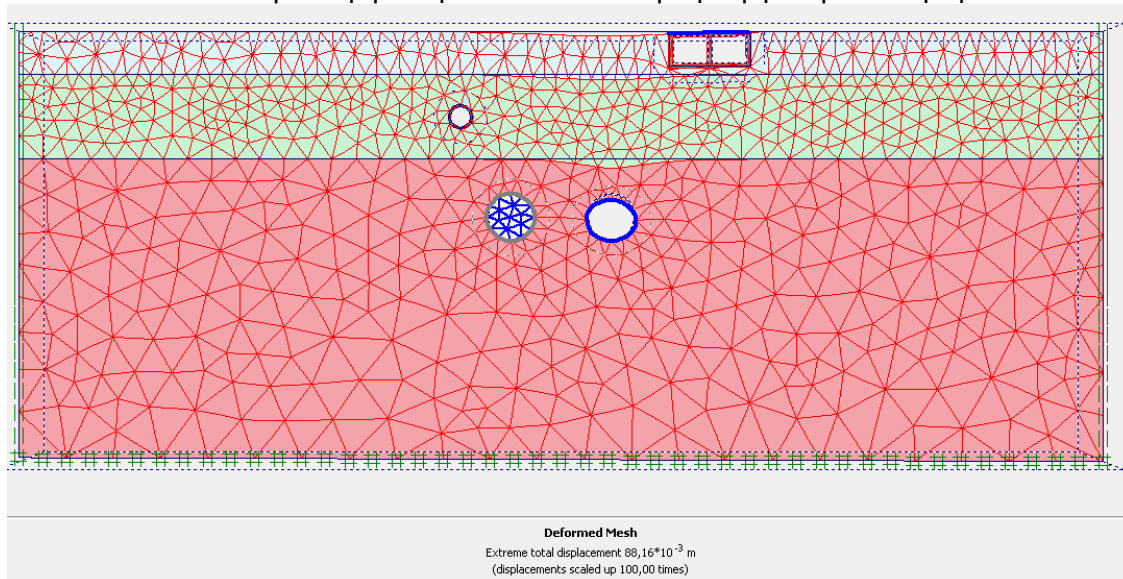
- ❖ Το σύνολο του προκαθορισμένου φορτίου έχει εφαρμοσθεί. Στην περίπτωση αυτή ο υπολογισμός έχει εκτελεστεί επιτυχώς.
- ❖ Φορτίο το οποίο προκαλεί κατάρρευση επιτυγχάνεται. Στην περίπτωση αυτή δεν επιβάλλεται το προκαθορισμένο φορτίο στο σύνολό του. Κατάρρευση θεωρείται όταν το επιβαλλόμενο φορτίο μειώνει σε μέγεθος σε δύο επιτυχή βήματα υπολογισμού.
- ❖ Το μέγιστο προκαθορισμένο πλήθος βημάτων φόρτισης πραγματοποιείται κατά τον υπολογισμό. Πιθανή συνεπαγωγή αυτού είναι η μη εφαρμογή του συνόλου των προκαθορισμένων φορτίσεων.

8.3 Αποτελέσματα υπολογισμών

Κύρια παράμετρος αξιολόγησης είναι οι υπολογιζόμενες κατακόρυφες μετακινήσεις καθώς και ο λόγος μείωσης εμβαδού διατομής(contraction).



Εικ48:Γενική άποψη του μοντέλου κατά την τρίτη φάση υπολογισμού



Εικ.49: Παραμορφωμένο δίκτυο στην επιφάνεια C κατά την τρίτη φάση υπολογισμού

8.3.1 Κατακόρυφες επιφανειακές μετακινήσεις

Τα αποτελέσματα των πραγματοποιημένων υπολογισμών τα οποία αφορούν στις κατακόρυφες μετακινήσεις παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Α/Α Φάσης Υπολογισμού	$s_{max}(mm)$					
	Επίπεδο A	Επίπεδο B	Επίπεδο C	Υποεπίπεδο C1	Υποεπίπεδο C2	Επίπεδο D
2	0.001502	0.001517	0.001501	0.001409	0.001242	0.001509
3	-1.5	-4.11	-4.55	-5.14	-4.98	-4.17
4	-1.48	-4.11	-4.56	-5.15	-4.98	-4.17
5	-4.46	-13.5	-15.01	-17.05	-16.49	-13.72
6	-4.46	-13.5	-15.02	-17.06	-16.5	-13.73
7	-4.51	-13.67	-15.2	-17.26	-16.7	-13.89

Η θετική κατακόρυφη μετακίνηση κατά την φάση 2 υποδηλώνει φαινόμενα ανώσεως λόγω της αποφόρτισης κατά την ακαριαία απομάκρυνση του εδαφικού όγκου.

Οι μεγαλύτερες σε μέγεθος καθιζήσεις εμφανίζονται στο υποεπίπεδο C1 το οποίο ευρίσκεται στο μεσοδιάστημα κεφαλής και ουράς του μηχανήματος.

Από τον παραπάνω πίνακα διαφαίνεται ότι κατά την φάση παύσης της πίεσης ενεμάτωσης -φάση 4 και φάση 6 για τις γραμμές 1 και 2 αντίστοιχα- υπάρχει μια μικρή αυξητική τάση των καθιζήσεων.

Επιπλέον παρατηρείται αύξηση των κατακόρυφων μετακινήσεων στο σύνολο του διανοιγμένου μήκους κατά την τελευταία φάση όπου απομακρύνεται η επένδυση με τα χαρακτηριστικά βάρους και ακαμψίας των μηχανημάτων EPB και αντικαθίσταται με την αυτή των προκατασκευασμένων δακτυλίων σκυροδέματος. Η αύξηση αυτών των κατακόρυφων μετακινήσεων μπορεί να αποδοθεί στην σημαντικά μικρότερη ακαμψία της νέας επένδυσης και στην επακόλουθη ελλειψοειδή παραμόρφωση της υπό το επί τόπου εντατικό πεδίο.

Τα ανωτέρω καθίστανται σαφή από την διαφορική μέγιστη καθίζηση η οποία παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα.

Α/Α Φάσης Υπολογισμού	$ds_{max}(mm)$					
	Επίπεδο A	Επίπεδο B	Επίπεδο C	Υποεπίπεδο C1	Υποεπίπεδο C2	Επίπεδο D
3	-1.5015	-4.11152	-4.5515	-5.14141	-4.98124	-4.17151
4	0.02	0	-0.01	-0.01	0	0
5	-2.98	-9.39	-10.46	-11.91	-11.52	-9.56
6	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01
7	-0.05	-0.17	-0.19	-0.21	-0.21	-0.17

8.3.2 Απώλεια εδαφικού όγκου

Τα αποτελέσματα των πραγματοποιημένων υπολογισμών τα οποία αφορούν στον λόγο μείωσης εμβαδού της διατομής -(contraction) απώλεια εδαφικού όγκου στο επίπεδο της διατομής- παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

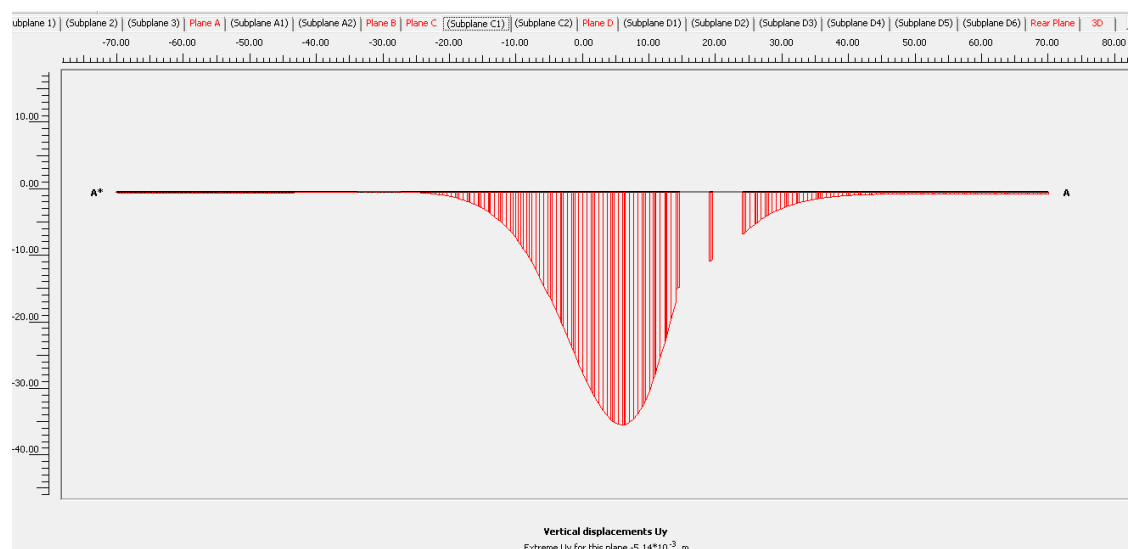
		ΓΡΑΜΜΗ 1											
		Contraction Increment(%)						Contraction(%)					
Α/Α Φάσης Υπολογισμού	Επίπεδο / Υποεπίπεδο						Επίπεδο / Υποεπίπεδο						
	A	B	C	C1	C2	D	A	B	C	C1	C2	D	
3	0.02	0.1	2.51	1.68	0.85	0.05	0.06	0.14	2.52	1.69	0.86	0.06	
4	0	0.01	0.01	0	0	0	0.06	0.14	2.54	1.69	0.86	0.05	
		ΓΡΑΜΜΗ 2											
		Contraction Increment(%)						Contraction(%)					
Α/Α Φάσης Υπολογισμού	Επίπεδο / Υποεπίπεδο						Επίπεδο / Υποεπίπεδο						
	A	B	C	C1	C2	D	A	B	C	C1	C2	D	
5	0.02	0.1	8.25	5.51	2.77	0.07	0.06	0.13	8.27	5.53	2.78	0.07	
6	0	0.01	0.01	0	0	0	0.06	0.14	8.28	5.53	2.78	0.07	

Από τον ανωτέρω πίνακα παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό απώλειας εδαφικού όγκου στην εκσκαφή παρατηρείται στο επίπεδο το οποίο αντιστοιχεί στην θέση του υποεπιπέδου C1, δηλαδή λίγο πιο μπροστά από την θέση του επιπέδου της ουράς στο οποίο έχει προδιαγραφεί κατά τις αντίστοιχες φάσεις υπολογισμού ο λόγος μείωσης εμβαδού της διατομής. Παρατηρείται ότι κατά τις φάσεις παύσης εφαρμογής της πίεσης ενεμάτωσης – φάση 4 και 6 για την γραμμή 1 και 2 αντίστοιχα - παρατηρείται μικρή αύξηση του λόγου μείωσης εμβαδού διατομής στο επίπεδο το οποίο αντιστοιχεί στην μεταξύ θέση της ουράς των μηχανημάτων EPB και του τελευταίου δακτυλίου, καθώς και στο αμέσως πίσω από αυτό δηλαδή το μεταξύ επίπεδο του τελευταίου και προτελευταίου δακτυλίου. Το παραπάνω υποδηλώνει και το κατά μήκος εύρος της ζώνης επιρροής της πίεσης ενεμάτωσης.

8.3.4 Μορφή του προφίλ επιφανειακών καθιζήσεων

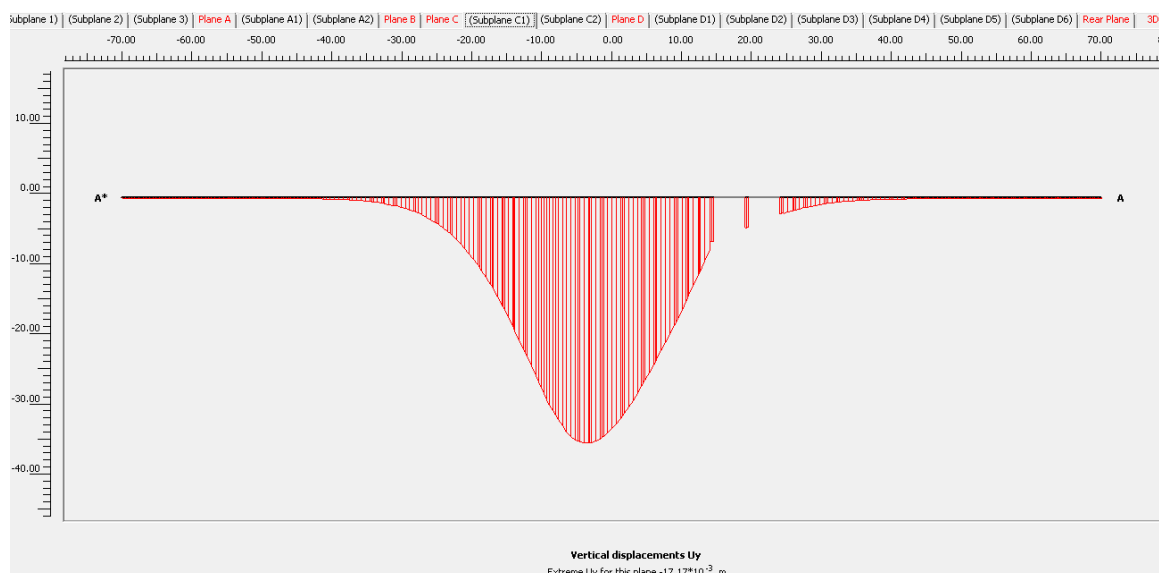
Κατά την διάνοιξη της σήραγγας της γραμμής 1 οι επιφανειακές καθιζήσεις εμφανίζουν το μέγιστό τους ακριβώς άνω του άξονα της σήραγγας 1.

Η επιρροή του κτηρίου στην μορφή του προφίλ καθιζήσεων είναι σαφής στην παρακάτω εικόνα:



Εικ.50: Προφίλ επιφανειακών κατακόρυφων μετακινήσεων κατά την τέταρτη φάση υπολογισμού, στο επίπεδο C1.

Μετά την εκσκαφή της σήραγγας για την γραμμή 2 το προφίλ των καθιζήσεων έχει ως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικ.51:Προφίλ επιφανειακών κατακόρυφων μετακινήσεων κατά την έβδομη φάση υπολογισμού, στο επίπεδο C1.

Διαφάνεται ξεκάθαρα ότι το μέγιστο της καμπύλης έχει μετακινηθεί στο μεσοδιάστημα των αξόνων των δύο σηράγγων και δε παρεκκλίνει έντονα προς τον άξονα της σήραγγας της γραμμής 2. Η ακαμψία του κτιρίου φαίνεται να συμβάλει στην αύξηση της τυπικής απόκλισης του δεξιού κλάδου της καμπύλης καθιζήσεων το οποίο επιβεβαιώνεται και από τον προσδιορισμό των Γκαουσιανών καμπύλων βέλτιστης προσαρμογής στα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων, η οποία περιγράφεται εν συνεχεία.

8.3.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων αριθμητικής ανάλυσης με τις καμπύλες βέλτιστης προσαρμογής πραγματικών δεδομένων

Για την σύγκριση των αποτελεσμάτων της αριθμητικής ανάλυσης με αυτά που προέκυψαν από τις καμπύλες βέλτιστης προσαρμογής των πραγματικών δεδομένων όπως αυτές προέκυψαν και περιγράφονται στο προηγούμενο κεφάλαιο – Κεφάλαιο 7 – κατασκευάστηκαν οι αντίστοιχες για τις φάσεις υπολογισμού 3 έως 7 της αριθμητικής ανάλυσης σύμφωνα με τις υπολογισμένες κατακόρυφες επιφανειακές μετακινήσεις σε δεδομένους κόμβους του τριδιάστατου πλέγματος – στην θέση του υποεπιπέδου C2.

Συγκεκριμένα ακολουθήθηκε επακριβώς η διαδικασία προσδιορισμού των καμπύλων βέλτιστης προσαρμογής που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 7 αλλά εν προκειμένω για την περιγραφή των κατακόρυφων επιφανειακών μετακινήσεων οι οποίες υπολογίστηκαν κατά την αριθμητική ανάλυση.

Φάσεις υπολογισμού 3 και 4 – Διάνοιξη Γραμμής 1

Παρατίθενται τα υπολογιζόμενα μεγέθη που προκύπτουν από τον προσδιορισμό των γκαουσιανών καμπύλων βέλτιστης προσαρμογής στις υπολογισθείσες κατακόρυφες επιφανειακές μετακινήσεις δεδομένων κόμβων του τριδιάστατου πλέγματος στο υποεπίπεδο C2 κατά τις φάσεις υπολογισμού 3 και 4.

Φάση Υπολογισμού		Αριθμητική Ανάλυση				
		i	smax	Vs	VI	k
3	Αριστερός κλάδος	9.901475	5.14	0.127577	0.422571	0.36651
	Δεξιός κλάδος	11.47079	5.14	0.147797	0.489546	0.424599
	Συνολικά				0.456059	
4	Αριστερός κλάδος	10.10153	5.15	0.130402	0.431929	0.373915
	Δεξιός κλάδος	10.78328	5.15	0.139203	0.46108	0.39915
	Συνολικά				0.446504	

Προς σύγκριση παρατίθενται τα αντίστοιχα τα οποία προέκυψαν από την ανάλυση των πραγματικών δεδομένων.

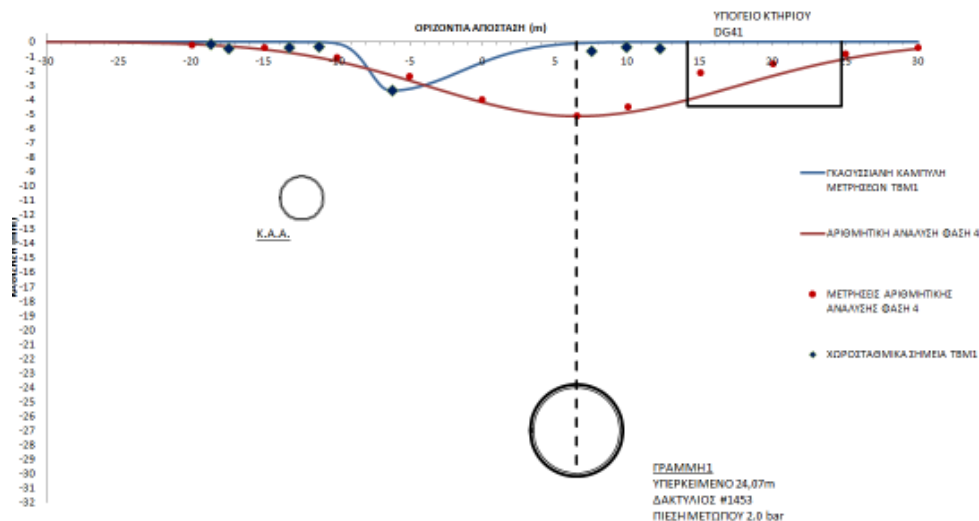
L.P		TBM1				
		i	smax	Vs	VI	k
TETS2361_99	Αριστερός κλάδος	1.403863	3.400084	0.011965	0.039631	0.051965
	Δεξιός κλάδος	4.811252	3.400084	0.041005	0.13582	0.178092
	Συνολικά				0.087725	

i			k
Clough & Schmidt	Oteo & Sagaseta	Mair & Taylor	Selby
10.10796626	12.95994	13.5828	0.469575493

Είναι προφανές από τους παραπάνω πίνακες, ότι ενώ η μέγιστη καθίζηση η οποία υπολογίζεται από την αριθμητική ανάλυση εγγίζει την πραγματική μετρηθείσα τιμή, η τυπική απόκλιση της καμπύλης η οποία προκύπτει είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από αυτήν η οποία προέκυψε από την ανάλυση των πραγματικών δεδομένων. Ως αποτέλεσμα αυτού η απώλεια και η σχετική απώλεια εδαφικού όγκου διαφοροποιείται κατά τάξη μεγέθους για τις δύο περιπτώσεις.

Παρατηρείται επίσης ότι η καμπύλη η οποία περιγράφει τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων παρουσιάζει παρεμφερείς τυπικές αποκλίσεις τόσο για την εκ αριστερών όσο και για την εκ δεξιών ανάλυση, δηλαδή παρουσιάζει συμμετρία εν αντιθέσει με την καμπύλη η οποία αντιπροσωπεύει τις πραγματικές μετρήσεις.

Σημειώνεται τέλος ότι οι τιμές της τυπικής απόκλισης και του συντελεστή k, που προκύπτουν από την αριθμητική ανάλυση εμφανίζονται να συμφωνούν με αυτές που προκύπτουν από την βιβλιογραφία, εν αντιθέσει με αυτές που προέκυψαν από την ανάλυση των πραγματικών δεδομένων.



Είκ.52: Γκαουσιανές καμπύλες βέλτιστης προσαρμογής στις μετρηθείσες καθιζήσεις και στις υπολογισθείσες κατά την τέταρτη φάση αντίστοιχα.

Σημειώνεται επίσης ότι το μέγιστο των καθιζήσεων που υπολογίσθηκαν με εφαρμογή της αριθμητικής μεθόδου εμφανίζεται στην θέση $x=6.5$, δηλαδή ακριβώς άνω του άξονα της Γραμμής 1, όπως προβλέπεται και από την βιβλιογραφία (Peck 1969).

Φάσεις υπολογισμού 5, 6 και 7 – Διάνοιξη Γραμμής 2, ολοκλήρωση δίδυμης σήραγγας.

Παρατίθενται τα υπολογιζόμενα μεγέθη που προκύπτουν από τον προσδιορισμό των γκαουσιανών καμπύλων βέλτιστης προσαρμογής στις υπολογισθείσες κατακόρυφες επιφανειακές μετακινήσεις δεδομένων κόμβων του τριδιάστατου πλέγματος στο υποεπίπεδο C2 κατά τις φάσεις υπολογισμού 5, 6 και 7

Φάση Υπολογισμού		Αριθμητική Ανάλυση				
		i	smax	Vs	VI	k
5	Αριστερός κλάδος	10.78328	16.96	0.458443	0.759245	0.39915
	Δεξιός κλάδος	12.30915	16.96	0.523314	0.86668	0.455631
	Συνολικά				0.812962	
6	Αριστερός κλάδος	11.47079	16.97	0.487915	0.808056	0.424599
	Δεξιός κλάδος	12.30915	16.97	0.523576	0.867114	0.455631
	Συνολικά				0.837585	
7	Αριστερός κλάδος	10.78328	17.17	0.464116	1.537282	0.39915
	Δεξιός κλάδος	12.70001	17.17	0.546613	1.810535	0.470099
	Συνολικά				1.673908	

Προς σύγκριση παρατίθενται τα αντίστοιχα τα οποία προέκυψαν από την ανάλυση των πραγματικών δεδομένων.

L.P		TBM1&2				
		i	smax	Vs	VI	k
TETS2361_99	Αριστερός κλάδος	2.144718	16.40031	0.088168	0.146019	0.079388
	Δεξιός κλάδος	6.772855	16.40031	0.278428	0.461116	0.250702
	Συνολικά				0.303568	

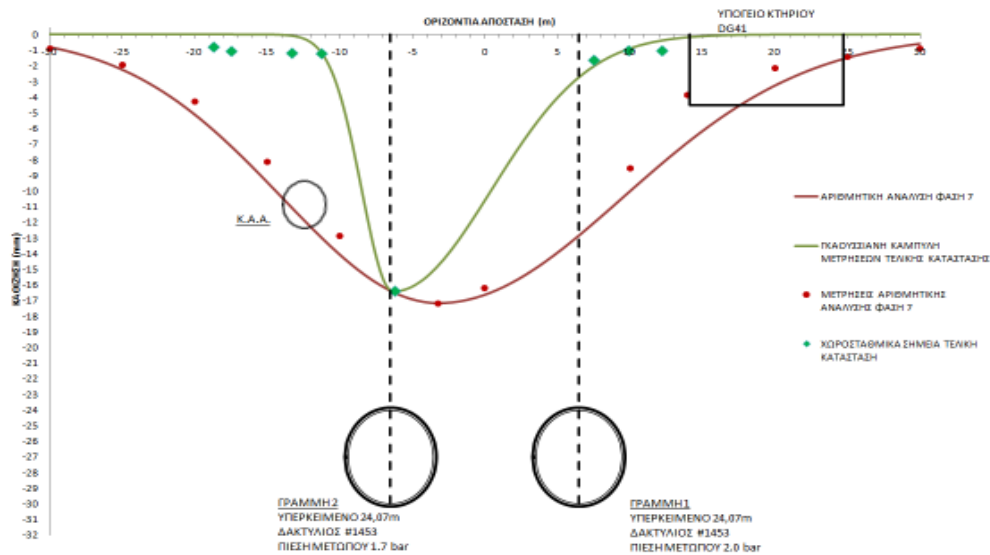
L.P		Υπέρθωση				
		i	smax	Vs	VI	k
TETS2361_99	Αριστερός κλάδος	2.715627	15.11065	0.102859	0.170349	0.100521
	Δεξιός κλάδος	2.678358	15.11065	0.101448	0.168011	0.099141
	Συνολικά				0.16918	

i			k
Clough & Schmidt	Oteo & Sagaseta	Mair & Taylor	Selby
10.10796626	12.95994	13.5828	0.469575493

Ομοίως με τα αποτελέσματα των προηγούμενων φάσεων παρατηρείται σύγκλιση των τιμών μέγιστης καθίζησης και σημαντική ασυμφωνία των τιμών τυπικής απόκλισης, με την επακόλουθη διαφοροποίηση των τιμών απώλειας και σχετικής απώλειας εδαφικού όγκου για τις δύο περιπτώσεις ανάλυσης πραγματικών μετρήσεων και αποτελεσμάτων της αριθμητικής ανάλυσης.

Κατ' ομοίωση των αποτελεσμάτων κατά τις φάσεις υπολογισμού 3 και 4, κατά τις φάσεις 5, 6 και 7 παρατηρείται σχετική συμμετρία των καμπυλών βέλτιστης προσαρμογής στα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων – σύγκλιση τιμών τυπικής απόκλισης της εξ αριστερών και εκ δεξιών ανάλυσης – σε αντιδιαστολή με το αποτέλεσμα της ανάλυσης τελικής κατάστασης των πραγματικών μετρήσεων.

Παρατηρείται πολύ καλή συμφωνία των αποτελεσμάτων της τυπικής απόκλισης και του συντελεστή k, που υπολογίζονται από την μελέτη των αποτελεσμάτων της αριθμητικής ανάλυσης, με τις αντίστοιχες τιμές οι οποίες προκύπτουν από τις βιβλιογραφικά προτεινόμενες σχέσης. Υποσημειώνεται η πολύ καλή συμφωνία της τιμής του συντελεστή k με αυτήν που προκύπτει από την σχέση του Selby (1988).



Είκ.53: Γκαουσιανές καμπύλες βέλτιστης προσαρμογής στις μετρηθείσες καθιζήσεις και στις υπολογισθείσες κατά την έβδομη φάση αντίστοιχα.

Σημειώνεται ότι το μέγιστο των καθιζήσεων εμφανίζεται στην θέση $x=-3.2$, είναι δηλαδή μετατεθειμένη (αναφορικά με την θέση του μεσοδιαστήματος των αξόνων) προς τον άξονα της γραμμής 2 η διάνοιξη της οποίας προκάλεσε και τις μεγαλύτερες καθιζήσεις αποτέλεσμα το οποίο συμφωνεί με τους New και Bowers (1993) αλλά όχι με την θέση του μεγίστου όπως αυτό μετρήθηκε κατά την τελική κατάσταση.

9 Συμπεράσματα

Οι καθιζήσεις οι οποίες μετρήθηκαν στην περιοχή ήταν σε κάθε περίπτωση χαμηλότερες από τα όρια επιφυλακής που προβλέπονται στις τεχνικές εκθέσεις για τα τμήματα Αγία Σοφία – Σιντριβάνι και Σιντριβάνι Πανεπιστήμιο. Η υψηλότερη καθίζηση παρατηρήθηκε στην περιοχή από Χ.Θ.2340 έως Χ.Θ. 2392 με τιμή 16mm μετά την διέλευση του TBM2, εξακολουθεί να είναι κατά 2mm χαμηλότερη από την τιμή επιφυλακής. Γεγονός το οποίο επιβεβαιώνει την καλή πρακτική κατά την κατασκευή αλλά και την συνεισφορά της κεκτημένης εμπειρίας από την κατασκευή του Μετρό της Αθήνας.

Όπως προκύπτει από την χάραξη των ισοϋψών των καθιζήσεων, κατά την διάνοιξη δίδυμης σήραγγας δεν είναι απαραίτητο ότι το μέγιστο της λεκάνης των καθιζήσεων θα εμφανιστεί στο μεσοδιάστημα των αξόνων των σηράγγων. Στις περισσότερες περιπτώσεις το μέγιστο της λεκάνης των καθιζήσεων εμφανίζεται να παρεκκλίνει σημαντικά προς τον άξονα ενός εκ των δύο γραμμών.

Για τα παραπάνω πρέπει να σημειωθεί, και να διατυπωθεί ως συνοδό συμπέρασμα, ότι η σημαντικότητα του μετρητικού σφάλματος σε τόσο μικρές τιμές καθιζήσεων είναι μεγάλη και επομένως οι μορφές των λεκανών καθιζήσεων που παράχθηκαν αποτελούν μια προσέγγιση της πραγματικής κατάστασης.

Οι διαθέσιμες παράμετροι λειτουργίας των μηχανημάτων και ειδικότερα η πίεση εξισορρόπησης της κοπτικής κεφαλής, το βάρος εσκαμμένου υλικού και η ποσότητα τοποθετούμενου ενέματος αποτέλεσαν σαφέστατη ένδειξη της αιτίας των παρατηρημένων καθιζήσεων. Σε όλες τις υπό μελέτη περιπτώσεις, παρατηρήθηκε παραβίαση ή εγγύτητα των προκαθορισμένων ορίων επιφυλακής ή συναγερμού μίας τουλάχιστον εκ των παραπάνω αναφερόμενων παραμέτρων. Αυτού έπεται ότι τα όρια αυτά ήταν καλώς ορισμένα από τον Μελετητή. Σαφέστατα η παρακολούθησή τους και η προσαρμογή της λειτουργίας αναλόγως απομειώνει την πιθανότητα εκδήλωσης καθίζησης ή το μέγεθος αυτής.

Στις περιοχές εκείνες που οι κατακόρυφες μετακινήσεις οφείλονται και στα δύο μηχανήματα, με εξαίρεση την περιοχή από Χ.Θ. 2340 έως Χ.Θ. 2392, παρατηρείται ότι η από το TBM2 διάνοιξη έχει μικρότερη συνεισφορά στην τελική καθίζηση από αυτήν του TBM1. Αυτό οφείλεται τόσο στο γεγονός ότι η λειτουργία του μηχανήματος βελτιστοποιείται προσαρμοζόμενη σύμφωνα με την εμπειρία που προέκυψε κατά την διάνοιξη της πρώτης σήραγγας.

Με μόνη εξαίρεση την περιοχή από Χ.Θ.2340 έως Χ.Θ.2392, οι καθιζήσεις εμφανίζονται μετά την πάροδο της κοπτικής κεφαλής του μηχανήματος και αφού αυτό έχει απομακρυνθεί τουλάχιστο 10m. Οι καθιζήσεις συνεπώς πραγματοποιούνται πάνω και πίσω από το ουραίο τμήμα του μηχανήματος.

Η μέθοδος των Einstein και Suwansawat για την ανάστροφη ανάλυση καθιζήσεων διάνοιξης δίδυμης σήραγγας αποτελεί πολύτιμο εργαλείο για την διερεύνηση του προβλήματος. Τούτο διότι επιτρέπει τον προσδιορισμό των μεγεθών που προκύπτουν από τις καμπύλες εδαφικών καθιζήσεων όπως η απώλεια εδαφικού

όγκου και η παράμετρος πλάτους καμπύλης k των O'Reilly και New ανεξαρτήτως για την διάνοιξη έकाστης εκ των σηράγγων. Έπεται ότι μπορεί να γίνει σαφέστατα καλύτερη συσχέτιση των παραμέτρων της μεθόδου διάνοιξης, όπως των παραμέτρων λειτουργίας του μηχανήματος στην περίπτωση μηχανοποιημένης όρυξης (πίεση κοπτικής κεφαλής, όγκος εσκαμμένου υλικού, ρυθμός προχώρησης κ.ο.κ.) αλλά και της αυστηρά επιτόπου (στην διατομή του μηχανήματος) γεωλογίας, με τις επιφανειακές μετακινήσεις. Σε περίπτωση που οι παράμετροι της διάνοιξης δεν διαφοροποιούνται σημαντικά μπορούν να εξαχθούν έμμεσα συμπεράσματα για τον ρόλο της αλληλεπίδρασης των σηράγγων στην διαμόρφωση του εδαφικού προφίλ.

Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε έδειξε ασυμμετρία των καμπυλών εκατέρωθεν του σημείου μέγιστης καθίζησης, τόσο σημαντική ώστε να είναι αδύνατη η περιγραφή της από μία γκαουσιανή καμπύλη. Η περιγραφή της λεκάνης από διαφορετική καμπύλη για κάθε πλευρά της – με κέντρο συμμετρίας το μέγιστο – κατέδειξε σημαντική διαφοροποίηση των υπολογιζόμενων μεγεθών (απώλεια εδαφικού όγκου, σχετική απώλεια εδαφικού όγκου, απόκλιση καμπύλης, k) για κάθε πλευρά. Σημειώνεται ότι οι περιπτώσεις κατά τις οποίες η εξ αριστερών και εκ δεξιών ανάλυση κατέληξε σε παραπλήσια αποτελέσματα ήταν περιπτώσεις όπου οι επιτόπου συνθήκες προσέγγιζαν κατάσταση "ελευθέρου πεδίου".

Η προσαρμογή των καμπυλών βελτιώθηκε με την διόρθωση της θέσης των χωροσταθμικών αναφορικά με το σημείο μέγιστης καθίζησης χωρίς παρόλα αυτά να υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση στα υπολογιζόμενα μεγέθη.

Η υπέρθεση των καμπυλών που παράχθηκαν για το TBM1 και το TBM2 έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα μόνον στις περιπτώσεις που η προσαρμογή των υπερτιθέμενων καμπυλών ήταν υψηλή. Η τυπική απόκλιση που χαρακτηρίζει τις εξ υπερθέσεως παραγόμενες καμπύλες ήταν στην πλειονότητα των περιπτώσεων μεγαλύτερη από αυτήν που υπολογίσθηκε από την απευθείας ανάλυση της τελικής κατάστασης.

Στο σύνολο των περιπτώσεων παρατηρήθηκε ασυμφωνία των υπολογισμένων τιμών τυπικής απόκλισης με αυτές που προκύπτουν από τις σχέσεις που βιβλιογραφικά προτείνονται. Η διασπορά των τιμών είναι τέτοια που δεν είναι δυνατό να θεωρηθεί ότι προσεγγίζονται από μοναδική εκ των γνωστών σχέσεων αν και παρά ταύτα μπορεί να διακριθεί ότι υπάρχει μια συγκέντρωση των τιμών πλησίον της καμπύλης που περιγράφει την γραμμική σχέση των Mair & Taylor και εκ τούτου μπορεί να ειπωθεί ότι η συγκεκριμένη σχέση είναι και αυτή που περιγράφει καλύτερα – συγκριτικά πάντοτε- τις υπολογισμένες τιμές.

Η ασυμφωνία αυτή μπορεί να αποδοθεί στην γεωλογική ανομοιογένεια των περιοχών και την έντονα μεταβαλλόμενη διαστρωμάτωση, σύνθεση δηλαδή συνθηκών οι οποίες δεν συνάδουν με αυτές των περιοχών που εξετάστηκαν για την εξαγωγή των βιβλιογραφικά προτεινόμενων σχέσεων.

Η αριθμητική ανάλυση υπέδειξε τον ρυθμιστικό ρόλο που έχει η πίεση ενεμάτωσης για την απώλεια εδαφικού όγκου – στο επίπεδο της σήραγγας- αλλά και για την εξέλιξη των καθιζήσεων. Η μεταβολή (απομείωση) της ακαμψίας της επένδυσης επαύξησε τις παρατηρούμενες επιφανειακές καθιζήσεις, υποδεικνύοντας την

σημαντικότητα του φαινομένου ελλειψοειδούς παραμόρφωσης της εσκαμμένης διατομής στην εξέλιξη τους.

Η μέγιστη καθίζηση η οποία υπολογίσθηκε από την ανάλυση με αριθμητικές μεθόδους της περιοχής από Χ.Θ.2340 έως Χ.Θ.2392 εγγίζει την πραγματική μετρηθείσα τιμή ενώ η τυπική απόκλιση της καμπύλης η οποία προκύπτει είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από αυτήν η οποία προέκυψε από την ανάλυση των πραγματικών δεδομένων. Ως αποτέλεσμα αυτού η απώλεια και η σχετική απώλεια εδαφικού όγκου διαφοροποιείται κατά τάξη μεγέθους για τις δύο περιπτώσεις. Η θέση του μεγίστου της λεκάνης καθιζήσεων που προέκυψε από την αριθμητική ανάλυση της περιοχής και αφορά στην κατασκευή της γραμμής 1, συμφωνεί πλήρως με την βιβλιογραφία (Peck, 1969) αφού παρουσιάζεται ακριβώς άνω του άξονα της σήραγγας αλλά δεν προσεγγίζει την πραγματική κατάσταση. Κατά την προσομοίωση της διάνοιξης της γραμμής 2 η θέση του μεγίστου εμφανίζεται στο μεσοδιάστημα των αξόνων των σηράγγων, μετατεθειμένο προς τον άξονα της γραμμής 2, κατάσταση η οποία προσεγγίζει την πραγματικότητα.

Παρατηρήθηκε επίσης ότι η καμπύλη η οποία περιγράφει τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων παρουσιάζει παρεμφερείς τυπικές αποκλίσεις τόσο για την εξ αριστερών όσο και για την εκ δεξιών ανάλυση, δηλαδή παρουσιάζει συμμετρία εν αντιθέσει με την καμπύλη η οποία αντιπροσωπεύει τις πραγματικές μετρήσεις.

Σημειώνεται τέλος ότι οι τιμές της τυπικής απόκλισης και του συντελεστή k , που προκύπτουν από την αριθμητική ανάλυση εμφανίζονται να συμφωνούν με αυτές που προκύπτουν από την βιβλιογραφία, εν αντιθέσει με αυτές που προέκυψαν από την ανάλυση των πραγματικών δεδομένων.

Βιβλιογραφία

Attewell, P., & Woodman, J. (1982). Predicting the dynamics of ground settlement and its derivatives caused by tunnelling in soil. *Ground Engineering* , Vol.15 (No 8), pp. 13-22 and 36.

Attewell, P., Yeates, J., & Shelby, A. (1986). *Soil Movements Induced By Tunnelling and Their Effects On Pipelines and Structures*. London: Blackies and Sons Ltd.

Brand, & Brenner (Eds.). (1981). Design and Performance of excavations and tunnels in Soft Clay. *Soft Clay Engineering* , pp. 569-631.

Broms, B., & Bennemark, H. (1967). Stability of Clay at vertical openings. *Journal of Soil Mechanichs and Foundation Engineering Division, SMI 93* , pp. 71-74.

Chambon, P., & Corte, J. (1990). Stabilité du front de taille d' un tunnel dans un milieu frottant, approche cinématique en calcul a la rupture. *Revue Francaise de Geotechnique* (no.51), pp. 51-59.

Chambon, P., & Corte, J. (1989). Stabilité du front de taille d'un tunnel faiblement enterré: modélisation en centrifugeuse. *Colloque international Tunnels et Microtunnels en terrain meuble: du chantier a la theorie*, (pp. 307-315). Paris.

Chiriotti, E., Marchionni, V., & Grasso, P. (2000). *Porto Light Metro System, Lines C, S and J. Interpretation of the Results of the Building Condition Survey and Preliminary Assesment of Risk. Methodology of Assessing the Tunnelling Induced Risks on Buildings along the Tunnel Alignment* . Normetro-Transmetro, Internal Technical Report.

Clough, G., & Leca, E. (1993). EPB shield tunneling in mixed face conditions. *Journal of Geotechnical Engineering* (119 (10)), pp. 1640-1656.

Clough, G., & Schmidt, B. (1981). Design and Performance of Excavations and tunnels in Soft Clay. (Brand, & Brenner, Eds.) *Soft Clay Engineering* , pp. 569-631.

Cording, E., & Hansmire, W. (1975). Displacements around doft ground tunnels. *5th Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, (pp. 571-632). Buenos Aires.

Dormieux, L., de Buhan, P., & Leca, E. (199). Estimation par une methode variationnelle en elasticite des deformations lors du creusement d'un tunnel: application au calcul du tassement de surface. *Revue Francaise de Geotechnique* (59), pp. 15-32.

Guglielmetti, V., Grasso, P., Mahtab, A., & Xu, S. (Eds.). (2007). *MECHANIZED TUNNELLING IN URBAN AREAS design methodology and construction control*. Leiden, Netherlands: Taylor & Francis/ Balkema.

- Kimura, T., & Mair, R. (1981). Centrifugal testing of model tunnel in soft Clay. *10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.1*, pp. 319-322. Stockholm.
- Leblais, Y., & Bochon, A. (1991). Villejust Tunnel: slurry shield effects on soils and lining behaviour and comments on monitoring requirement. *Tunneling '91* (pp. 65-77). London: IMM.
- Leca, E., & Dormieux, L. (1992). Contribution a l'etude de la stabilite du front de taille d'un tunnel en milieu coherent. *Revue Francaise de Geotechnique* (no.61), pp. 5-16.
- Leca, E., & Dormieux, L. (1990). Upper and lower bound solutions for the face stability of shallow circular tunnels in frictional material. *Geotechnique* (no.40 (4)), pp. 581-606.
- Leca, E., & Panet, M. (1988). Application du calcul a la rupture a la stabilite du front de taille d'un tunnel. *Revue Francaise de Geotechnique* (no.43), pp. 5-19.
- Lee, K., & Rowe, R. (1989). Deformations caused by surface loading and tunneling: the role of elastic anisotropy. *Geotechnique*, 1 (39), pp. 125-140.
- Mair, R. (1998). Geotechnical aspects of design criteria for bored tunneling in soft ground. In A. Negro, & A. Ferreira (Ed.), *Conf. on Tunnels and Metropolises* (pp. 183-199). S.Paolo: Balkema Publ. Rotterdam.
- Mair, R., & Taylor, R. (1993). Subsurface settlement profiles above tunnels in clays. *Geotechnique* (43), pp. 315-320.
- Mair, R., Gunn, M., & O'Reilly, M. (1981). Ground movements around shallow tunnels in soft clay. *10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.1*, pp. 323-328. Stockholm.
- Mair, R., Taylor, R., & Burland, J. (1996). Prediction of ground movements and assessment of risk of building damage due to bored tunneling. In Mair, & Taylor (Ed.), *Int. Symp. on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground* (pp. 713-717). London: Balkema Publ. Rotterdam.
- New, B., & Bowers, K. (1993). Ground movement model validation at the Heathrow express trial tunnel. *Tunnelling '94* (pp. 301-329). London: IMM.
- O'Reilly, M. Evaluating and predicting ground settlements caused by tunneling. *London Clay Tunneling '88*, (pp. 231-241). London, IMM.
- O'Reilly, M., & New, B. (1982). Settlements above tunnels in the united Kingdom - their magnitude and prediction. *Tunnelling '82*, (pp. 173-181). London, IMM.
- Oteo, C., & Sagaseta, C. (1982). Prediction of settlements due to underground openings. In R. Dungar, G. Pande, & J. Studer (Ed.), *Numerical Models in Geomechanics*. Zurich.

Oteo, C., & Sagaseta, C. (1996). Some Spanish experiences on measurements and evaluation of ground displacements around urban tunnels. *Int. Symp. on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground* (pp. 641-646). London: Balkema Publ.

Panet, M. (1995). *Le calcul des tunnel par la methode Convergence-Confinement*. Paris: Presses de l'ENPC.

Pantet, M. (1991). *Creusement de galeries a faible profondeur a l'aide d'un tunnelier a precission de boue; mesures in situ et etude theonque du champs de déplacements. These de doctorat*. Lyon: INSA.

Peck, R. (1969). Deep excavations and tunneling in soft ground. *7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. , State of the art Volume*, pp. 225-290. Mexico City.

Rowe, R., & Lee, K. (1992a). An evaluation of simplyfied techniques for estimating three-dimensional undrained ground movements due to tunneling in soft soils. *Canadian Geotechnical Journal* (29), pp. 39-52.

Rowe, R., & Lee, K. (1992b). Subsidence, owing to tunnelling. II. Evaluation of prdictive technique. *Canadian Geotechnical Journal* (29), pp. 941-954.

Sagaseta, C. (1987). Analysis of undrained ground deformation due to ground loss. *Geotechnique* , (3) (37), pp. 301-320.

Sagaseta, C. (1999). Soil deformation due to the excavation of two parallel caverns. In B. et (Ed.), *Geotechnical Engineering for Transportation Infrastructure* (pp. 2125-2132).

Schmidt, B. (1969). *Settlements and ground movements associated with tunneling in soils* . University of Illinois. Urbana.

Schofield, A. (1980). Cambridge geotechnical centrifuge operations. *Geotechnique* (30 (3)), pp. 227-268.

Selby, A. (1988). Surface Movements Caused by tunnelling in Two-layer Soil. *Eng. Geol, of Underground Movements*, (pp. 71-77). Nottingham.

Strack, O. (2002). *Analytic Solutions of Elastic Tunneling Problems*. Delft University of Technology. Delft University Press.

Suwansawat, S., & Einstein, H. (2007, APRIL). Describing Settlement Troughs over Twin Tunnels Using a Superposition Technique. *JOURNAL OF GEOTECHNICAL AND GEOENVIROMENTAL ENGINEERING* , pp. 446-448.

Verrujit, A., & Booker, J. (1996). Surface settlements due to deformation of a tunnel in an elastic half plane. *Geotechnique* , 4 (46), pp. 753-75.

Wang, J., Kong, S., & Leung, C. (2003). TWIN TUNNELS-INDUCED GROUND SETTLEMENT IN SOFT SOILS. In Y. Yuzhen, & A. Hirokazu (Ed.), *PROCEEDINGS*

OF THE SINO-JAPANESE SYMPOSIUM ON GEOTECHNICAL ENGINEERING (pp. 241-244). Beijing: Tsinghua University Press.

Yi, X., Rowe, R., & Lee, K. (1993). Observed and calculated pore pressures and deformations induced by an earth balance shield. *Canadian Geotechnical Journal* (30), pp. 476-490.

Αγγνωστόπουλος, Α., & Μιχάλης, Η. (2004α). *ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΩΝ ΚΑΙ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΛΟΓΩ ΕΚΣΚΑΦΩΝ*. Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π.

1T05CW396C923B ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓΙΑΣ ΣΟΦΙΑΣ - ΣΙΝΤΡΙΒΑΝΙ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΤΒΜ - ΦΑΚΕΛΟΣ ΜΕΣΟΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ - ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ AGIA SOFIA STATION - SINTRIVANI STATION TBM TUNNELS - INTERSTATION FILE - TECHNICAL REPORT. ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ.

1T06CW396C924B ΣΤΑΘΜΟΣ ΣΙΝΤΡΙΒΑΝΙ - ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΤΒΜ - ΦΑΚΕΛΟΣ ΜΕΣΟΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ - ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ SINTRIVANI STATION - ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ STATION TBM TUNNELS - INTERSTATION FILE - TECHNICAL REPORT. ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ.

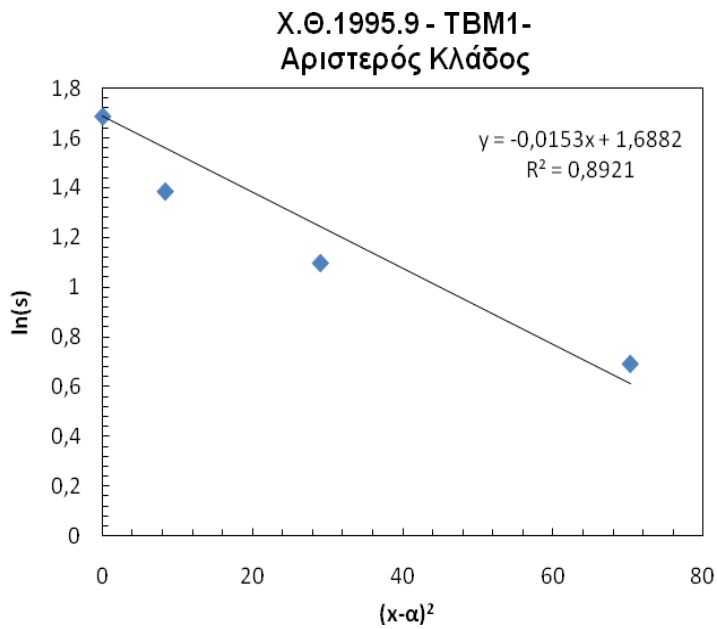
1T00CW396M901D ΣΧΕΔΙΟ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ IMPLEMENTATION PLAN FOR TUNNEL CONSTRUCTION. ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΓΚΑΟΥΣΙΑΝΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ

Περιοχή από Χ.Θ.1907 έως Χ.Θ.2000

Πίνακας 2: Δεδομένα ανάλυσης TBM1 στην θέση Χ.Θ.1995.9

Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
	-2.00	-8.4	0.693147181	70.34512384
	-3.00	-5.4	1.098612289	29.02192384
	-4.00	-2.9	1.386294361	8.33592384
TETS1994_99	-5.41	0.0	1.688249093	0
	-4.00	0.6	1.386294361	0.37552384
	-3.00	1.1	1.098612289	1.23832384
	-2.00	1.9	0.693147181	3.47002384



Υπολογιζόμενα
μεγέθη

$i(m)$ 5.7166195

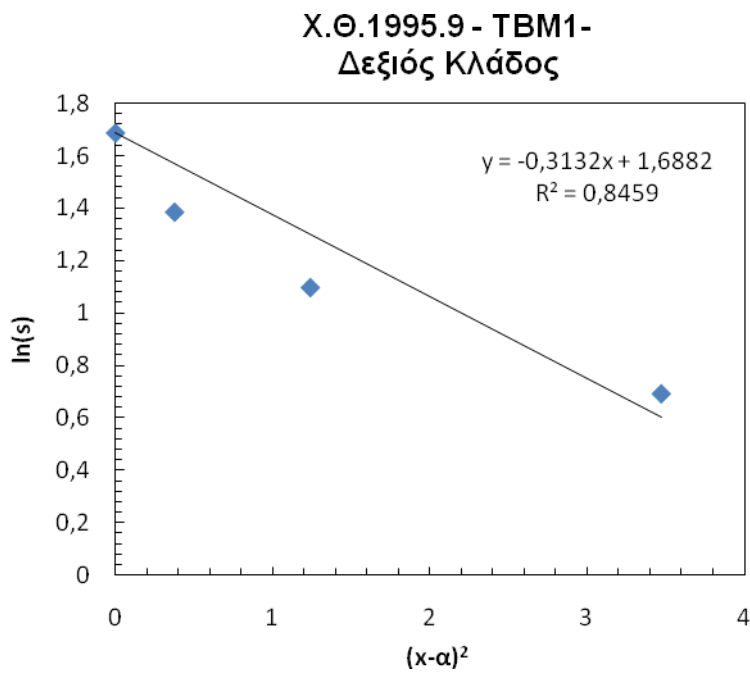
$s_{max}(mm)$ **5.40973441**

k 0.22641153

$Vs(m^3/m)$ 0.07751847

$V(m^3/m)$ 30.1907054

$VI(\%)$ 0.25676268



Υπολογιζόμενα
μεγέθη

$i(m)$ 1.26329508

$s_{max}(mm)$ **5.40973441**

k 0.05003387

$Vs(m^3/m)$ 0.01713053

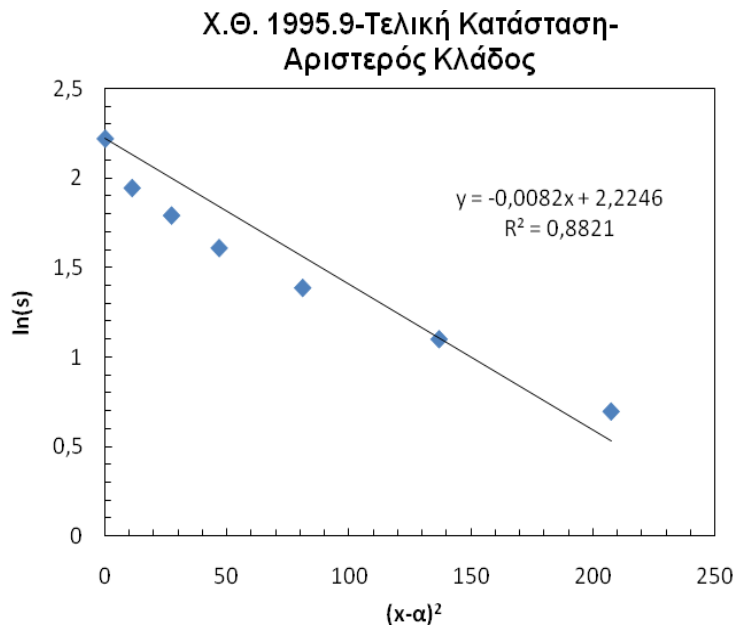
$V(m^3/m)$ 30.1907054

$VI(\%)$ 0.05674106

Τελική κατάσταση

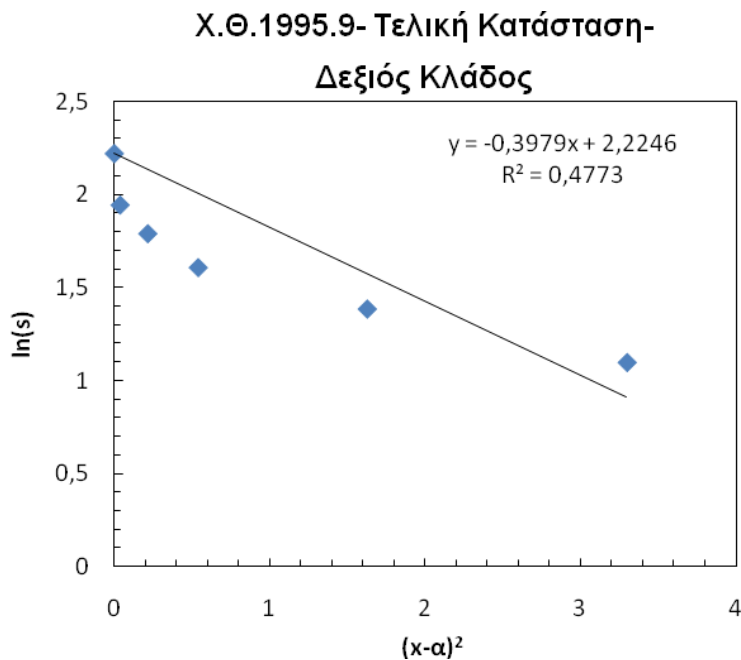
Πίνακας 3: Δεδομένα ανάλυσης Τελικής Κατάστασης στην θέση Χ.Θ.1995.9

Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
	-2.00	-20.9	0.693147181	436.2751238
TETS1993_13	-2.02	-20.7	0.703097511	430.2500617
	-2.00	-14.4	0.693147181	207.3805497
	-3.00	-11.7	1.098612289	136.8434569
	-4.00	-9.0	1.386294361	80.91556796
	-5.00	-6.8	1.609437912	46.69188352
	-6.00	-5.2	1.791759469	27.15998578
	-7.00	-3.3	1.945910149	11.01995949
TETS1994_99	-9.23	0.0	2.222459049	0
	-7.00	0.2	1.945910149	0.037589874
	-6.00	0.5	1.791759469	0.215436477
	-5.00	0.7	1.609437912	0.539375118
	-4.00	1.3	1.386294361	1.625528515
	-3.00	1.816	1.098612289	3.296050064
	-2.00	2.9	0.693147181	8.390197616



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	7.808688094
$s_{max}(mm)$	9.25
k	0.309269672
$Vs(m^3/m)$	0.181050411
$V(m^3/m)$	60.3814108
$VI(\%)$	0.299844618



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	1.122109
$s_{max}(mm)$	9.230378
k	0.044442
$Vs(m^3/m)$	0.025962
$V(m^3/m)$	60.38141
$VI(\%)$	0.040778

Κατακόρυφες Μετακινήσεις εξαιτίας της όρυξης TBM 2

Πίνακας 4: Δεδομένα ανάλυσης Καθιζήσεων εξαιτίας TBM2 στην θέση Χ.Θ.1995.9

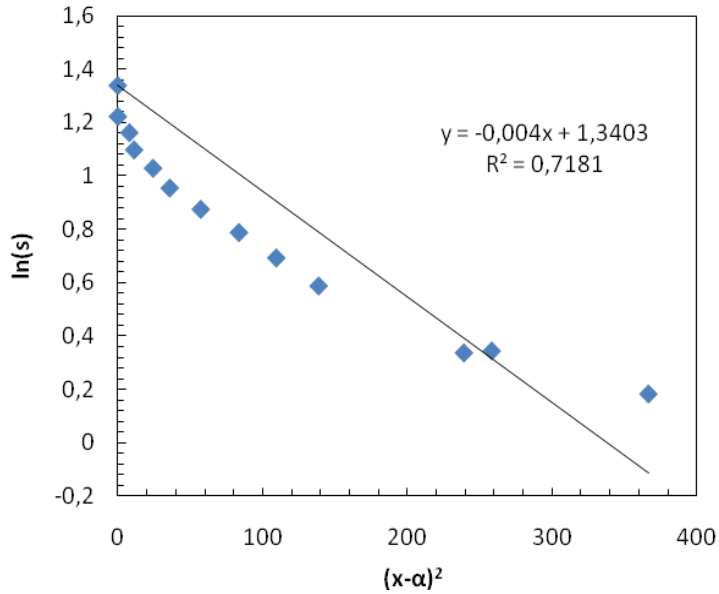
Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
	-1.00	-26.8	0	717.2608926
TETS1993_13	-1.2	-20.7	0.182321557	430.2496469
	-1.20	-19.2	0.182321557	366.7281644
TETS1994_12	-1.41	-16.1	0.343589704	258.4770029
	-1.40	-15.5	0.336472237	239.1952187
	-1.80	-11.8	0.587786665	138.8090874
	-2.00	-10.5	0.693147181	109.535845
	-2.20	-9.2	0.78845736	83.7252065
	-2.40	-7.6	0.875468737	57.32307741
	-2.60	-6.0	0.955511445	35.90709791
	-2.80	-4.9	1.029619417	24.39986134
	-3.00	-3.4	1.098612289	11.29413115
	-3.20	-2.8	1.16315081	8.033587659
	-3.40	-0.3	1.223775432	0.09
TETS1994_99	-3.82	0.0	1.340250423	0
	-0.80	4.0	0.223143551	16.06203475

-0.60	4.8	0.510825624	23.01332478
-------	-----	-------------	-------------

-0.40	5.8	0.916290732	34.22076965
-------	-----	-------------	-------------

-0.20	7.4	1.609437912	55.18706162
-------	-----	-------------	-------------

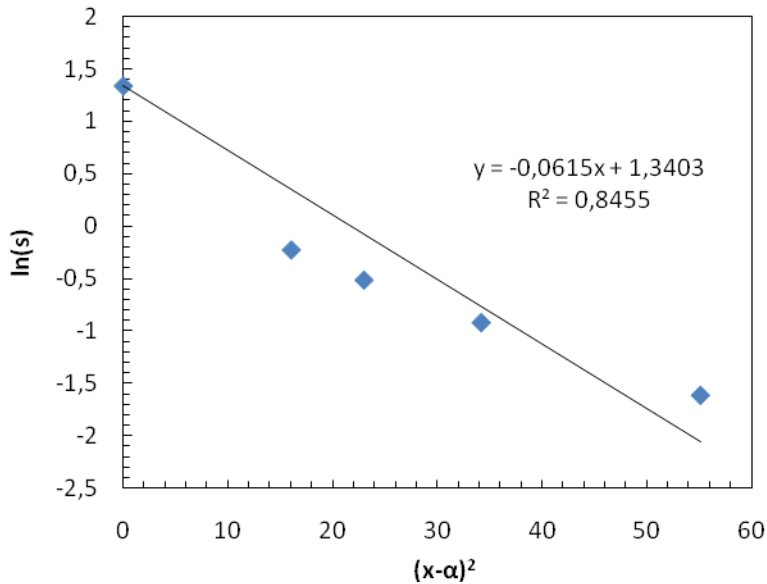
**Χ.Θ.1995.9-Καθιζήσεις λόγω TBM2-
Αριστερός Κλάδος**



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	11.18034
$s_{max}(mm)$	3.82
k	0.442807
$Vs(m^3/m)$	0.107061
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.354615

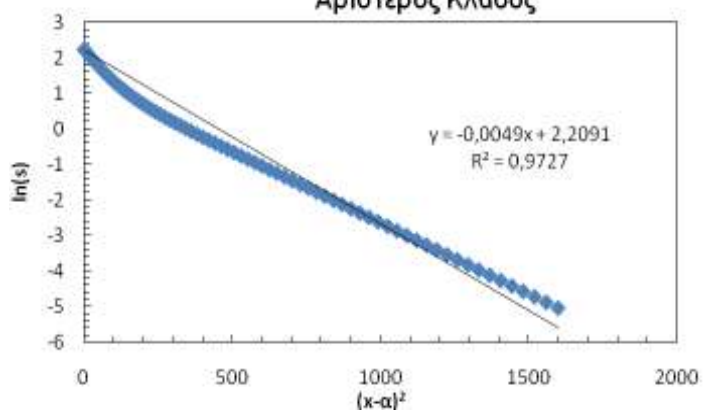
**Χ.Θ. 1995.9- Καθιζήσεις λόγω TBM2-
Δεξιός κλάδος**



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	2.851329743
$s_{max}(mm)$	3.82
k	0.112929317
$Vs(m^3/m)$	0.027303748
$V(m^3/m)$	30.1907054
$VI(\%)$	0.090437597

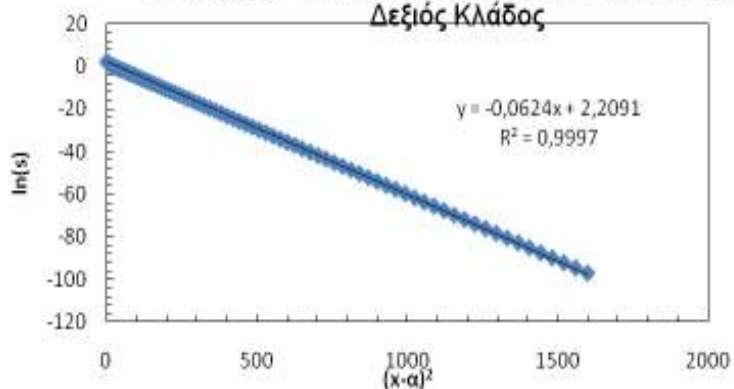
Χ.Θ. 1995.9-Υπέρθεση καμπύλων TBM1 και TBM2-
Αριστερός Κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	10.78327732
$s_{max}(mm)$	9.107515939
k	0.427080785
$Vs(m^3/m)$	0.246173131
$V(m^3/m)$	60.3814108
$VI(\%)$	0.407696884

Χ.Θ. 1995.9-Υπέρθεση καμπύλων TBM1 και TBM2-
Δεξιός Κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

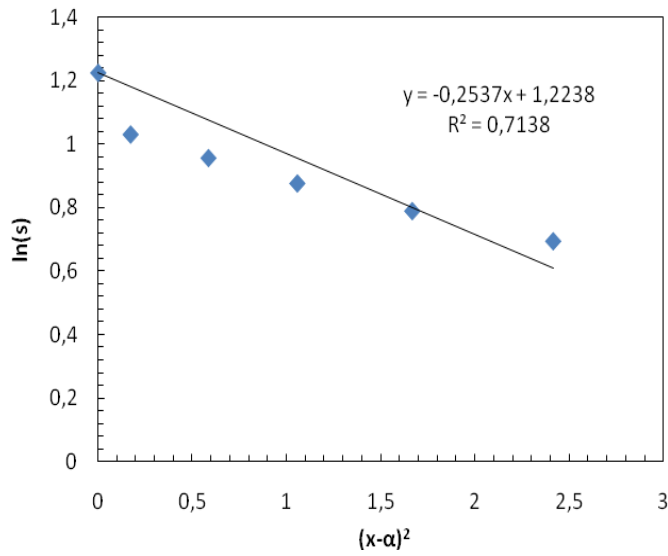
$i(m)$	2.817180849
$s_{max}(mm)$	9.107515939
k	0.111576821
$Vs(m^3/m)$	0.064313864
$V(m^3/m)$	60.3814108
$VI(\%)$	0.106512688

Περιοχή από Χ.Θ.2340 έως Χ.Θ.2392

Πίνακας 5: Δεδομένα ανάλυσης Καθιζήσεων εξαιτίας TBM1 στην θέση Χ.Θ.2362.2

Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
	-2.00	-1.6	0.693147181	2.417958981
	-2.20	-1.3	0.78845736	1.668801179
	-2.40	-1.0	0.875468737	1.058147531
	-2.60	-0.8	0.955511445	0.585998039
	-2.80	-0.4	1.029619417	0.171916291
TETS2361_99	-3.4	0.0	1.223775432	0
TETS2361_99	-3.4	0.0	1.223775432	0
	-3.20	0.4	1.16315081	0.140509366
	-3.00	1.2	1.098612289	1.355639837
	-2.80	2.0	1.029619417	3.817307704
	-2.60	2.7	0.955511445	7.051932758
	-2.40	3.5	0.875468737	12.48025563
	-2.20	4.4	0.78845736	19.44751355
	-2.00	5.4	0.693147181	28.88896726

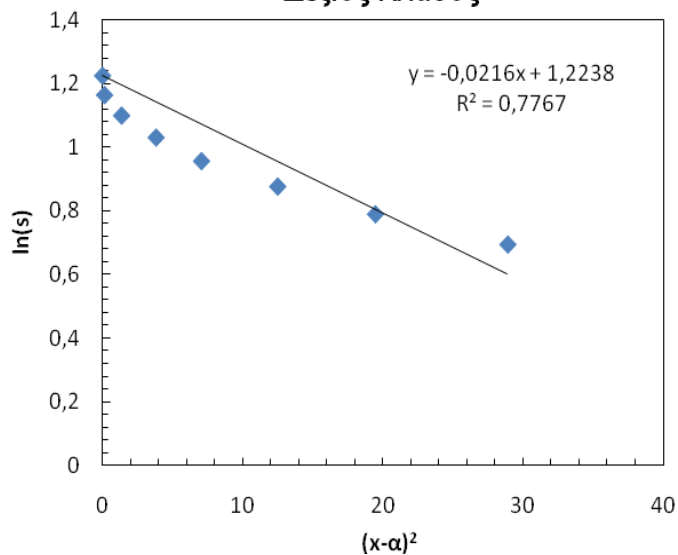
Χ.Θ.2362.2-TBM1-
Αριστερός Κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	1.4038631
$s_{max}(mm)$	3.4000835
k	0.0519649
$Vs(m^3/m)$	0.0119648
$V(m^3/m)$	30.190705
$VI(\%)$	0.0396306

Χ.Θ.2362.2-TBM1-
Δεξιός Κλάδος



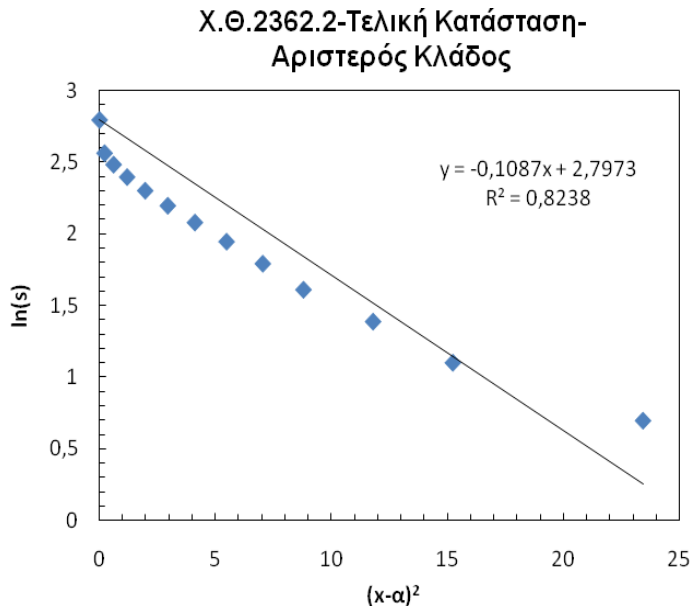
Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	4.8112522
$s_{max}(mm)$	3.4000835
k	0.1780916
$Vs(m^3/m)$	0.0410051
$V(m^3/m)$	30.190705
$VI(\%)$	0.1358202

Πίνακας 6: Δεδομένα ανάλυσης Καθιζήσεων εξαιτίας TBM1 στην θέση Χ.Θ.2362.2

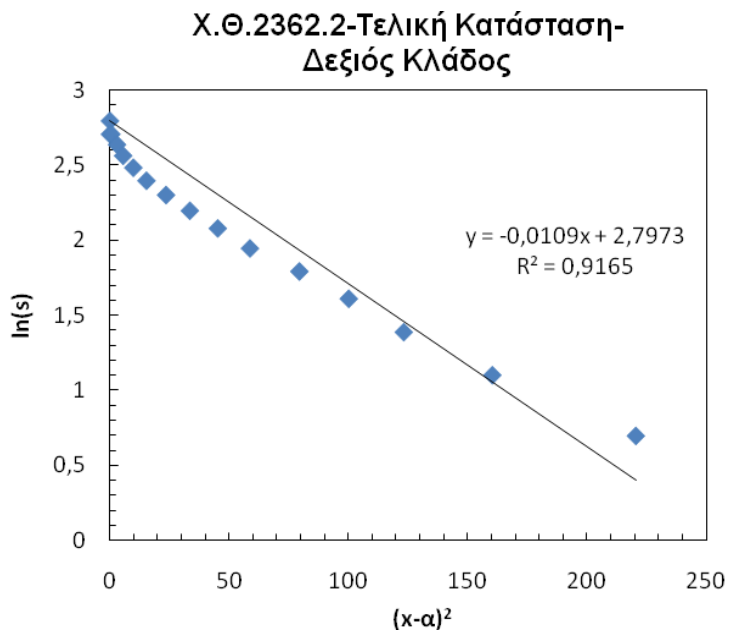
Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη		
		Απόσταση (x-α) (m)		
			Ln(s)	(x-α) ²
	-2.00	-4.8	0.693147181	23.41563066
	-3.00	-3.9	1.098612289	15.22146816
	-4.00	-3.4	1.386294361	11.7835666
	-5.00	-3.0	1.609437912	8.785118161
	-6.00	-2.7	1.791759469	7.030293161
	-7.00	-2.3	1.945910149	5.470780661
	-8.00	-2.0	2.079441542	4.106580661
	-9.00	-1.7	2.197224577	2.937693161
	-10.00	-1.4	2.302585093	1.964118161
	-11.00	-1.1	2.397895273	1.185855661
	-12.00	-0.8	2.48490665	0.602905661
	-13.00	-0.5	2.564949357	0.215268161
TETS2361_99	-16.4	0.0	2.797281335	0
	-15.00	0.0	2.708050201	2.28484E-05
	-15.00	0.8	2.708050201	0.617843161

-14.00	1.7	2.63905733	2.970555661
-13.00	2.3	2.564949357	5.515593161
-12.00	3.1	2.48490665	9.795522848
-11.00	3.9	2.397895273	15.29615566
-10.00	4.8	2.302585093	23.50824316
-9.00	5.8	2.197224577	33.47814316
-8.00	6.7	2.079441542	45.20585566
-7.00	7.7	1.945910149	58.69138066
-6.00	8.9	1.791759469	79.40645566
-5.00	10.0	1.609437912	100.0956228
-4.00	11.1	1.386294361	123.1773682
-3.00	12.7	1.098612289	160.3016807
-2.00	14.8	0.693147181	220.4788432



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	2.144718
$s_{max}(mm)$	16.40
k	0.079388
$Vs(m^3/m)$	0.088168
$V(m^3/m)$	60.38141
$VI(\%)$	0.146019



Υπολογιζόμενα μεγέθη

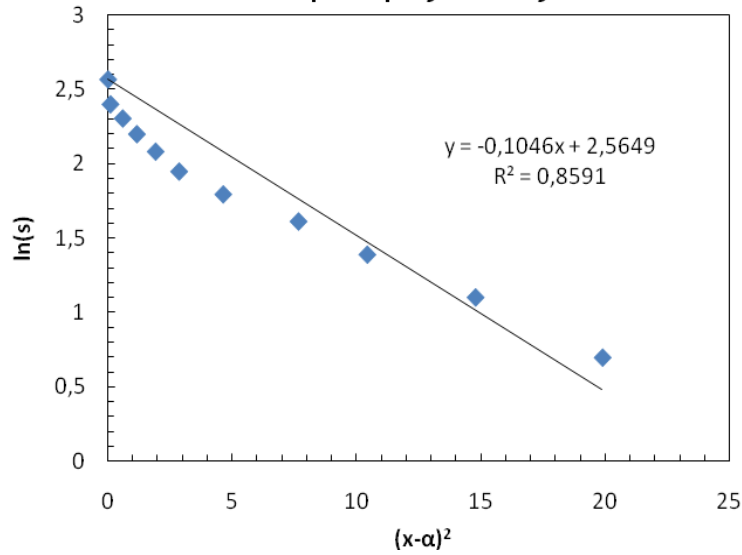
$i(m)$	6.772855
$s_{max}(mm)$	16.40031
k	0.250702
$Vs(m^3/m)$	0.278428
$V(m^3/m)$	60.38141
$VI(\%)$	0.461116

Πίνακας 7: Δεδομένα ανάλυσης Καθιζήσεων εξαιτίας TBM2 στην θέση Χ.Θ.2362.2

Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
	-2.00	-4.5	0.693147181	19.88412849
	-3.00	-3.8	1.098612289	14.77462695
	-4.00	-3.2	1.386294361	10.42252186
	-5.00	-2.8	1.609437912	7.655484463
	-6.00	-2.2	1.791759469	4.628823161
	-7.00	-1.7	1.945910149	2.855868605
	-8.00	-1.4	2.079441542	1.910585291
	-9.00	-1.1	2.197224577	1.15465109
	-10.00	-0.8	2.302585093	0.588066001
	-11.00	-0.3	2.397895273	0.093217954
TETS2361_99	-13.00	0.0	2.564949357	0
	-12.00	0.5	2.48490665	0.21521677
	-11.00	1.4	2.397895273	1.923745528
	-10.00	2.5	2.302585093	6.070875232
	-9.00	3.5	2.197224577	12.53753156
	-8.00	4.5	2.079441542	19.92653369

-7.00	5.7	1.945910149	32.42942411
-6.00	6.9	1.791759469	47.96190032
-5.00	8.2	1.609437912	66.52396233
-4.00	9.5	1.386294361	91.02758387
-3.00	11.1	1.098612289	122.7508714
-2.00	13.1	0.693147181	171.0680684

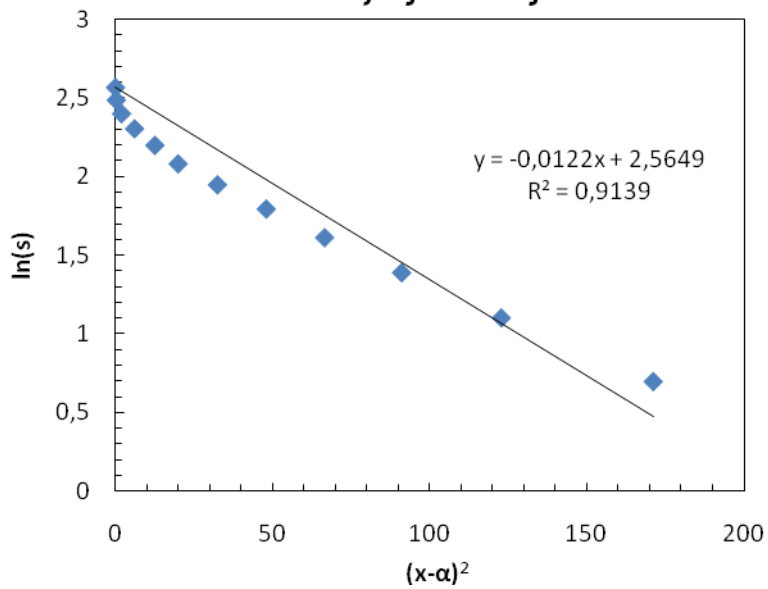
Χ.Θ.2362.2-TBM2-
Αριστερός Κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

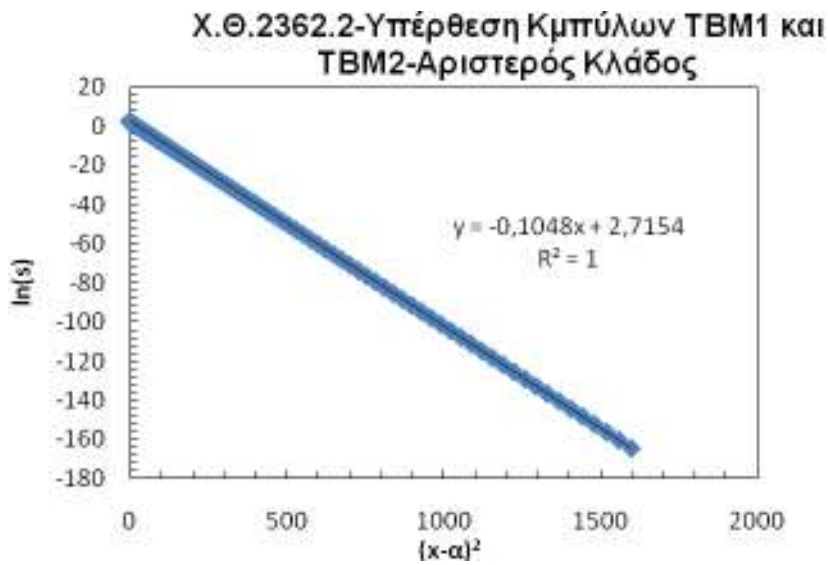
$i(m)$	2.186347
$s_{max}(mm)$	13.00
k	0.080929
$Vs(m^3/m)$	0.071241
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.235971

Χ.Θ.2362.2-TBM2-
Δεξιός Κλάδος



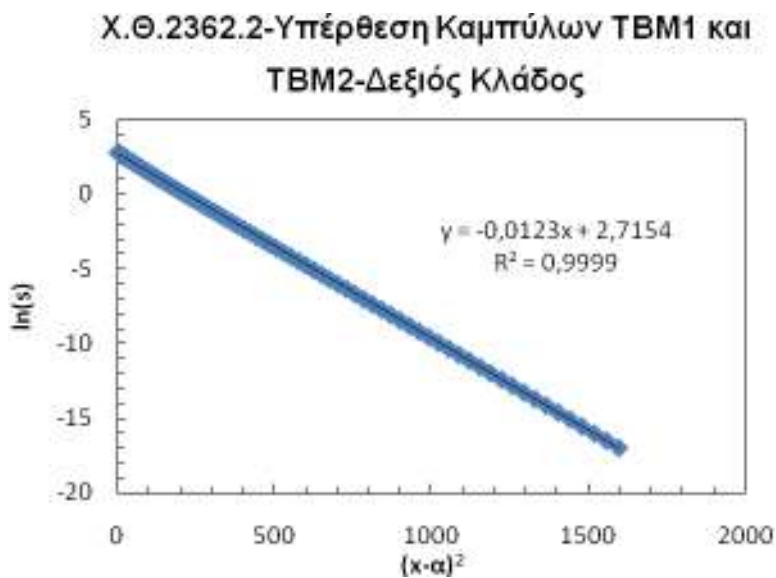
Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	6.401844
$s_{max}(mm)$	13.00
k	0.236968
$Vs(m^3/m)$	0.208601
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.690945



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	2.715627233
$s_{max}(mm)$	15.11065312
k	0.100520708
$Vs(m^3/m)$	0.102859243
$V(m^3/m)$	60.3814108
$VI(\%)$	0.170349189



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	2.67835792
$s_{max}(mm)$	15.11065312
k	0.09914116
$Vs(m^3/m)$	0.101447601
$V(m^3/m)$	60.3814108
$VI(\%)$	0.168011314

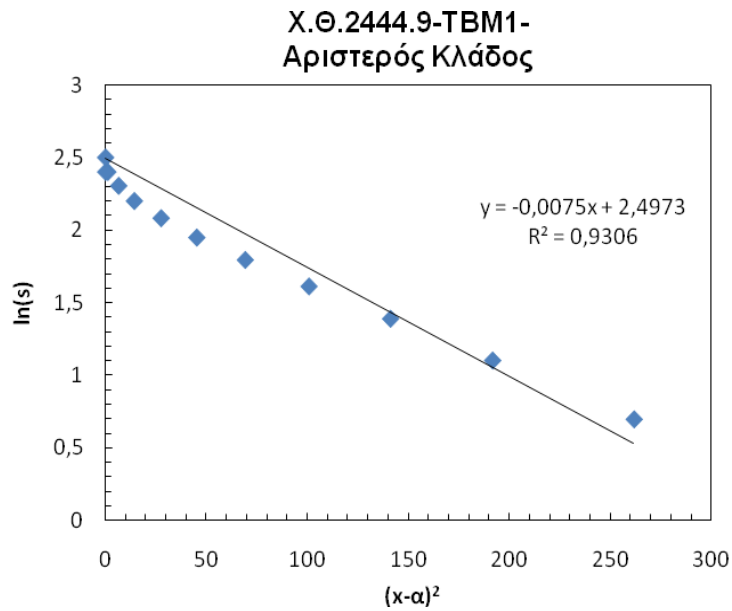
Περιοχή από Χ.Θ.2400 έως Χ.Θ.2469

Πίνακας 8: Δεδομένα ανάλυσης Καθιζήσεων εξαιτίας TBM1 στην θέση Χ.Θ.2444,9

Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
	-2.00	-16.2	0.693147181	261.7637578
	-3.00	-13.8	1.098612289	191.6829875
	-4.00	-11.9	1.386294361	141.1192074
	-5.00	-10.0	1.609437912	100.7335146
	-6.00	-8.3	1.791759469	69.16761536
	-7.00	-6.7	1.945910149	45.15376877
	-8.00	-5.2	2.079441542	27.51478694
	-9.00	-3.8	2.197224577	14.22234509
	-10.00	-2.5	2.302585093	6.46558381
	-11.00	-1.1	2.397895273	1.141798577
	-11.00	-0.1	2.397895273	0.007352852
TETS2448_99	-12.15	0.0	2.49732917	0

Πίνακας 8 (συνέχεια): Δεδομένα ανάλυσης Καθιζήσεων εξαιτίας TBM1 στην θέση Χ.Θ.2444,9

Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
	-10.00	0.2	2.302585093	0.025584474
	-9.00	0.4	2.197224577	0.164553318
	-8.00	0.7	2.079441542	0.424259383
	-7.00	0.8	1.945910149	0.599388874
	-6.00	1.1	1.791759469	1.305883178
	-5.00	1.4	1.609437912	1.927800908
	-4.00	1.6	1.386294361	2.670455859
	-3.00	1.9	1.098612289	3.533848031
	-2.00	2.4	0.693147181	5.622844041



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$ 8.16496581

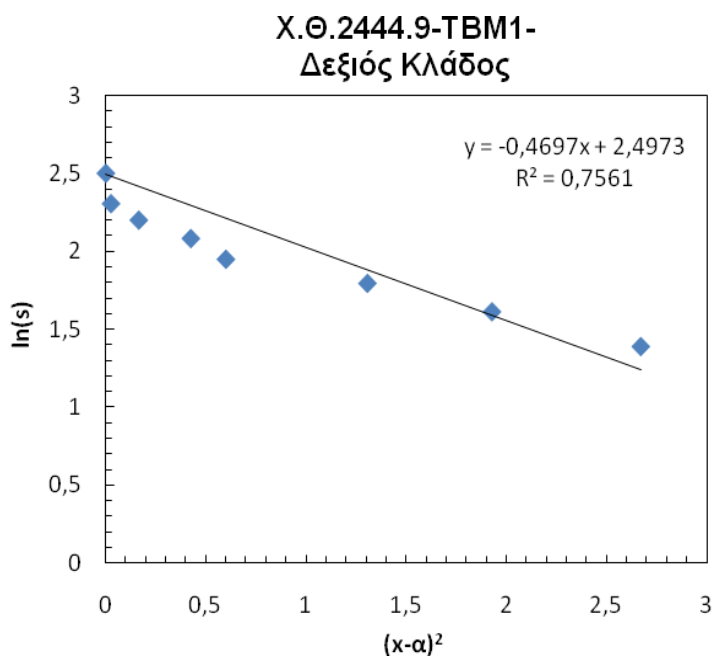
$s_{max}(mm)$ 12.1496456

k 0.33446937

$Vs(m^3/m)$ 0.24866114

$V(m^3/m)$ 30.1907054

$VI(\%)$ 0.82363474



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$ 1.0317506

$s_{max}(mm)$ 12.149646

k 0.0422646

$Vs(m^3/m)$ 0.0314216

$V(m^3/m)$ 30.190705

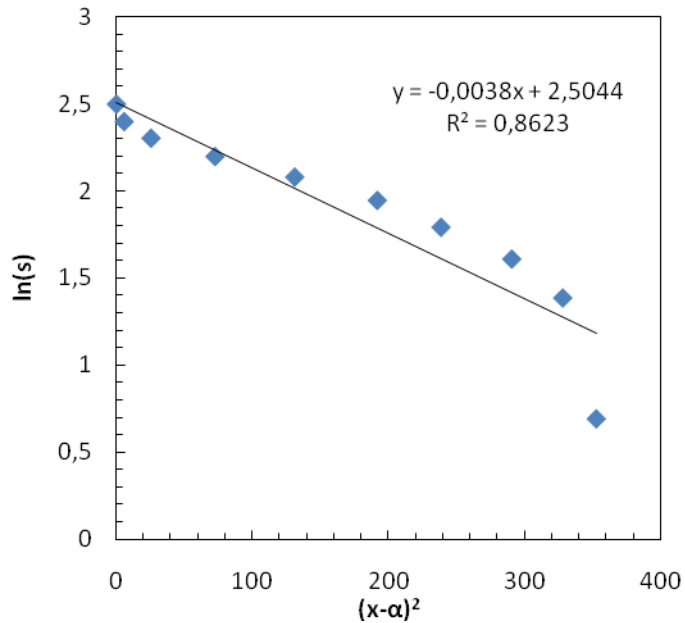
$VI(\%)$ 0.1040771

Πίνακας 11: Δεδομένα ανάλυσης Καθιζήσεων Τελικής Κατάστασης στην θέση Χ.Θ.2444,9

Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
	-2.00	-23.0	0.693147181	531.1910975
	-3.00	-20.5	1.098612289	420.8344531
TETS2442_12	-2	-18.8	0.693147181	352.7462448
	-4.00	-18.1	1.386294361	328.1260531
	-5.00	-17.0	1.609437912	290.6200975
	-6.00	-15.4	1.791759469	238.6278308
	-7.00	-13.8	1.945910149	191.7555642
	-8.00	-11.4	2.079441542	131.0471642
	-9.00	-8.5	2.197224577	72.49245306
	-10.00	-5.0	2.302585093	25.47809751
	-11.00	-2.4	2.397895273	5.668764174
TETS2448_99	-12.15	0.0	2.49732917	0
	-11.00	0.2	2.397895273	0.02323084
	-10.00	0.3	2.302585093	0.081653063
	-9.00	0.6	2.197224577	0.305164174
	-8.00	0.8	2.079441542	0.670897507

-7.00	1.1	1.945910149	1.178853063
-6.00	1.4	1.791759469	1.82903084
-5.00	1.6	1.609437912	2.62143084
-4.00	1.9	1.386294361	3.556053063
-3.00	2.3	1.098612289	5.224653063
-2.00	3.0	0.693147181	8.716764174

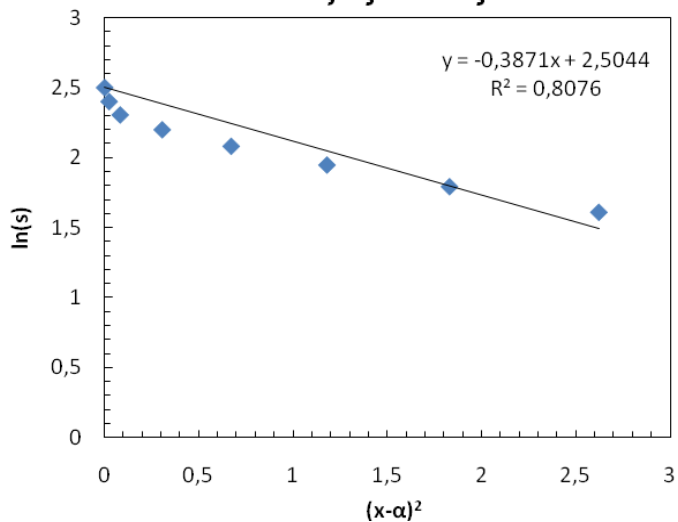
Χ.Θ.2444.9-Τελική Κατάσταση-Αριστερός Κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	11.47078669
$s_{max}(mm)$	12.24
k	0.469888893
$Vs(m^3/m)$	0.35182787
$V(m^3/m)$	30.1907054
$VI(\%)$	1.165351604

Χ.Θ.2444.9-Τελική Κατάσταση-Δεξιός Κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

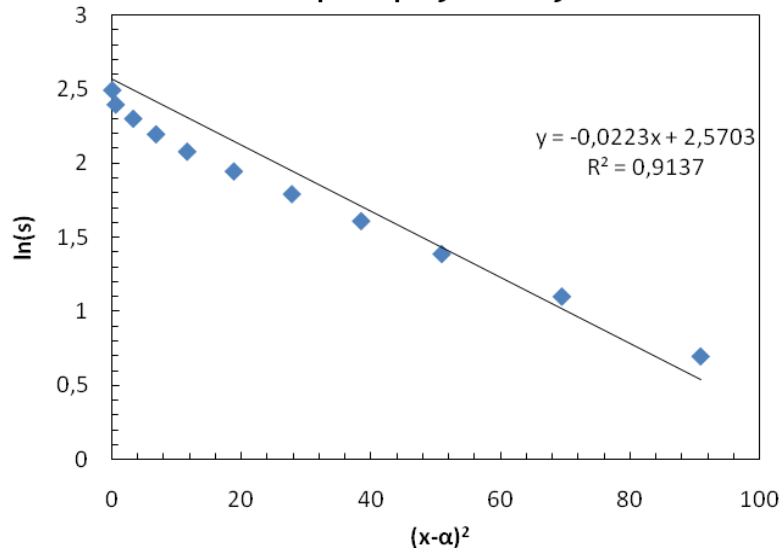
$i(m)$	1.136510406
$s_{max}(mm)$	12.23621503
k	0.046555971
$Vs(m^3/m)$	0.034858641
$V(m^3/m)$	30.1907054
$VI(\%)$	0.115461499

Πίνακας 12: Δεδομένα ανάλυσης Καθιζήσεων Τελικής Κατάστασης στην θέση Χ.Θ.2451,2

Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
	-2.00	-9.5	0.693147181	90.90116032
	-3.00	-8.3	1.098612289	69.45905632
	-4.00	-7.1	1.386294361	50.89695232
	-5.00	-6.2	1.609437912	38.45087144
	-6.00	-5.3	1.791759469	27.74701277
	-7.00	-4.3	1.945910149	18.78537632
	-8.00	-3.4	2.079441542	11.5659621
	-9.00	-2.6	2.197224577	6.764559435
	-10.00	-1.8	2.302585093	3.243156769
	-11.00	-0.7	2.397895273	0.539064324
TETS2453_12	-12.13	0.0	2.495681723	0
	-11.00	3.3	2.397895273	10.66538432
	-10.00	6.2	2.302585093	38.4291301
	-9.00	9.1	2.197224577	83.40176477
	-8.00	11.0	2.079441542	120.9807141

-7.00	12.9	1.945910149	165.5285523
-6.00	14.2	1.791759469	201.6151034
-5.00	15.3	1.609437912	233.0443443
-4.00	16.2	1.386294361	262.4115968
-3.00	17.3	1.098612289	298.1075043
-2.00	18.2	0.693147181	331.2080901

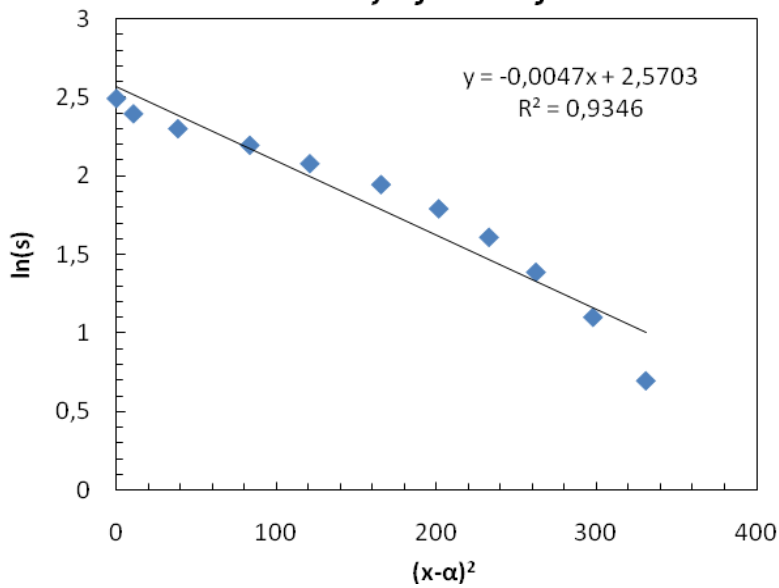
Χ.Θ.2451.2-Τελική Κατάσταση-
Αριστερός Κλάδος



Υπολογιζόμενα
μεγέθη

$i(m)$	4.735137
$s_{max}(mm)$	13.07
k	0.195239
$Vs(m^3/m)$	0.155128
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.513826

Χ.Θ.2451.2-Τελική Κατάσταση-
Δεξιός κλάδος



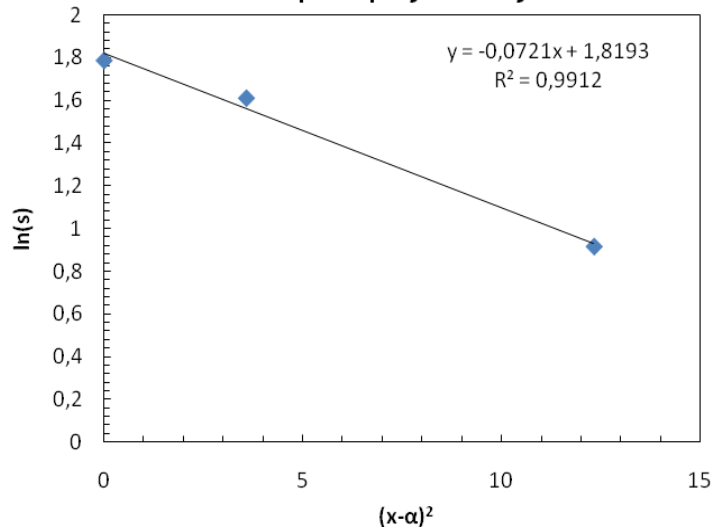
Υπολογιζόμενα
μεγέθη

$i(m)$	10.31421
$s_{max}(mm)$	13.06974
k	0.425276
$Vs(m^3/m)$	0.337904
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	1.119231

Πίνακας 13: Δεδομένα ανάλυσης Καθιζήσεων Τελικής Κατάστασης στην θέση Χ.Θ.2483,3

Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-a) (m)	Ln(s)	(x-a) ²
TETS2483_12	-2.5	-2.5	0.916290732	12.32515492
	-5.00	-5.00	1.609437912	3.579254931
TETS2483_99	-5.96	-5.96	1.785070481	1.91702E-05
	-5.00	-5.00	1.609437912	74.79912345
	-4.00	-4.00	1.386294361	318.1884587

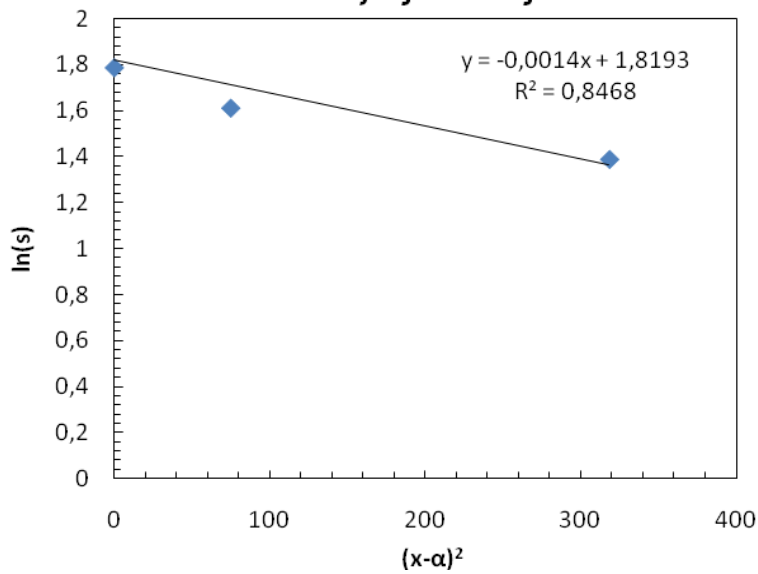
Χ.Θ.2483.3-Τελική Κατάσταση-
Αριστερός Κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	2.633403
$s_{max}(mm)$	6.17
k	0.113236
$Vs(m^3/m)$	0.040712
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.134848

Χ.Θ.2483.3-Τελική Κατάσταση-
Δεξιός Κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

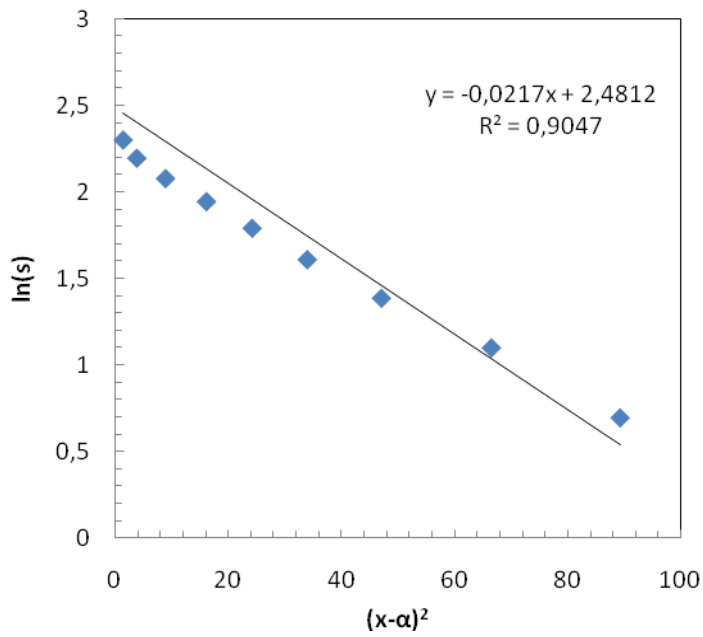
$i(m)$	18.89822
$s_{max}(mm)$	6.16754
k	0.812621
$Vs(m^3/m)$	0.292161
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.96772

Πίνακας 10: Δεδομένα ανάλυσης Καθιζήσεων εξαιτίας TBM2 στην θέση Χ.Θ.2451,2

Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-a) (m)	Ln(s)	(x-a) ²
	-2.00	-9.5	0.693147181	89.32723133
	-3.00	-8.2	1.098612289	66.51987369
	-4.00	-6.9	1.386294361	47.06831083
	-5.00	-5.8	1.609437912	33.92323278
	-6.00	-4.9	1.791759469	24.18308176
	-7.00	-4.0	1.945910149	16.08727018
	-8.00	-3.0	2.079441542	8.848390962
	-9.00	-1.9	2.197224577	3.757220407
	-10.00	-1.2	2.302585093	1.348276301
TETS2453_12	-11.16	0.0	2.412335957	0
	-10.00	1.4	2.302585093	2.04352906
	-9.00	3.0	2.197224577	8.903806705
	-8.00	4.4	2.079441542	19.43747495
	-7.00	5.8	1.945910149	34.03165489
	-6.00	7.4	1.791759469	54.58357526
	-5.00	8.9	1.609437912	79.96784013

-4.00	10.5	1.386294361	110.1844495
-3.00	12.3	1.098612289	151.5447069
-2.00	14.1	0.693147181	199.4823221

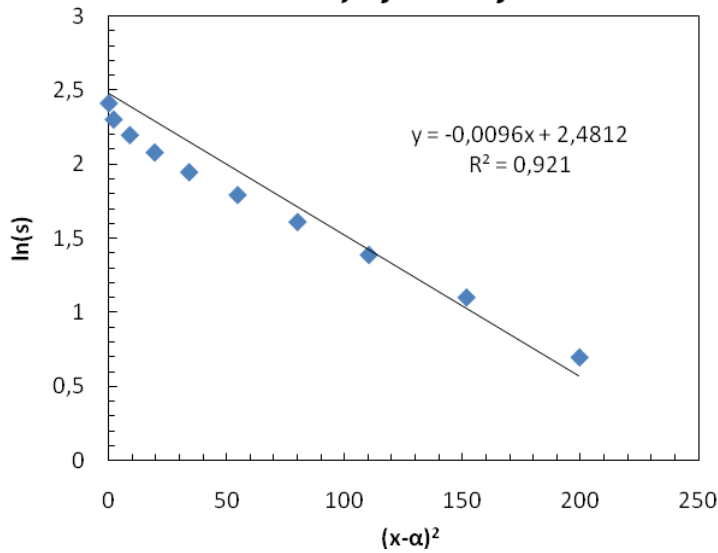
Χ.Θ.2451.2-Καθιζήσεις λόγω TBM2-Αριστερός Κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	4.800153607
$s_{max}(mm)$	11.96
k	0.197919994
$Vs(m^3/m)$	0.14385221
$V(m^3/m)$	30.1907054
$VI(\%)$	0.476478466

Χ.Θ.2451.2-Καθιζήσεις λόγω TBM2- Δεξιός Κλάδος



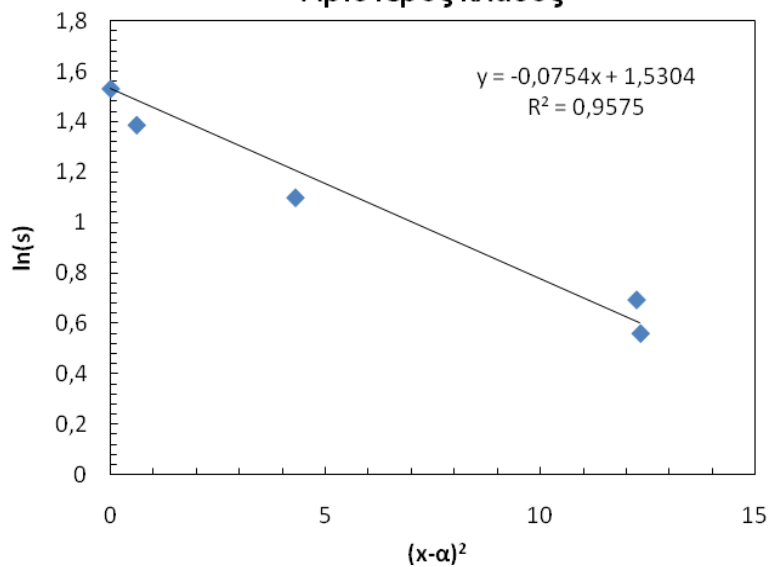
Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	7.216878365
$s_{max}(mm)$	11.96
k	0.297566419
$Vs(m^3/m)$	0.216277225
$V(m^3/m)$	30.1907054
$VI(\%)$	0.716370227

Πίνακας 9: Δεδομένα ανάλυσης Καθιζήσεων εξαιτίας TBM2 στην θέση Χ.Θ.2483,3

Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
TETS2483_12	-1.75	-3.5	0.559615788	12.32515492
	-2.00	-3.5	0.693147181	12.231872
	-3.00	-2.1	1.098612289	4.295417327
	-4.00	-0.8	1.386294361	0.604043062
TETS2483_99	-4.62	0.0	1.530394705	1.86624E-05
	-4.00	2.6	1.386294361	6.711589573
	-3.00	7.0	1.098612289	48.92748799
	-2.00	11.3	0.693147181	127.0000537

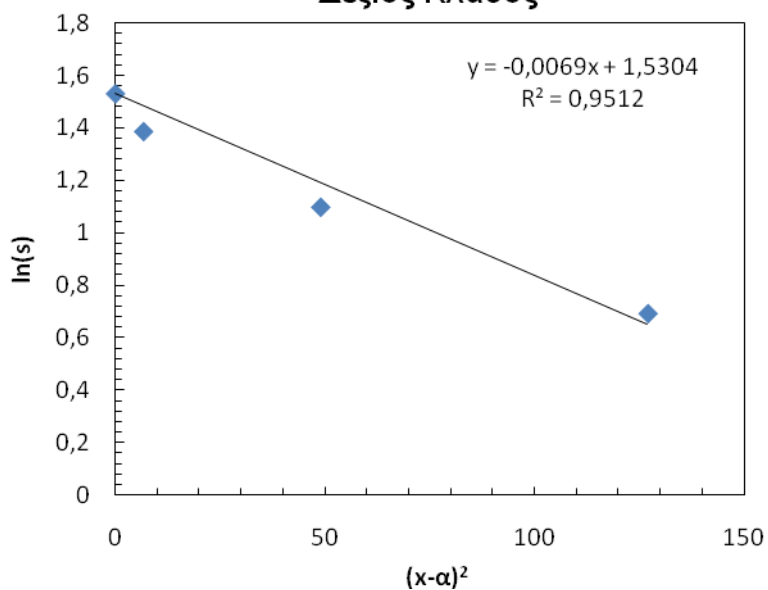
Χ.Θ.2483.3-Καθιζήσεις λόγω TBM2-
Αριστερός κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	2.575131
$s_{max}(mm)$	4.62
k	0.11073
$Vs(m^3/m)$	0.029822
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.098778

Χ.Θ.2483.3-Καθιζήσεις λόγω TBM2-
Δεξιός Κλάδος



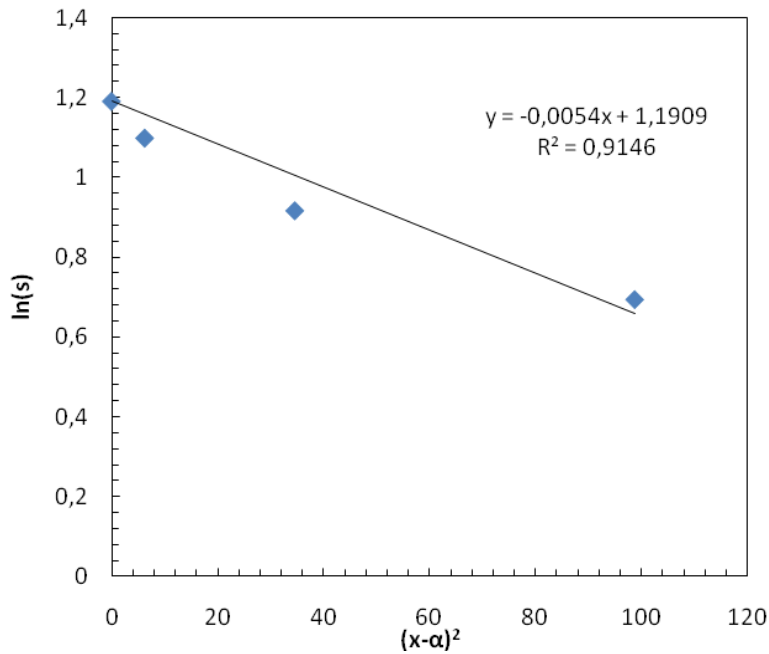
Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	8.512565
$s_{max}(mm)$	4.620024
k	0.366039
$Vs(m^3/m)$	0.098581
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.326529

Πίνακας 14: Δεδομένα ανάλυσης Καθιζήσεων λόγω TBM1 στην θέση Χ.Θ.2834,7

Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
	-2	-9.93635	0.693147181	98.73104953
	-2.5	-5.8823	0.916290732	34.60140454
	-3	-2.50392	1.098612289	6.269602734
TFCS2830_31	-3.29	0	1.190887565	0
	-2.5	0.874461	0.916290732	0.764681867
	-2	1.775362	0.693147181	3.151909527
	-2	11.46005	0.693147181	131.3326655
	-2.5	14.6132	0.916290732	213.5456037
	-2	-9.93635	0.693147181	98.73104953
	-2.5	-5.8823	0.916290732	34.60140454

Χ.Θ.2834.7-Καθιζήσεις λόγω TBM1-Αριστερός Κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$ 9.622504

$s_{max}(mm)$ 3.290041

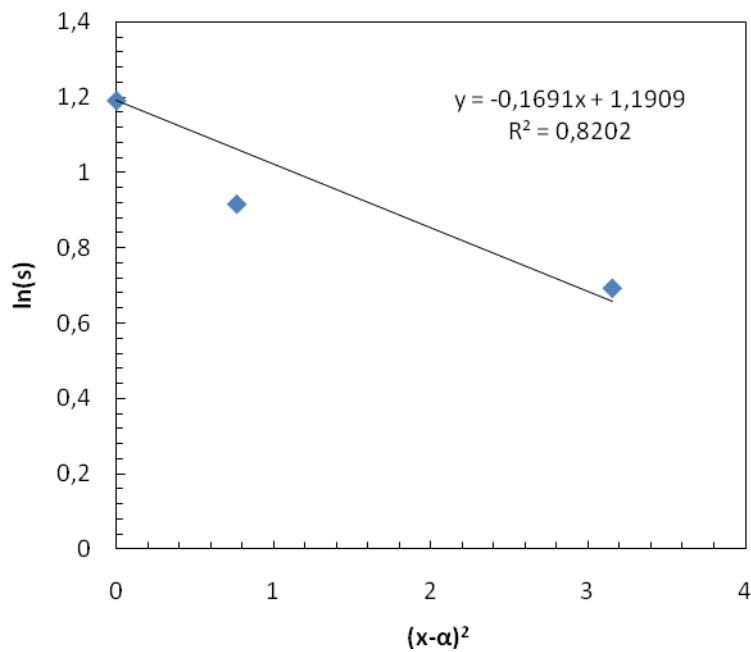
k 0.380608

$Vs(m^3/m)$ 0.079356

$V(m^3/m)$ 30.19071

$VI(\%)$ 0.262849

Χ.Θ.2834.7-Καθιζήσεις λόγω TBM1- Δεξιός Κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$ 1.713978

$s_{max}(mm)$ 3.290041

k 0.067795

$Vs(m^3/m)$ 0.014135

$V(m^3/m)$ 30.19071

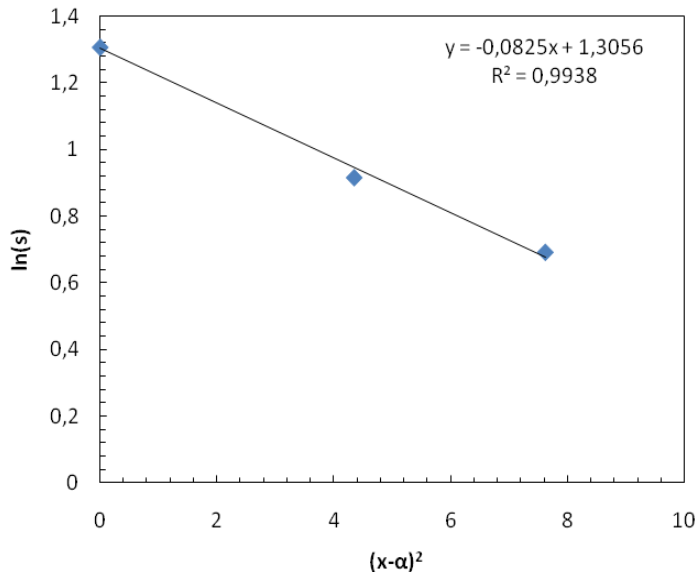
$VI(\%)$ 0.046819

Περιοχή από Χ.Θ.2830 έως Χ.Θ.2870

Πίνακας 15: Δεδομένα ανάλυσης Καθιζήσεων λόγω TBM1 στην θέση Χ.Θ.2843,6

Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-a) (m)	Ln(s)	(x-a) ²
	-2	-2.76186	0.693147181	7.62785175
	-2.5	-2.08618	0.916290732	4.352150751
TFCS2843_31	-3.69	0	1.305626458	0
	-3.5	-0.05915	1.252762968	0.003499181
	-3.5	0.616522	1.252762968	0.380099132
TFCS2843_21	-2.51	2.54682	0.920282753	6.486292112
	-3.5	7.373279	1.252762968	54.3652367
TFCS2843_22	-3.81	8.6551	1.337629189	74.91075601
TFCS2843_23	-3.99	17.21057	1.383791231	296.2037197
	-3.5	21.33724	1.252762968	455.2779185
	-3	26.96787	1.098612289	727.2661824

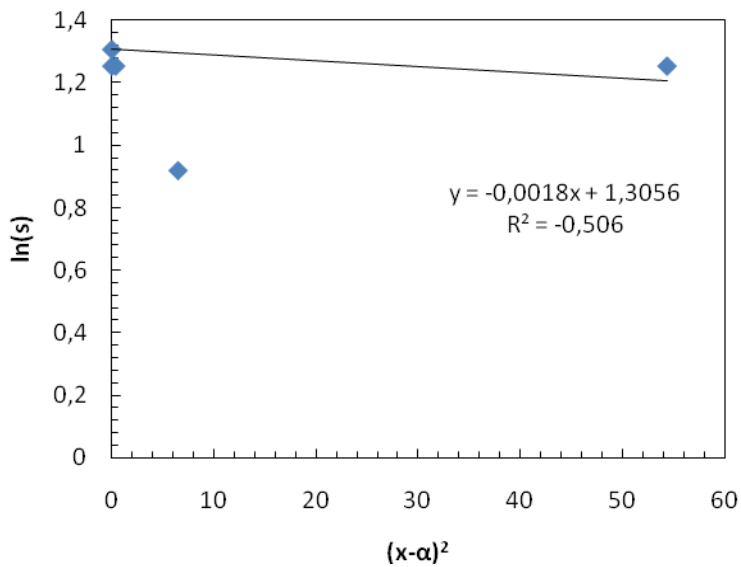
Χ.Θ.2843.6-Καθιζήσεις λόγω TBM1-
Αριστερός Κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	2.46183
$s_{max}(mm)$	3.689902
k	0.096423
$Vs(m^3/m)$	0.02277
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.075421

Χ.Θ.2843,6-Καθιζήσεις λόγω TBM1- Δεξιός
κλάδος



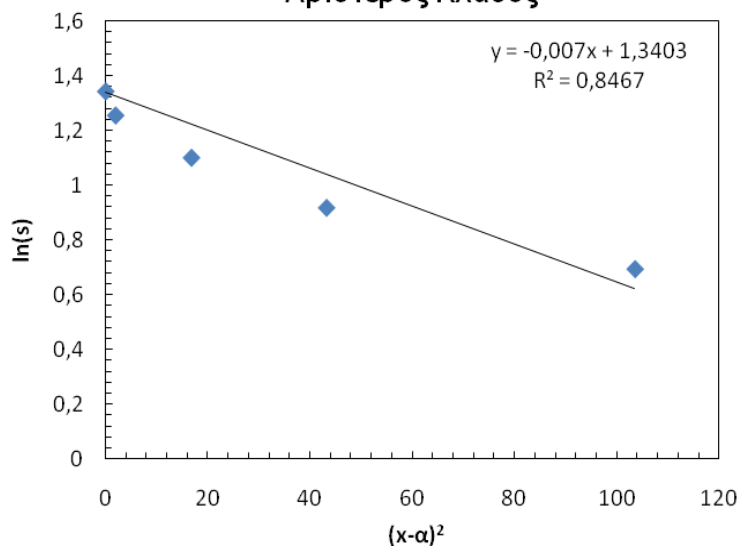
Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	16.66667
$s_{max}(mm)$	3.689902
k	0.652788
$Vs(m^3/m)$	0.154154
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.510599

Πίνακας 16: Δεδομένα ανάλυσης Καθιζήσεων λόγω TBM1 στην θέση Χ.Θ.2858,5

Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
	-2	-10.1743	0.693147181	103.5158837
	-2.5	-6.57067	0.916290732	43.17373029
	-3	-4.09319	1.098612289	16.75424125
	-3.5	-1.39049	1.252762968	1.933467451
TFCS2862_01	-3.82	0	1.340250423	0
	-3	1.312211	1.098612289	1.721897448
	-2.5	2.438337	0.916290732	5.945487457
	-2	3.339238	0.693147181	11.15050994

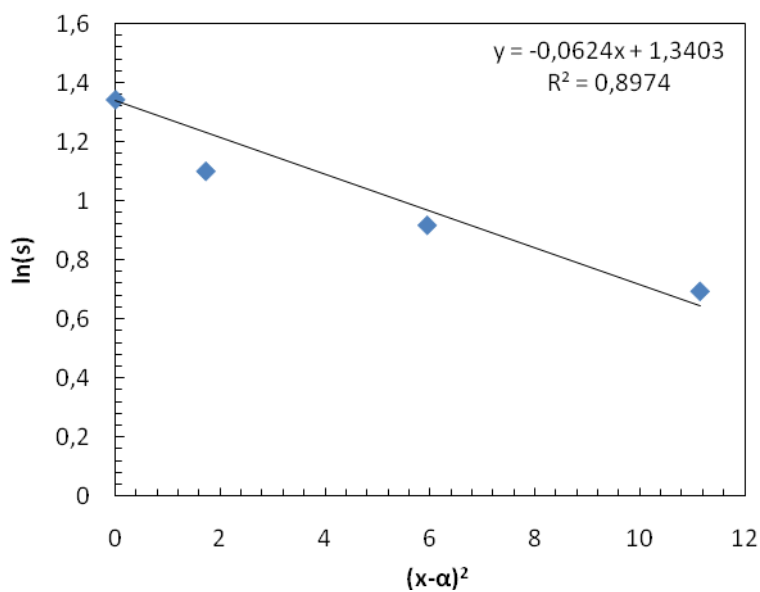
Χ.Θ.2858.5-Καθιζήσεις λόγω ΤΒΜ1-
Αριστερός Κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	8.451543
$s_{max}(mm)$	3.820189
k	0.324917
$Vs(m^3/m)$	0.08093
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.268063

Χ.Θ.2858.5-Καθιζήσεις λόγω ΤΒΜ1-
Δεξιός Κλάδος



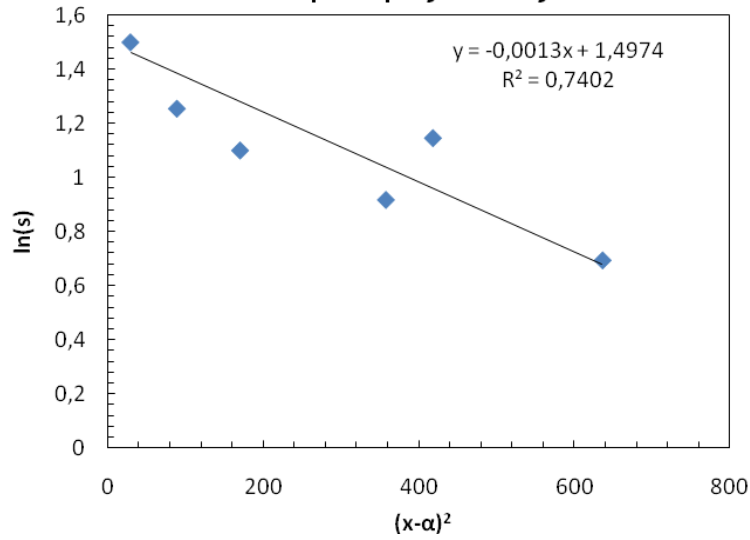
Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	2.830693
$s_{max}(mm)$	3.820189
k	0.108825
$Vs(m^3/m)$	0.027106
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.089783

Πίνακας 17: Δεδομένα ανάλυσης Καθιζήσεων λόγω TBM1 στην θέση Χ.Θ.2874,6

Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
	-2	-25.2252	0.693147181	636.3119877
TFCS2870_12	-3.14	-20.4543	1.1442228	418.3774561
	-2.5	-18.9189	0.916290732	357.9254931
	-3	-13.0631	1.098612289	170.6436166
	-3.5	-9.45946	1.252762968	89.48137327
TFCS2870_01	-4.47	-5.46172	1.497388409	29.83035485
	-4	6.306306	1.386294361	39.76949923
TFCS2870_22	-4.23	7.176523	1.442201993	51.5024794
	-3.5	9.459459	1.252762968	89.48137327
	-3	12.61261	1.098612289	159.0779969
	-2.5	16.66667	0.916290732	277.7777778
	-2	23.87387	0.693147181	569.9618537

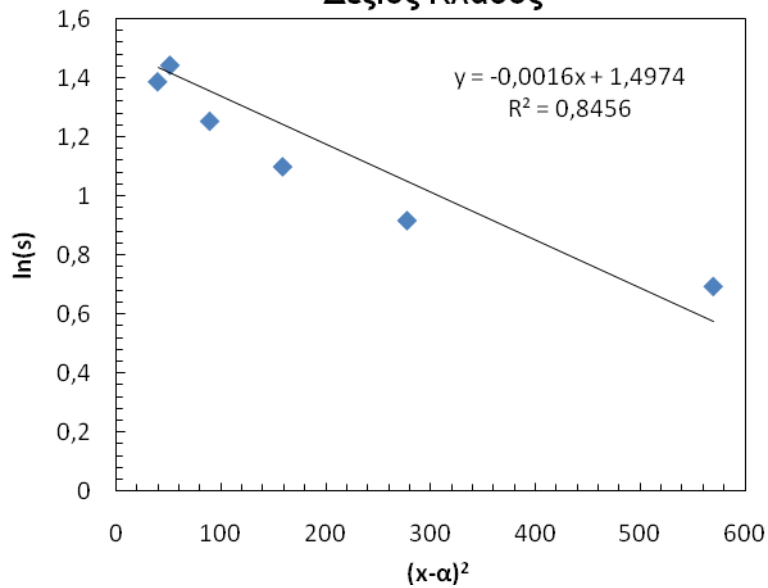
Χ.Θ.2874.6-Καθιζήσεις λόγω ΤΒΜ1-
Αριστερός Κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	19.61161
$s_{max}(mm)$	4.470052
k	0.740066
$Vs(m^3/m)$	0.219743
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.727851

Χ.Θ.2874.6-Καθιζήσεις λόγω ΤΒΜ1-
Δεξιός Κλάδος



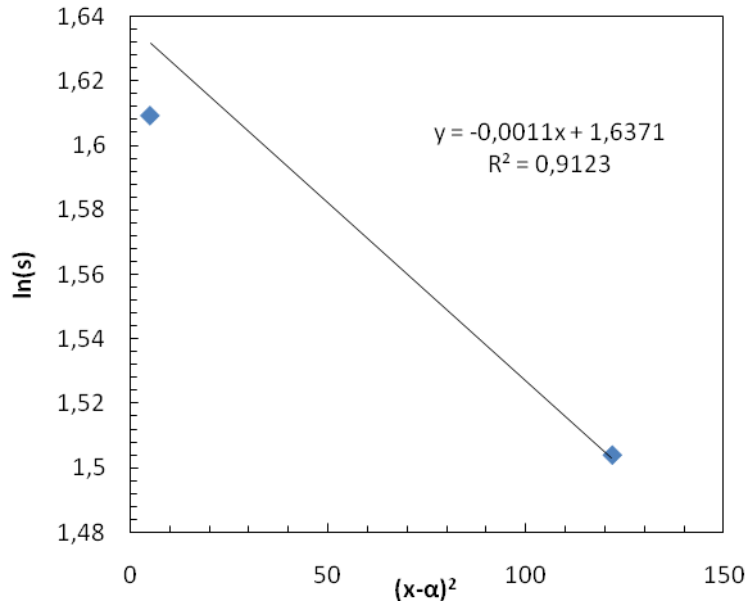
Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	17.67767
$s_{max}(mm)$	4.470052
k	0.667087
$Vs(m^3/m)$	0.198074
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.656076

Πίνακας 18: Δεδομένα ανάλυσης Καθιζήσεων Τελικής κατάστασης στην θέση Χ.Θ.2834,7

Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
	-4.5	-11.036	1.504077397	121.7940914
	-5	-2.25225	1.609437912	5.072640208
TFCS2830_31	-5.14	2.053467	1.637053079	4.216726831
	-5	2.252252	1.609437912	5.072640208
	-4.5	3.603604	1.504077397	12.98595893
TFCS2830_21	-4.2	4.053797	1.435084525	16.43327034
	-4	5.855856	1.386294361	34.2910478
	-3.5	8.108108	1.252762968	65.74141709
TFCS2830_22	-2.62	10.22325	0.963174318	104.5147798
	-3.5	13.73874	1.252762968	188.7529421
	-4	20.04505	1.386294361	401.8038309

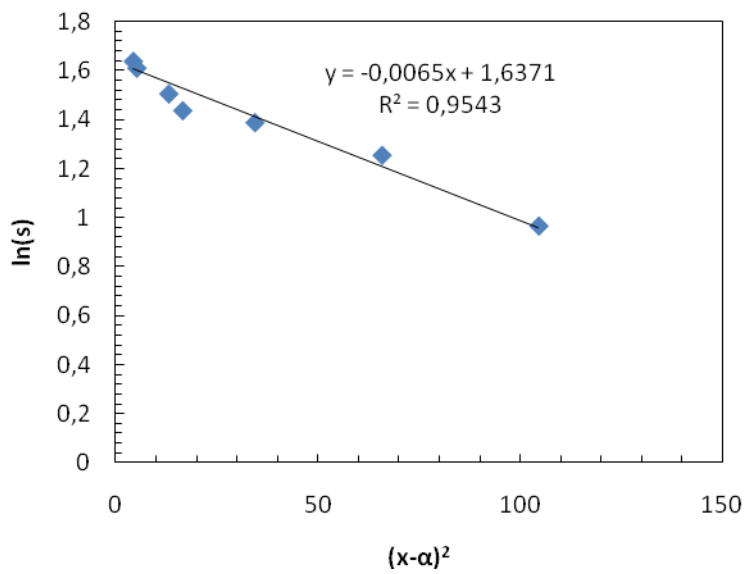
Χ.Θ.2834,7-Τελική Κατάσταση-
Αριστερός Κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	21.32007164
$s_{max}(mm)$	5.140241177
k	0.843293884
$Vs(m^3/m)$	0.27470217
$V(m^3/m)$	30.1907054
$VI(\%)$	0.90988987

Χ.Θ.2834,7-Τελική Κατάσταση-
Δεξιός Κλάδος



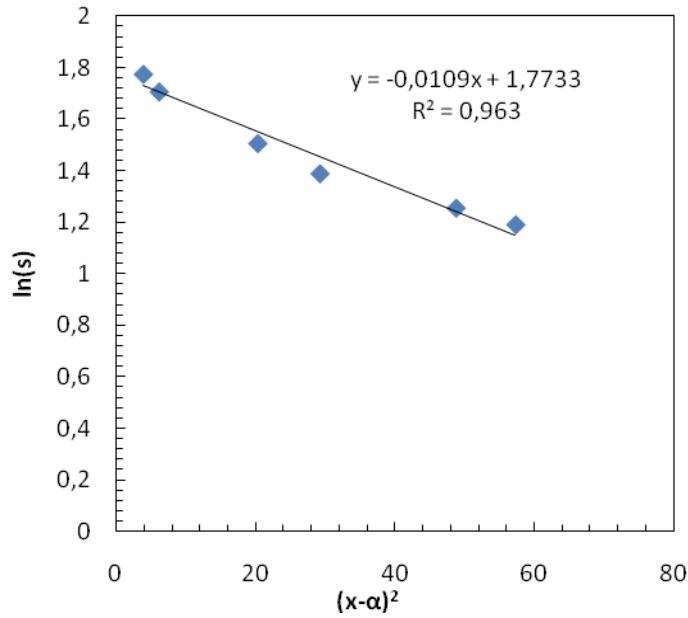
Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	8.77058
$s_{max}(mm)$	5.140241
k	0.346911
$Vs(m^3/m)$	0.113006
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.374307

Πίνακας 19: Δεδομένα ανάλυσης Καθιζήσεων Τελικής κατάστασης στην θέση Χ.Θ.2843,6

Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθήζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
	-3.5	-12.6126	1.252762968	159.0779969
TFCS2843_01	-3.28	-7.57082	1.187843422	57.31736322
	-3.5	-6.98198	1.252762968	48.7480724
	-4	-5.40541	1.386294361	29.2184076
	-4.5	-4.5045	1.504077397	20.29056083
	-5.5	-2.47748	1.704748092	6.137894651
TFCS2843_31	-5.89	-1.96787	1.773255998	3.872524747
TFCS2843_21	-5.23	0.578947	1.654411278	0.335179451
	-5.5	2.477477	1.704748092	6.137894651
TFCS2843_22	-5.16	6.687227	1.640936579	44.7190029
TFCS2843_23	-5.23	15.2427	1.654411278	232.3398072
	-5	16.21622	1.609437912	262.9656684
	-4.5	19.14414	1.504077397	366.498255
	-4	22.2973	1.386294361	497.1694668
	-3.5	25.9009	1.252762968	670.8566675
	-3	31.30631	1.098612289	980.0848145

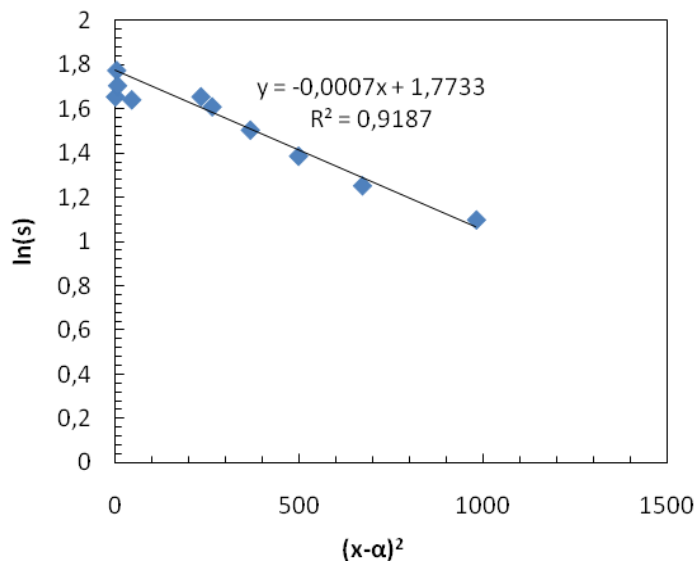
Χ.Θ.2843,6-Τελική Κατάσταση-
Αριστερός Κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	6.772855
$s_{max}(mm)$	5.890259
k	0.265274
$Vs(m^3/m)$	0.099999
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.331225

Χ.Θ.2843,6-Τελική Κατάσταση-
Δεξιός κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

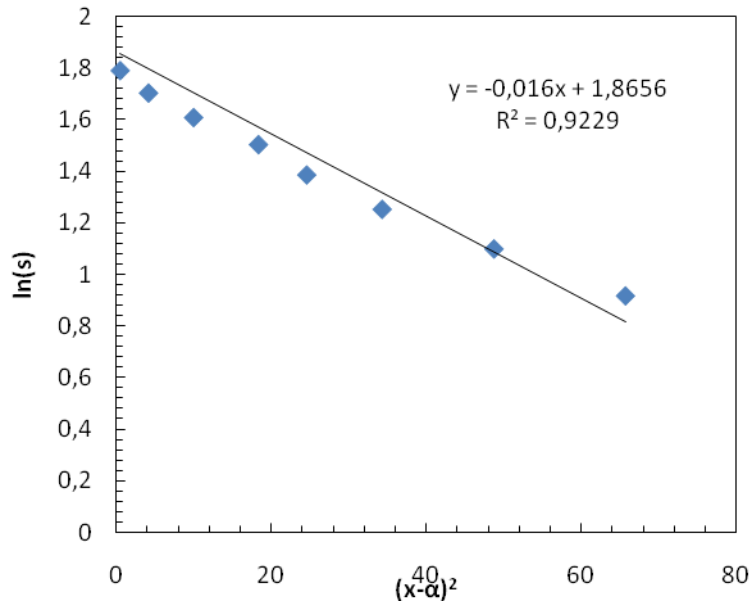
$i(m)$	26.72612419
$s_{max}(mm)$	5.890259179
k	1.046790208
$Vs(m^3/m)$	0.394602944
$V(m^3/m)$	30.1907054
$VI(\%)$	1.307034529

Πίνακας 20: Δεδομένα ανάλυσης Καθιζήσεων Τελικής κατάστασης στην θέση Χ.Θ.2858,5

Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
TFCS2862_12	-2.55	-20.043	0.936093359	401.721412
	-2.5	-18.6937	0.916290732	349.4541839
	-2.5	-8.10811	0.916290732	65.74141709
	-3	-6.98198	1.098612289	48.7480724
	-3.5	-5.85586	1.252762968	34.2910478
	-4	-4.95495	1.386294361	24.55157861
	-4.5	-4.27928	1.504077397	18.31223115
	-5	-3.15315	1.609437912	9.942374807
	-5.5	-2.02703	1.704748092	4.108838568
	-6	-0.67568	1.791759469	0.456537619
	-6	0.675676	1.791759469	0.456537619
TFCS2862_01	-6.46	0.489591	1.865629318	0.23969925
	-5.5	1.351351	1.704748092	1.826150475
	-5	1.801802	1.609437912	3.246489733
	-4.5	2.702703	1.504077397	7.304601899
	-4	3.603604	1.386294361	12.98595893

-3.5	4.504505	1.252762968	20.29056083
-3	5.855856	1.098612289	34.2910478
-2.5	8.783784	0.916290732	77.15485756

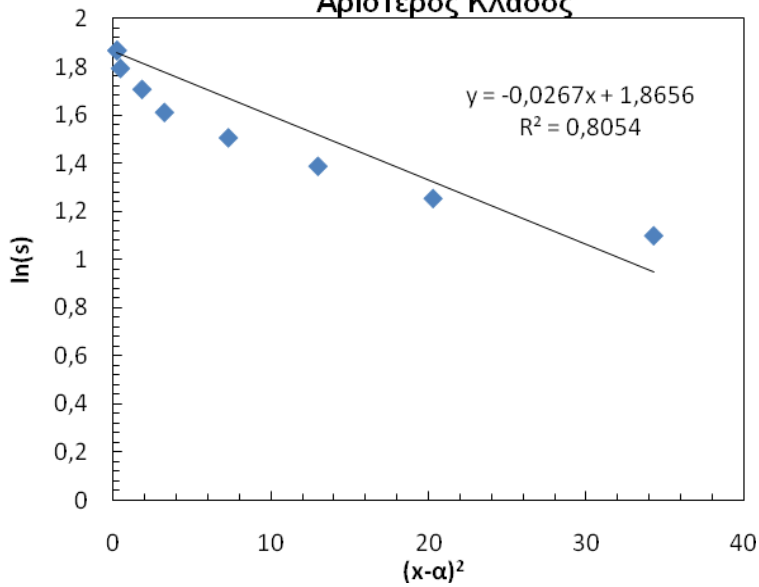
Χ.Θ.2858,5-Τελική Κατάσταση-
Αριστερός Κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	5.590169944
$s_{max}(mm)$	6.45981061
k	0.214912306
$Vs(m^3/m)$	0.090517954
$V(m^3/m)$	30.1907054
$VI(\%)$	0.299820601

Χ.Θ.2858,5-Τελική Κατάσταση-
Αριστερός Κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

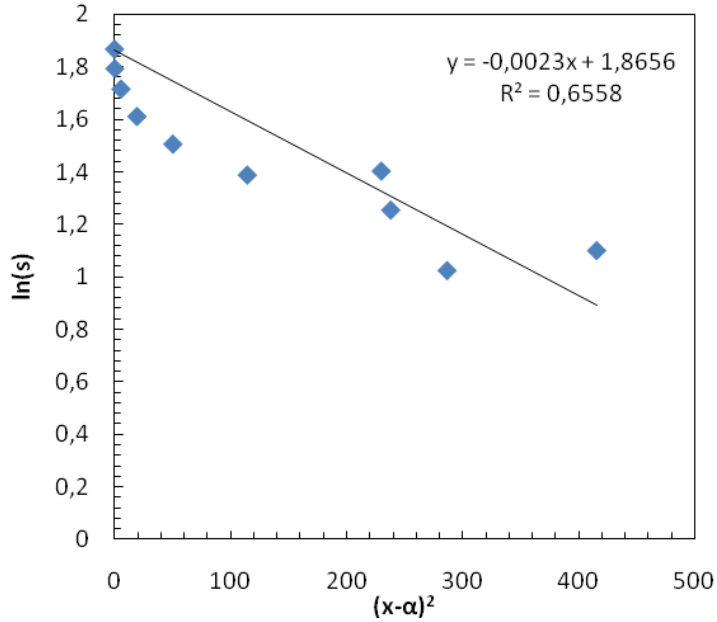
$i(m)$	4.327423224
$s_{max}(mm)$	6.45981061
k	0.16636641
$Vs(m^3/m)$	0.070071125
$V(m^3/m)$	30.1907054
$VI(\%)$	0.232095025

Πίνακας 21: Δεδομένα ανάλυσης Καθιζήσεων Τελικής κατάστασης στην θέση Χ.Θ.2874,6

Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
	-3	-20.3829	1.098612289	415.4619146
TFCS2862_32	-2.78	-16.9297	1.022450928	286.6135372
	-3.5	-15.4279	1.252762968	238.0209601
TFCS2870_12	-4.06	-15.1615	1.401182974	229.8706096
	-4	-10.6982	1.386294361	114.4514447
	-4.5	-7.09459	1.504077397	50.33327246
	-5	-4.39189	1.609437912	19.28871439
	-5.55	-2.36486	1.713797928	5.592585829
	-6	-0.56306	1.791759469	0.317040013
TFCS2870_01	-6.46	-0.16892	1.865629318	0.028535458
	-6	0.563063	1.791759469	0.317040013
	-5.5	3.040541	1.704748092	9.244886779
	-5	8.445946	1.609437912	71.33400292
TFCS2870_22	-4.85	12.46932	1.578978705	155.4838312
	-4.5	12.5	1.504077397	156.25

	-4	14.75225	1.386294361	217.6289465
	-3.5	17.0045	1.252762968	289.1531734
	-3	19.70721	1.098612289	388.3740159
	-2.5	23.08559	0.916290732	532.9442618
TFCS2870_23	-2.11	24.69192	0.746687947	609.6906953

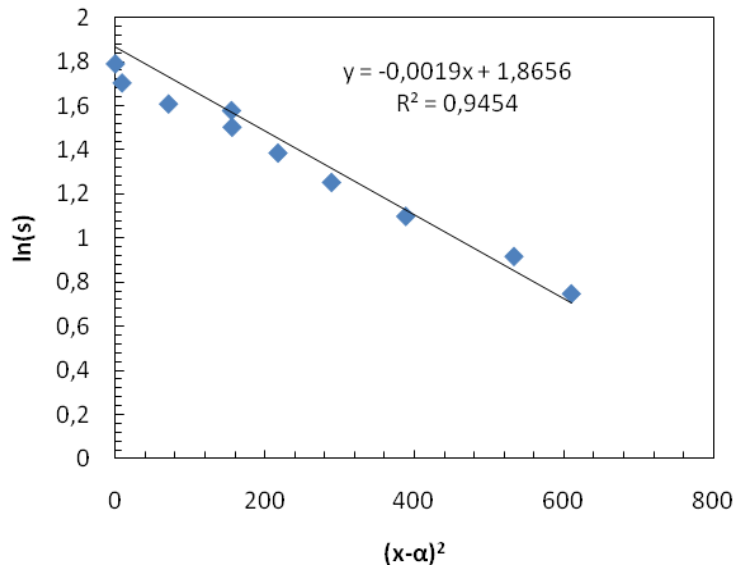
Χ.Θ.2874,6-Τελική Κατάσταση-
Αριστερός Κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	14.7442
$s_{max}(mm)$	6.459811
k	0.556389
$Vs(m^3/m)$	0.238743
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.790783

Χ.Θ.2874,6-Τελική Κατάσταση-
Δεξιός Κλάδος



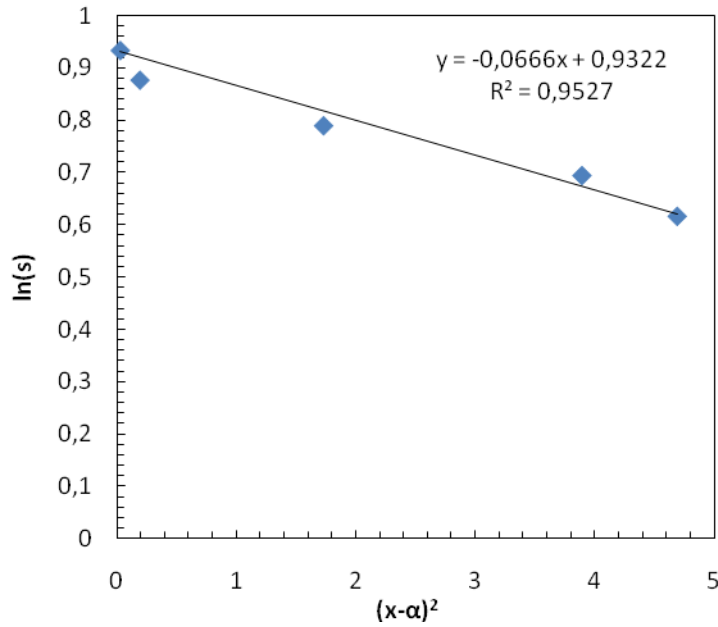
Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	16.22214
$s_{max}(mm)$	6.459811
k	0.612161
$Vs(m^3/m)$	0.262675
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.870051

Πίνακας 22: Δεδομένα ανάλυσης Καθιζήσεων λόγω TBM2 στην θέση Χ.Θ.2834,7

Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
	-2	-7.01754	0.693147181	49.24592182
TFCS2830_31	-1.85	-2.16654	0.615185639	4.693906214
	-2	-1.97368	0.693147181	3.895429363
	-2.2	-1.31579	0.78845736	1.731301939
	-2.4	-0.4386	0.875468737	0.192366882
TFCS2830_21	-2.54	-0.16621	0.932164081	0.027626581
	-2.4	0.438596	0.875468737	0.192366882
	-2.2	1.535088	0.78845736	2.356494306
	-2	2.631579	0.693147181	6.925207756
	-1.8	4.166667	0.587786665	17.361111111
	-1.6	5.701754	0.470003629	32.51000308
TFCS2830_22	-1.57	6.003238	0.451075619	36.03886101
	-1.4	8.114035	0.336472237	65.8375654
	-1.2	11.40351	0.182321557	130.0400123
	-1	16.66667	0	277.7777778

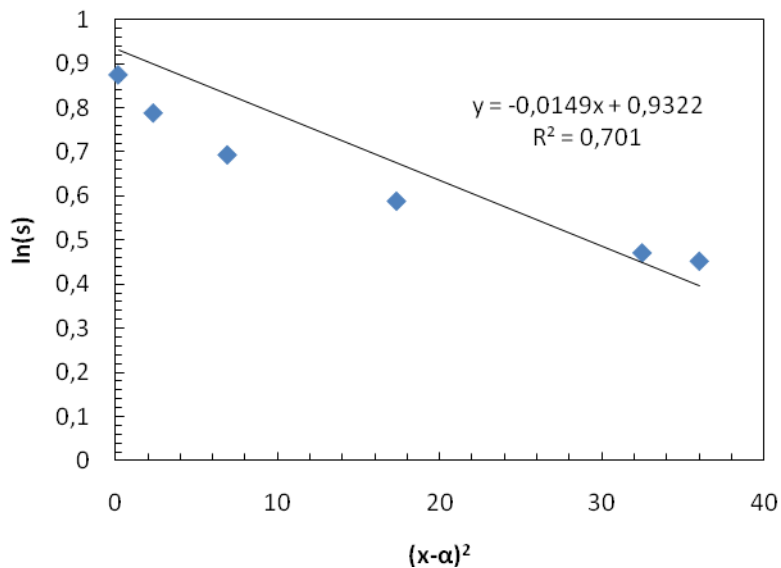
**Χ.Θ.2834,7-Καθιζήσεις λόγω TBM2-
Αριστερός Κλάδος**



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	2.739983
$s_{max}(mm)$	2.540091
k	0.108377
$Vs(m^3/m)$	0.017446
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.057785

**Χ.Θ.2834,7-Καθιζήσεις λόγω TBM2-
Δεξιός Κλάδος**



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	5.7928445
$s_{max}(mm)$	2.5400912
k	0.2291301
$Vs(m^3/m)$	0.0368834
$V(m^3/m)$	30.190705
$VI(\%)$	0.1221681

Πίνακας 23: Δεδομένα ανάλυσης Καθιζήσεων λόγω TBM2 στην θέση Χ.Θ.2843,5

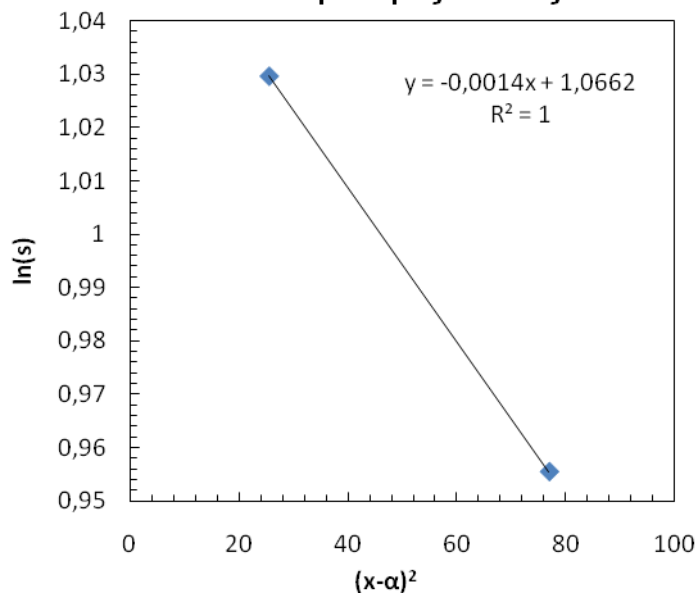
Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
	-2.6	-8.77193	0.955511445	76.94675285
	-2.8	-5.04386	1.029619417	25.44052016
	-3	3.289474	1.098612289	10.82063712
	-3.01	3.717739	1.101940079	13.82158158
	-2.8	5.04386	1.029619417	25.44052016
	-2.6	6.578947	0.955511445	43.28254848
	-2.4	7.894737	0.875468737	62.32686981
TFCS2843_31	-2.2	9.323539	0.78845736	86.92837523
TFCS2843_21	-2.72	11.82717	1.00063188	139.8819212
	-2.2	12.9386	0.78845736	167.4072792
	-2	14.25439	0.693147181	203.1875192
	-1.8	15.57018	0.587786665	242.4303632
	-1.6	16.88596	0.470003629	285.135811
TFCS2843_22	-1.35	17.94279	0.300104592	321.9436689
	-1.4	19.07895	0.336472237	364.0062327
TFCS2843_23	-1.24	26.53564	0.21511138	704.140125

-1.2	26.75439	0.182321557	715.7971684
------	----------	-------------	-------------

-1	29.60526	0	876.4716066
----	----------	---	-------------

-0.8	32.89474	0.223143551	1082.063712
------	----------	-------------	-------------

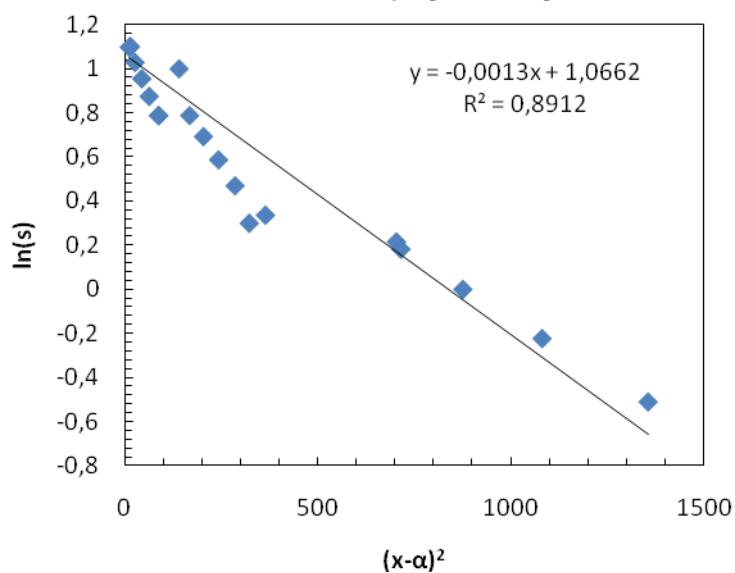
Χ.Θ.2843,5-Καθιζήσεις λόγω TBM2-
Αριστερός Κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	18.89822
$s_{max}(mm)$	2.904322
k	0.740192
$Vs(m^3/m)$	0.13758
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.455704

Χ.Θ.2843,5-Καθιζήσεις λόγω TBM2-
Δεξιός Κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

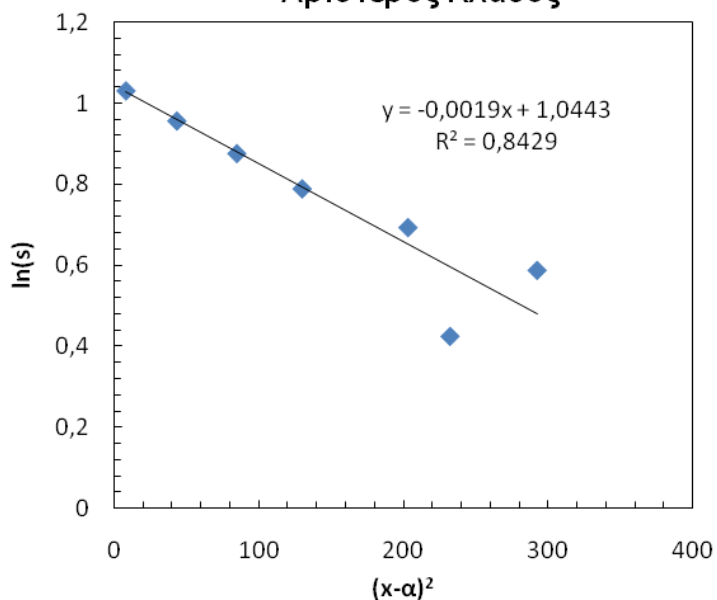
$i(m)$	19.61161
$s_{max}(mm)$	2.904322
k	0.768134
$Vs(m^3/m)$	0.142774
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.472906

Πίνακας 24: Δεδομένα ανάλυσης Καθιζήσεων λόγω TBM2 στην θέση Χ.Θ.2858,5

Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
	-1.6	-21.9298	0.470003629	480.9172053
	-1.8	-17.1053	0.587786665	292.5900277
TFCS2862_12	-1.53	-15.2421	0.425267735	232.3226981
	-2	-14.2544	0.693147181	203.1875192
	-2.2	-11.4035	0.78845736	130.0400123
	-2.4	-9.21053	0.875468737	84.83379501
	-2.6	-6.57895	0.955511445	43.28254848
	-2.8	-2.85088	1.029619417	8.127500769
	-2.8	2.850877	1.029619417	8.127500769
TFCS2862_01	-2.64	5.290444	0.970778917	27.9888018
	-2.4	6.798246	0.875468737	46.21614343
	-2	9.429825	0.693147181	88.92159126
	-1.6	12.5	0.470003629	156.25
	-1.2	15.57018	0.182321557	242.4303632
	-0.8	19.07895	0.223143551	364.0062327
	-0.6	21.05263	0.510825624	443.2132964

	-0.4	23.46491	0.916290732	550.6021083
TFCS2862_23	-0.18	23.73575	1.714798428	563.3860363
	-0.2	28.28947	1.609437912	800.2943213
TFCS2862_24	0.1	34.39808	-	1183.228209

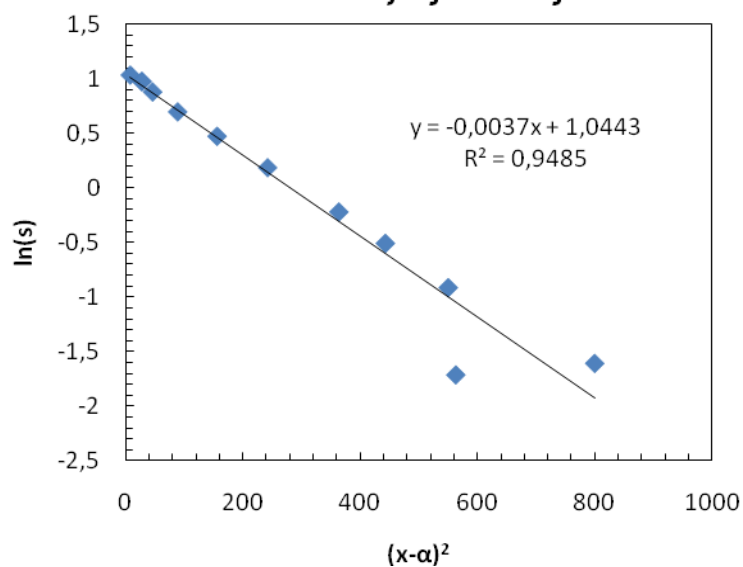
**Χ.Θ.2858,5-Καθιζήσεις λόγω ΤΒΜ2-
Αριστερός Κλάδος**



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	16.22214
$s_{max}(mm)$	2.841409
k	0.623655
$Vs(m^3/m)$	0.11554
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.3827

**Χ.Θ.2858,5-Καθιζήσεις λόγω ΤΒΜ2-
Δεξιός Κλάδος**



Υπολογιζόμενα μεγέθη

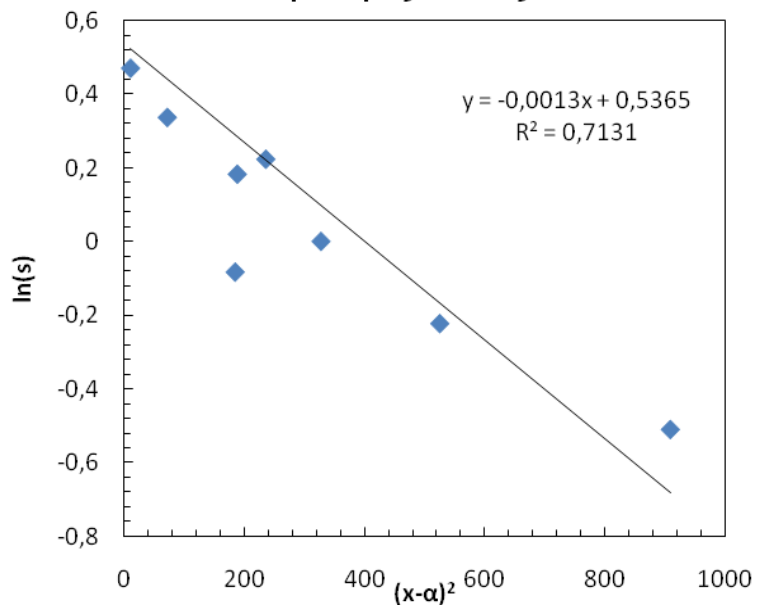
$i(m)$	11.62476
$s_{max}(mm)$	2.841409
k	0.44691
$Vs(m^3/m)$	0.082796
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.274242

Πίνακας 25: Δεδομένα ανάλυσης Καθιζήσεων λόγω TBM2 στην θέση Χ.Θ.2874,5

Κωδικός Χωροσταθμικού	Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
	-0.6	-30.1535	0.510825624	909.2340913
	-0.8	-22.9167	0.223143551	525.1736111
	-1	-18.0921	0	327.3242729
TFCS2862_32	-1.25	-15.3442	0.223143551	235.4443929
	-1.2	-13.7061	0.182321557	187.8582833
TFCS2870_12	-0.92	-13.576	0.083381609	184.3082476
	-1.4	-8.44298	0.336472237	71.28395275
	-1.6	-3.17982	0.470003629	10.11128424
TFCS2870_01	-1.71	1.416543	0.536493371	2.006593027
	-1.6	3.179825	0.470003629	10.11128424
	-1.4	5.592105	0.336472237	31.27164127
	-1.2	7.785088	0.182321557	60.6075908
	-1	9.758772	-9.99201E-16	95.23362958
	-0.8	11.51316	0.223143551	132.5528047
	-0.6	13.70614	0.510825624	187.8582833
TFCS2870_22	-0.62	14.05478	0.478035801	197.5369148

	-0.4	16.55702	0.916290732	274.1348299
	-0.2	21.38158	1.609437912	457.1719183
TFCS2870_23	-0.12	26.27738	2.120263536	690.500838

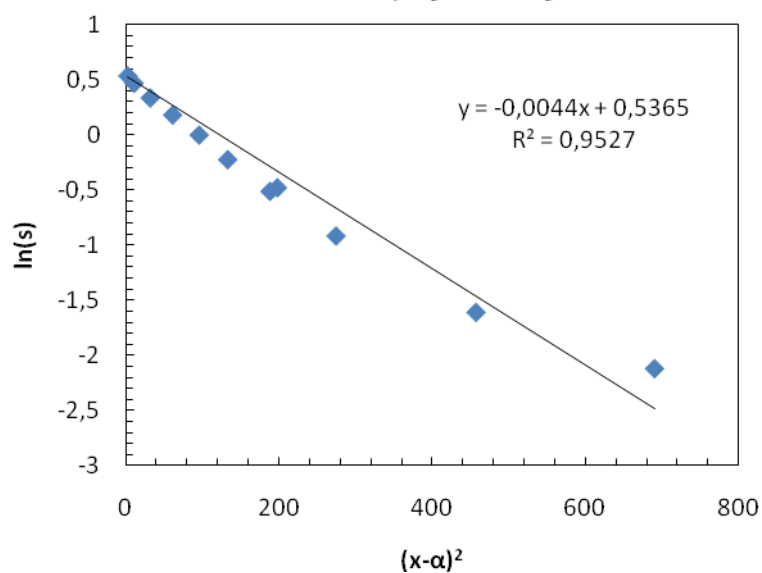
**Χ.Θ.2874,5-Καθιζήσεις TBM2-
Αριστερός Κλάδος**



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	19.61161
$s_{max}(mm)$	1.710011
k	0.740066
$Vs(m^3/m)$	0.084062
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.278438

**Χ.Θ.2874.5-Καθιζήσεις TBM2-
Δεξιός Κλάδος**



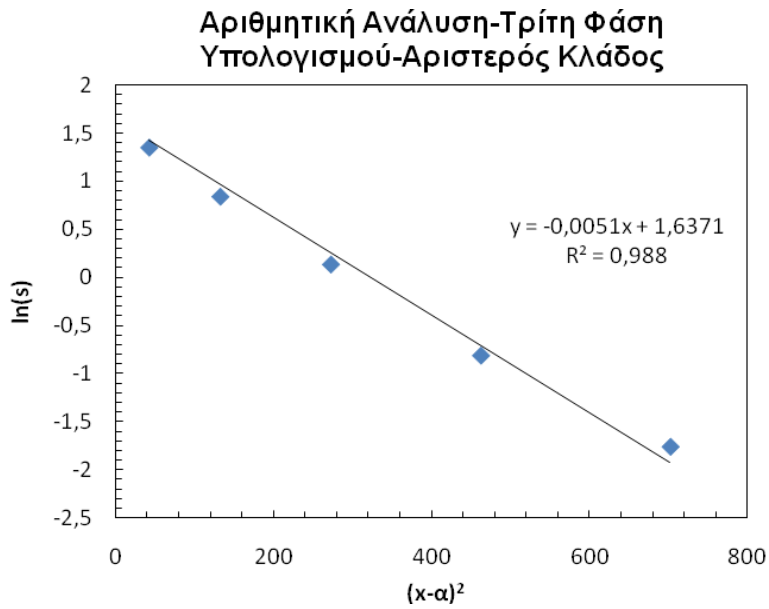
Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	10.66004
$s_{max}(mm)$	1.710011
k	0.402269
$Vs(m^3/m)$	0.045693
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.151347

Επεξεργασία αποτελεσμάτων Αριθμητικής Ανάλυσης

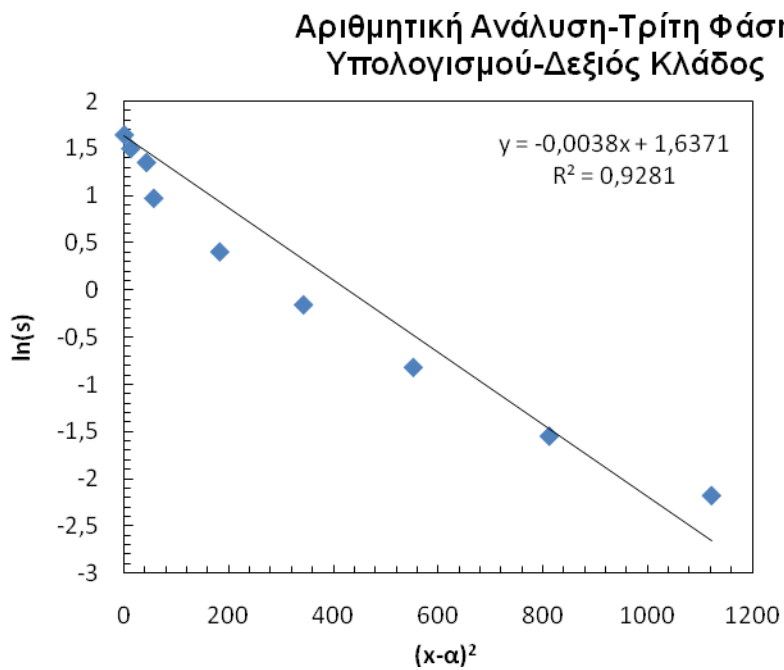
Πίνακας 26: Δεδομένα ανάλυσης αποτελεσμάτων Αριθμητικής Ανάλυσης κατά την Τρίτη Φάση Υπολογισμού.

Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-a) (m)	Ln(s)	(x-a) ²
-0.17085873	-26.5	-1.766918229	702.25
-0.44138504	-21.5	-0.817837674	462.25
-1.13905817	-16.5	0.130201756	272.25
-2.3065928	-11.5	0.835771456	132.25
-3.84432133	-6.5	1.34659708	42.25
-5.14	0.0	1.637053079	0
-4.44944598	3.5	1.49277959	12.25
-2.63407202	7.5	0.968530946	56.25
-1.49501385	13.5	0.402135471	182.25
-0.85429363	18.5	-0.157480317	342.25
-0.44138504	23.5	-0.817837674	552.25
-0.21357341	28.5	-1.543774678	812.25
-0.11390582	33.5	-2.172383337	1122.25



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	9.901475
$s_{max}(mm)$	5.14
k	0.36651
$Vs(m^3/m)$	0.127577
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.422571



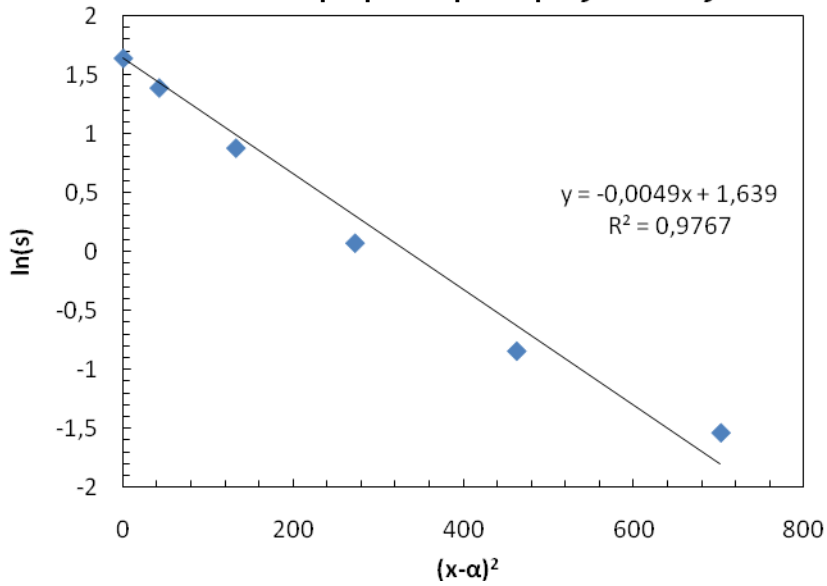
Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	11.47079
$s_{max}(mm)$	5.14
k	0.424599
$Vs(m^3/m)$	0.147797
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.489546

Πίνακας 27: Δεδομένα ανάλυσης αποτελεσμάτων Αριθμητικής Ανάλυσης κατά την Τέταρτη Φάση Υπολογισμού.

Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
-0.21458333	-26.5	-1.539057116	702.25
-0.42916667	-21.5	-0.845909935	462.25
-1.07291667	-16.5	0.070380797	272.25
-2.40333333	-11.5	0.876856663	132.25
-4.00555556	-6.5	1.387682286	42.25
-5.15	0.0	1.638996715	0
-4.50625	3.5	1.505465322	12.25
-2.14583333	8.5	0.763527977	72.25
-1.55930556	13.5	0.444240565	182.25
-0.85833333	18.5	-0.152762755	342.25
-0.42916667	23.5	-0.845909935	552.25
-0.21458333	28.5	-1.539057116	812.25

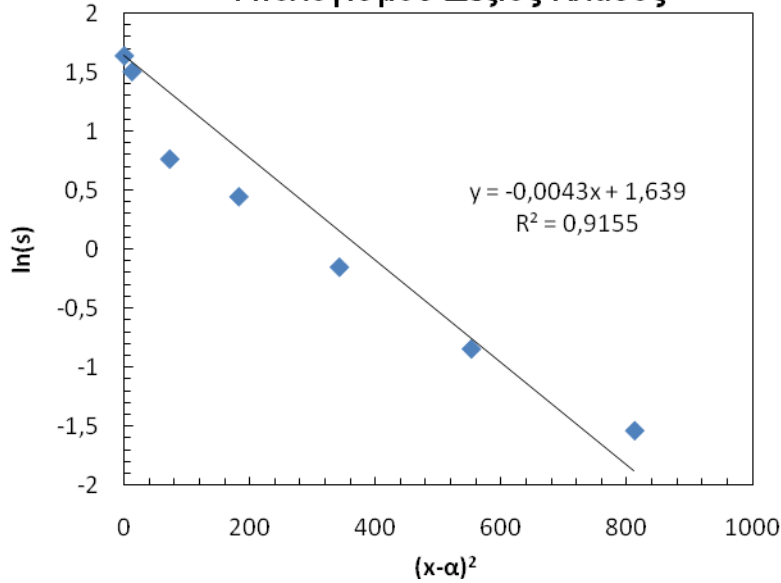
**Αριθμητική Ανάλυση-Τέταρτη Φάση
Υπολογισμού-Αριστερός Κλάδος**



Υπολογιζόμενα
μεγέθη

$i(m)$	10.10153
$s_{max}(mm)$	5.15
k	0.373915
$Vs(m^3/m)$	0.130402
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.431929

**Αριθμητική Ανάλυση-Τέταρτη Φάση
Υπολογισμού-Δεξιός Κλάδος**



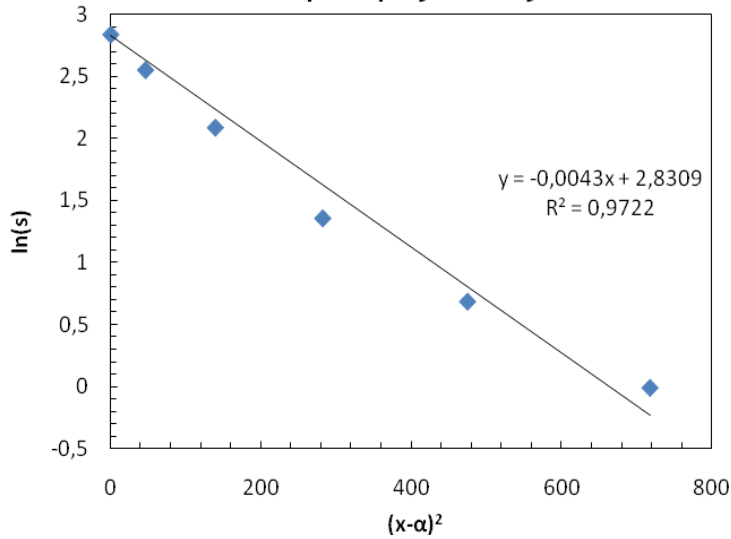
Υπολογιζόμενα
μεγέθη

$i(m)$	10.78328
$s_{max}(mm)$	5.15
k	0.39915
$Vs(m^3/m)$	0.139203
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	0.46108

Πίνακας 28: Δεδομένα ανάλυσης αποτελεσμάτων Αριθμητικής Ανάλυσης κατά την Πέμπτη Φάση Υπολογισμού.

Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
-0.99208914	-26.8	-0.00794232	718.24
-1.98417827	-21.8	0.68520486	475.24
-3.87387187	-16.8	1.354254489	282.24
-8.03119777	-11.8	2.083333679	139.24
-12.7554318	-6.8	2.545957201	46.24
-16.96	0.0	2.83085763	0
-15.8261838	3.2	2.761665774	10.24
-12.5192201	8.2	2.527265068	67.24
-8.03119777	13.2	2.083333679	174.24
-3.82662953	17.2	1.341984397	295.84
-2.00779944	23.2	0.697039318	538.24
-1.1810585	28.2	0.166411067	795.24
-0.7086351	33.2	-0.344414557	1102.24

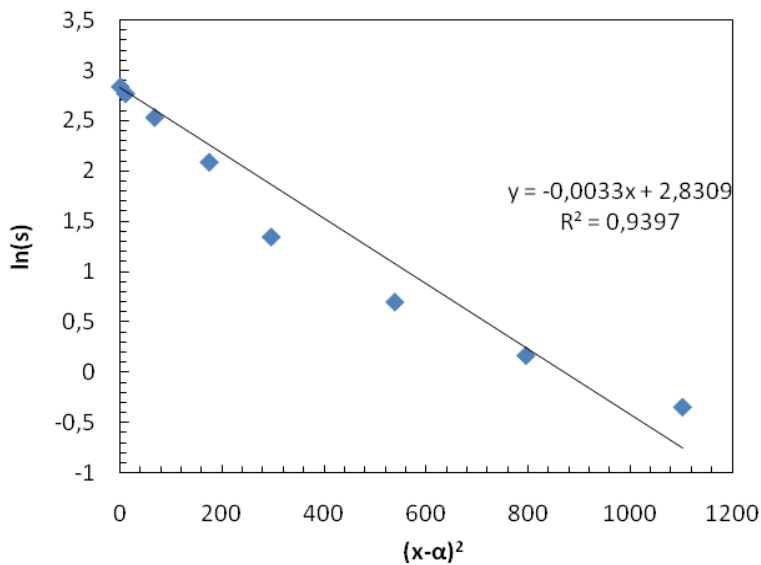
Αριθμητική Ανάλυση-Πέμπτη Φάση Υπολογισμού-Αριστερός Κλάδος



Υπολογιζόμενα
μεγέθη

$i(m)$	10.78328
$s_{max}(mm)$	16.96
k	0.39915
$Vs(m^3/m)$	0.458443
$V(m^3/m)$	60.38141
$VI(\%)$	0.759245

Αριθμητική Ανάλυση-Πέμπτη Φάση Υπολογισμού-Δεξιός Κλάδος



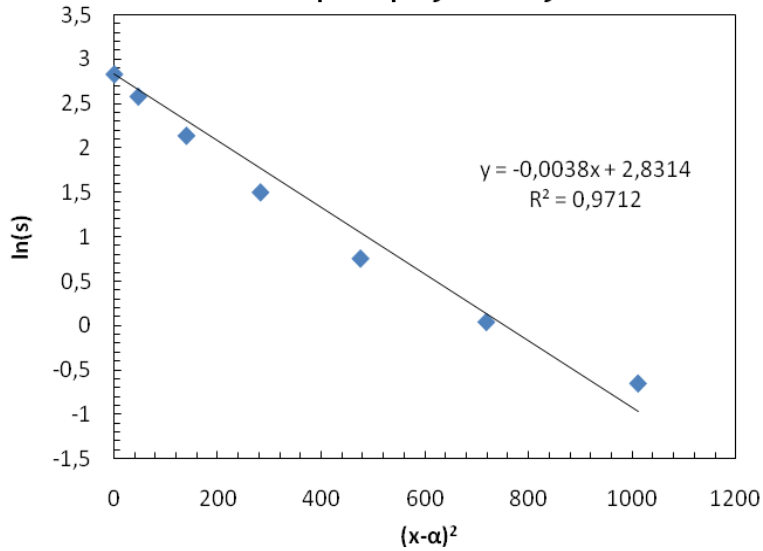
Υπολογιζόμενα
μεγέθη

$i(m)$	12.30915
$s_{max}(mm)$	16.96
k	0.455631
$Vs(m^3/m)$	0.523314
$V(m^3/m)$	60.38141
$VI(\%)$	0.86668

Πίνακας 29: Δεδομένα ανάλυσης αποτελεσμάτων Αριθμητικής Ανάλυσης κατά την Έκτη Φάση Υπολογισμού.

Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
-0.51852778	-31.8	-0.656761679	1011.24
-1.03705556	-26.8	0.036385501	718.24
-2.12125	-21.8	0.752005538	475.24
-4.47819444	-16.8	1.499219939	282.24
-8.485	-11.8	2.138299899	139.24
-13.1988889	-6.8	2.580132651	46.24
-16.97	0.0	2.831447079	0
-16.0272222	3.2	2.774288665	10.24
-12.2561111	8.2	2.506024679	67.24
-7.77791667	13.2	2.051288522	174.24
-3.29972222	18.2	1.19383829	331.24
-2.35694444	22.2	0.857366053	492.84
-1.17847222	28.2	0.164218873	795.24
-0.70708333	33.2	-0.346606751	1102.24

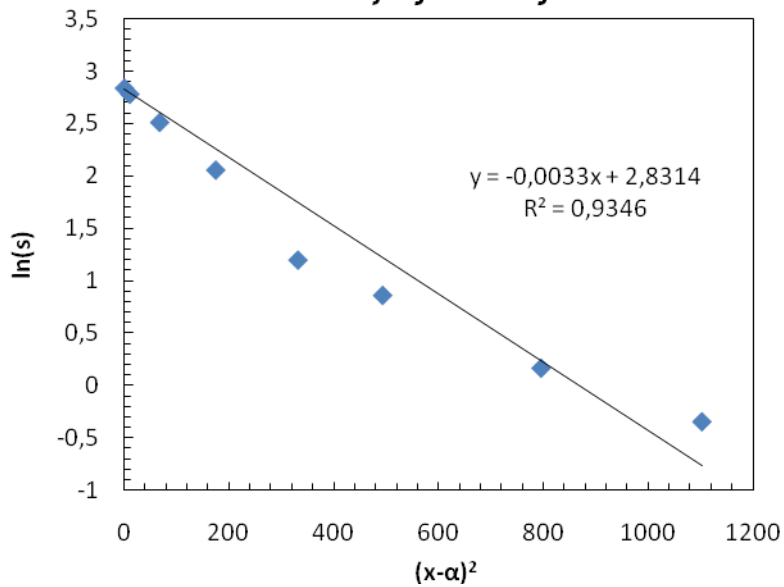
Αριθμητική Ανάλυση-Έκτη Φάση Υπολογισμού-
Αριστερός Κλάδος



Υπολογιζόμενα
μεγέθη

$i(m)$	11.47079
$s_{max}(mm)$	16.97
k	0.424599
$Vs(m^3/m)$	0.487915
$V(m^3/m)$	60.38141
$VI(\%)$	0.808056

Αριθμητική Ανάλυση-Έκτη Φάση Υπολογισμού-
Δεξιός Κλάδος



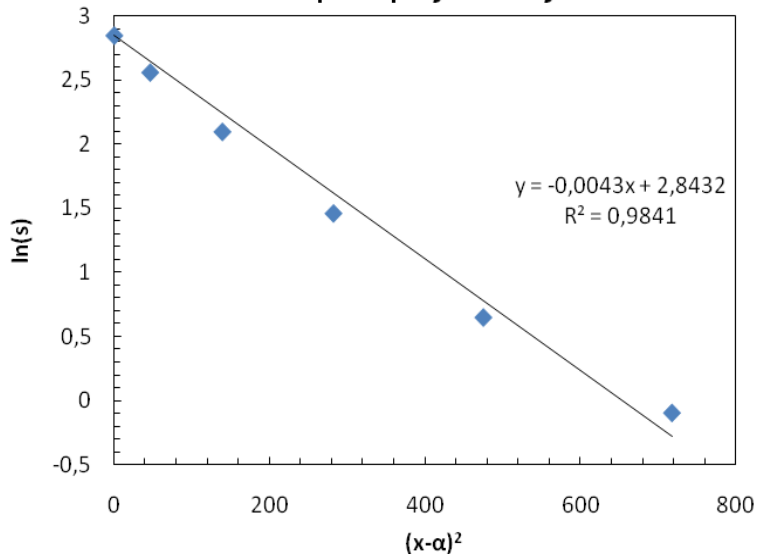
Υπολογιζόμενα
μεγέθη

$i(m)$	12.30915
$s_{max}(mm)$	16.97
k	0.455631
$Vs(m^3/m)$	0.523576
$V(m^3/m)$	60.38141
$VI(\%)$	0.867114

Πίνακας 30: Δεδομένα ανάλυσης αποτελεσμάτων Αριθμητικής Ανάλυσης κατά την Έβδομη Φάση Υπολογισμού.

Καθίζηση (s) (mm)	Διορθωμένη Απόσταση (x-α) (m)	Ln(s)	(x-α) ²
-0.90619444	-26.8	-0.098501377	718.24
-1.90777778	-21.8	0.645939098	475.24
-4.2925	-16.8	1.456869314	282.24
-8.10805556	-11.8	2.092858081	139.24
-12.8775	-6.8	2.555481602	46.24
-17.17	0.0	2.843163675	0
-16.2161111	3.2	2.786005261	10.24
-8.53730556	13.2	2.144445449	174.24
-3.86325	17.2	1.351508798	295.84
-2.14625	23.2	0.763722133	538.24
-1.43083333	28.2	0.358257025	795.24
-0.90619444	33.2	-0.098501377	1102.24

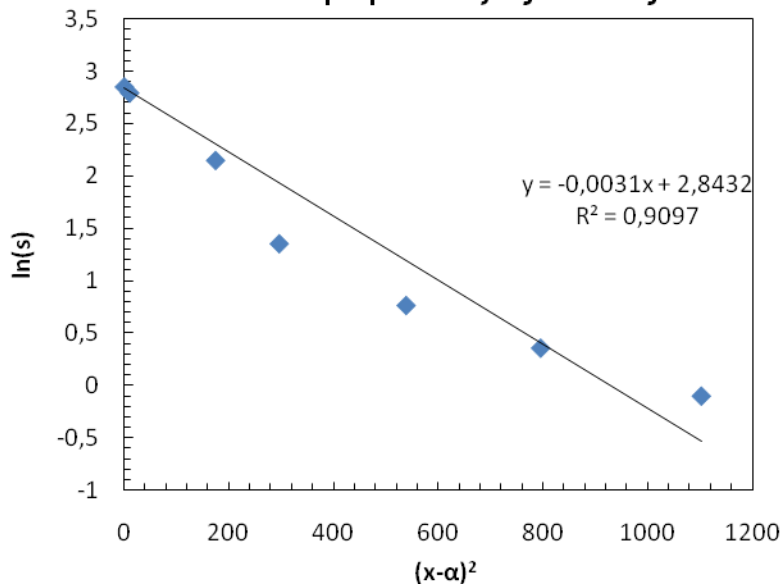
Αριθμητική Ανάλυση-Εβδομη Φάση Υπολογισμού-Αριστερός Κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

$i(m)$	10.78328
$s_{max}(mm)$	17.17
k	0.39915
$Vs(m^3/m)$	0.464116
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	1.537282

Αριθμητική Ανάλυση- Εβδομη Φάση Υπολογισμού-Δεξιός Κλάδος



Υπολογιζόμενα μεγέθη

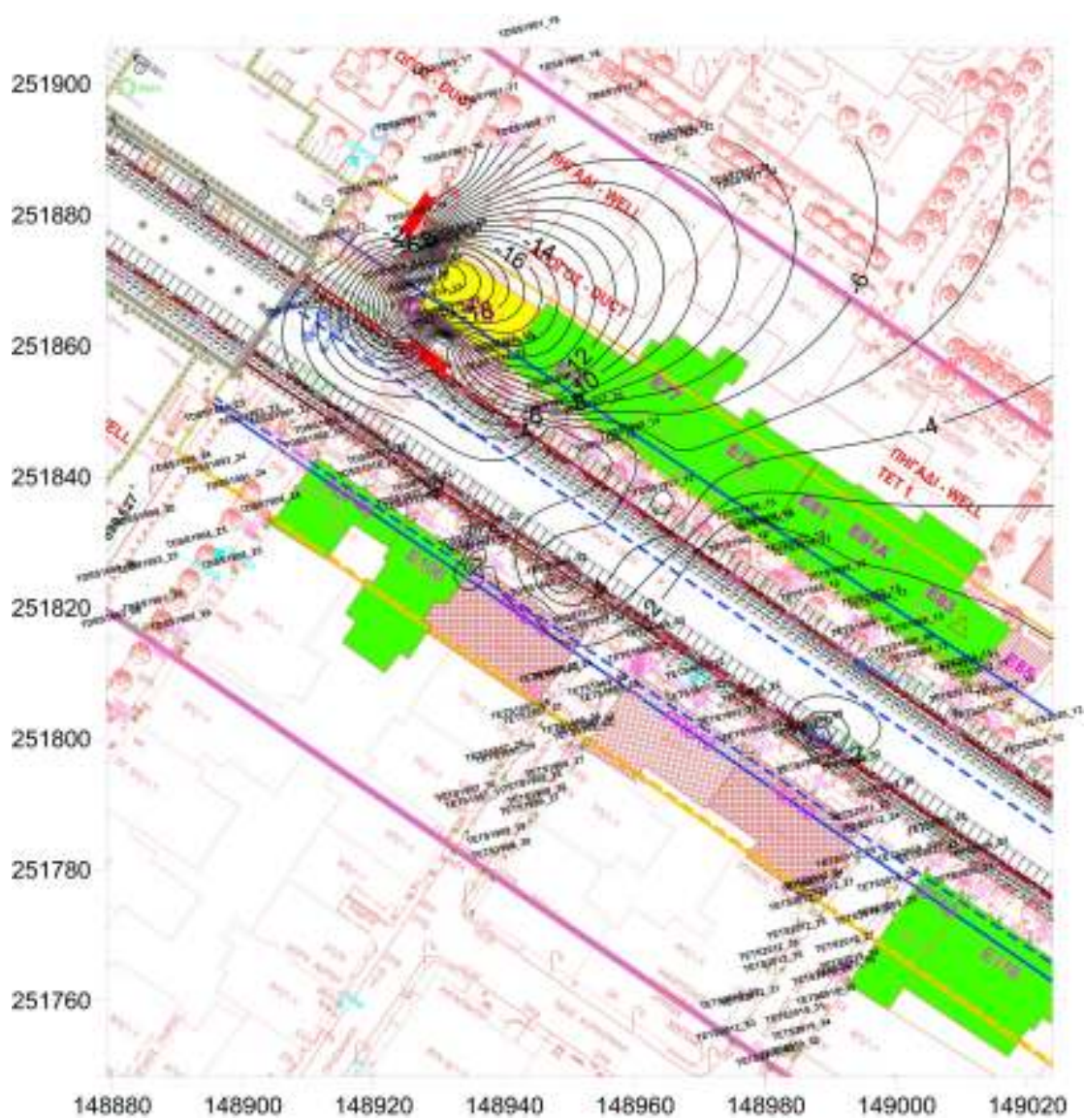
$i(m)$	12.70001
$s_{max}(mm)$	17.17
k	0.470099
$Vs(m^3/m)$	0.546613
$V(m^3/m)$	30.19071
$VI(\%)$	1.810535

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ k ΚΑΤΑ SELBY

ΥΠΟΤΜΗΜΑ	Χωροσταθμικό	Θέση	Αριθμός Δακτυλίου Επίευδσης	Βάθος Σήραγγας (σε μέτρα) (m)	Βάθος στον Άξονα της Σήραγγας	Βάθος Υδροφόρου (m)	Σχηματισμός	Βάθος		Πάχος	zm	k		
								Από	Έως			zm	k	
1907_1935	TETS1994_99	1995.8616	1208	22.2988	25.3988	6.05-6.35	T.E.	0	9.74	9.74	0	9.74	0.35	
							A2c	9.74	38.39	28.65	9.74	25.3988	15.6588	0.5
2340_2392	TETS2361_99	2362.5219	1453	24.0656	27.1656	3.73-3.93	T.E.	0	5.51	5.51	0	5.51	0.35	
							A2b	5.51	16.41	10.9	5.51	16.41	10.9	0.5
							A2c	16.41	???	???	16.41	27.1656	10.7556	0.5
2400_2469	TETS2448_99	2444.8829	1508	21.4617	24.5617	4.84-5.10	T.E.	0	7.15	7.15	0	7.15	0.35	
							A2c	7.15	12.67	5.52	7.15	12.67	5.52	0.5
							A2b	12.67	35.56	22.89	12.67	24.5617	11.8917	0.5
							A2c	35.56	???	???	35.56	???	???	0.5
2400_2469	TETS2453_12	2451.4892	1512	21.303	24.403	4.74-4.98	T.E.	0	7.31	7.31	0	7.31	0.35	
							A2c	7.31	12.34	5.03	7.31	12.34	5.03	0.5
							A2b	12.34	34.67	22.33	12.34	24.403	12.063	0.5
							A2c	34.67	???	???	34.67	???	???	0.5
2400_2469	TETS2483_99	2483.3064	1533	20.306	23.406	4.33-4.56	T.E.	0	7.98	7.98	0	7.98	0.35	
							A2c	7.98	10.37	2.39	7.98	10.37	2.39	0.5
							A2b	10.37	24.17	13.8	10.37	23.406	13.036	0.5
							A2c	24.17	???	???	24.17	???	???	0.5
2830_2870	TFC2830_31	2834.6589	1768	22.3319	25.4319	1.53-1.56	T.E.	0	3.66	3.66	0	3.66	0.35	
							A2a	3.66	7.54	3.88	3.66	7.54	3.88	0.5
							A2b	7.54	17.06	9.52	7.54	17.06	9.52	0.5
							A2c	17.06	???	???	17.06	25.4319	8.3719	0.5
2830_2870	TFC2843_31	2843.6394	1774	22.5815	25.6815	1.39-1.48	T.E.	0	3.44	3.44	0	3.44	0.35	
							A2a	3.44	7.78	4.34	3.44	7.78	4.34	0.5
							A2b	7.78	17.27	9.49	7.78	17.27	9.49	0.5
							A2c	17.27	???	???	17.27	25.6815	8.4115	0.5
2830_2870	TFC2862_01	2858.5078	1784	23.0614	26.1614	1.16-1.31	T.E.	0	2.23	2.23	0	2.23	0.35	
							A2a	2.23	11.98	9.75	2.23	11.98	9.75	0.5
							A2b	11.98	19.26	7.28	11.98	19.26	7.28	0.5
							A2c	19.26	???	???	19.26	26.1614	6.9014	0.5
2830_2870	TFC2870_01	2874.6241	1794	23.55	26.65	0.97-1.16	T.E.	0	2.32	2.32	0	2.32	0.35	
							A2a	2.32	12.01	9.69	2.32	12.01	9.69	0.5
							A2b	12.01	19.27	7.26	12.01	19.27	7.26	0.5
							A2c	19.27	???	???	19.27	26.65	7.38	0.5

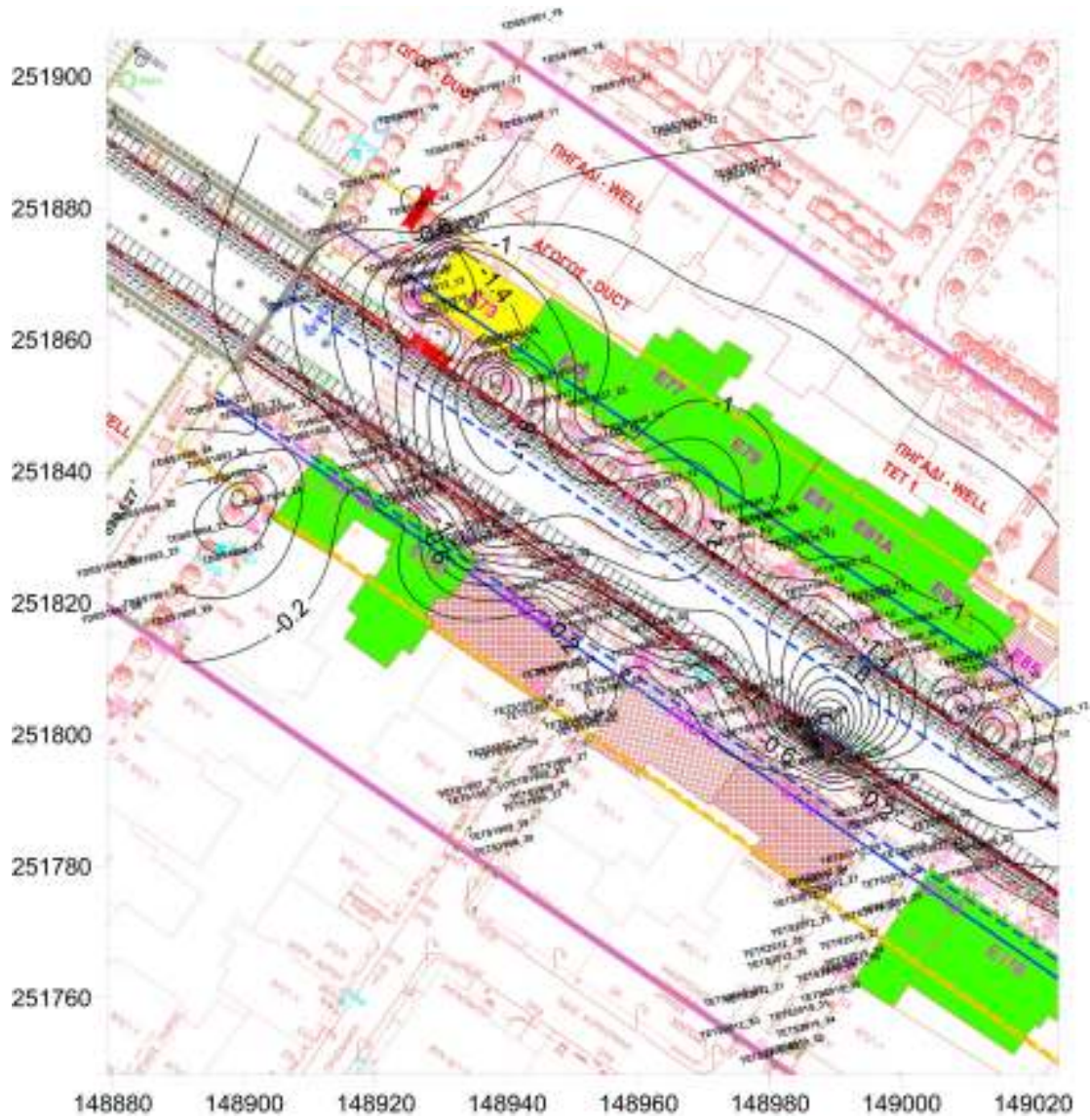
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ ΙΣΟΥΨΕΙΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ

Περιοχή από Χ.Θ. 1907 έως .Χ.Θ. 2000



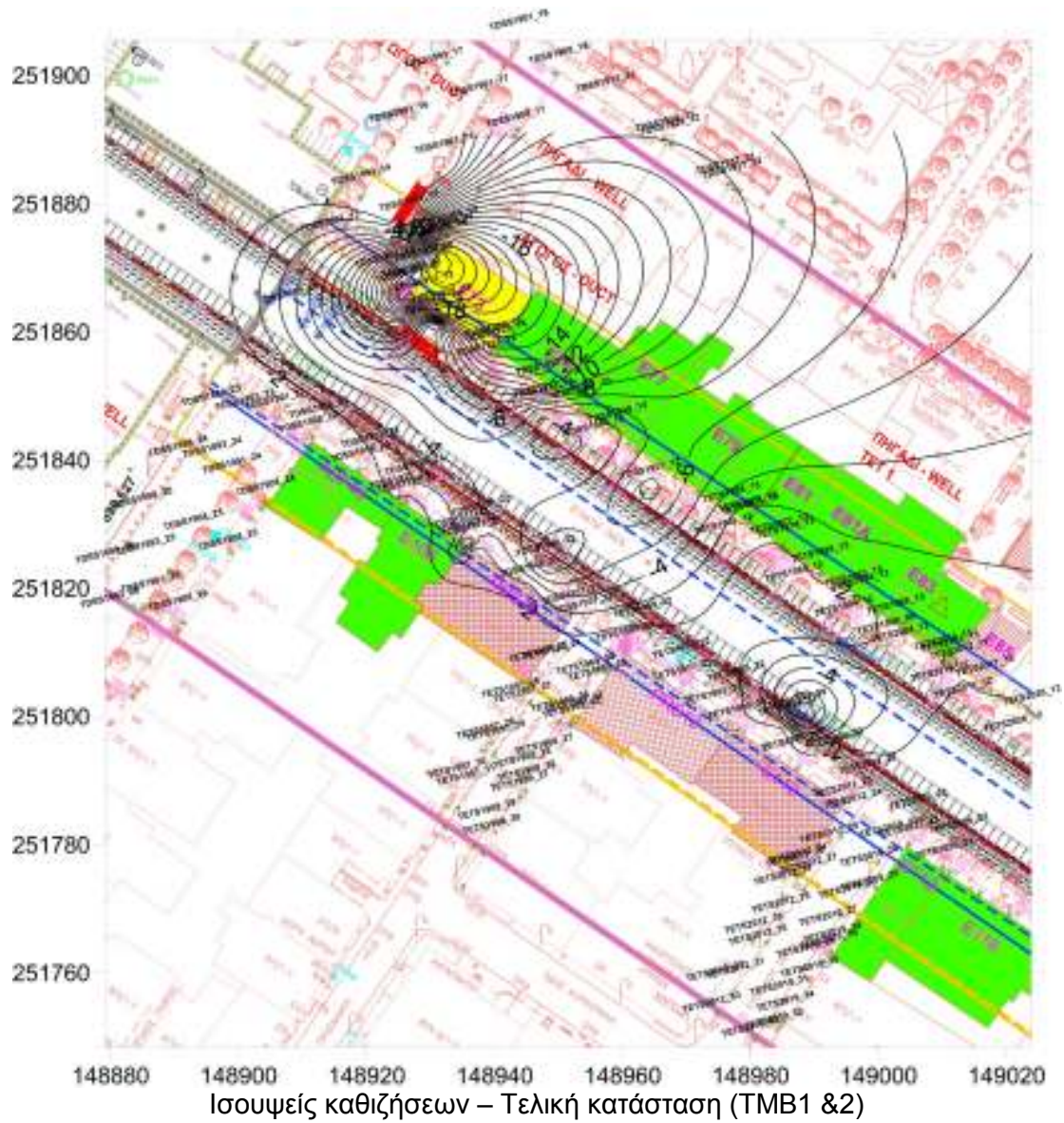
Ισουψείς καθιζήσεων λόγω TBM 1

Περιοχή από Χ.Θ. 1907 έως .Χ.Θ. 2000

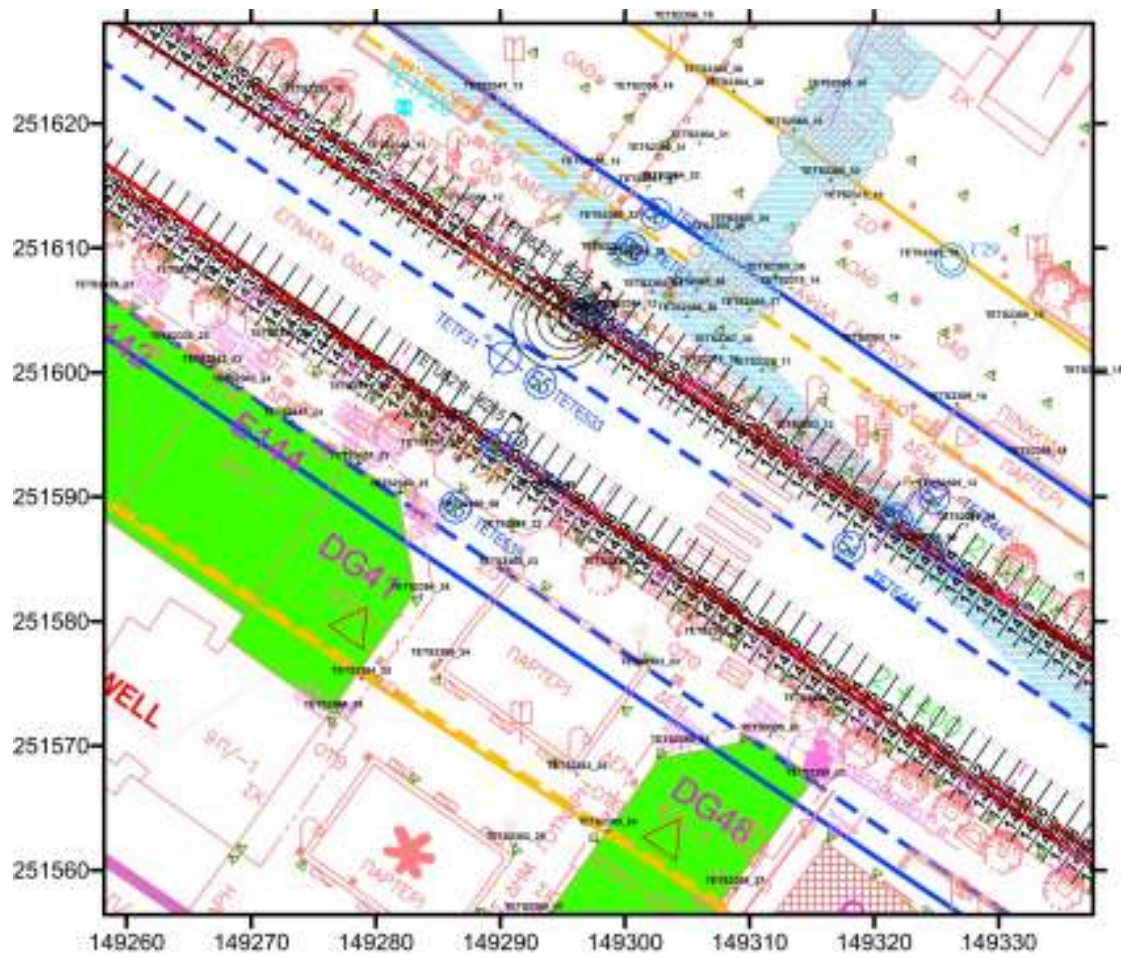


Ισουψείς καθιζήσεων λόγω TBM2

Περιοχή από Χ.Θ. 1907 εως
.Χ.Θ.2000

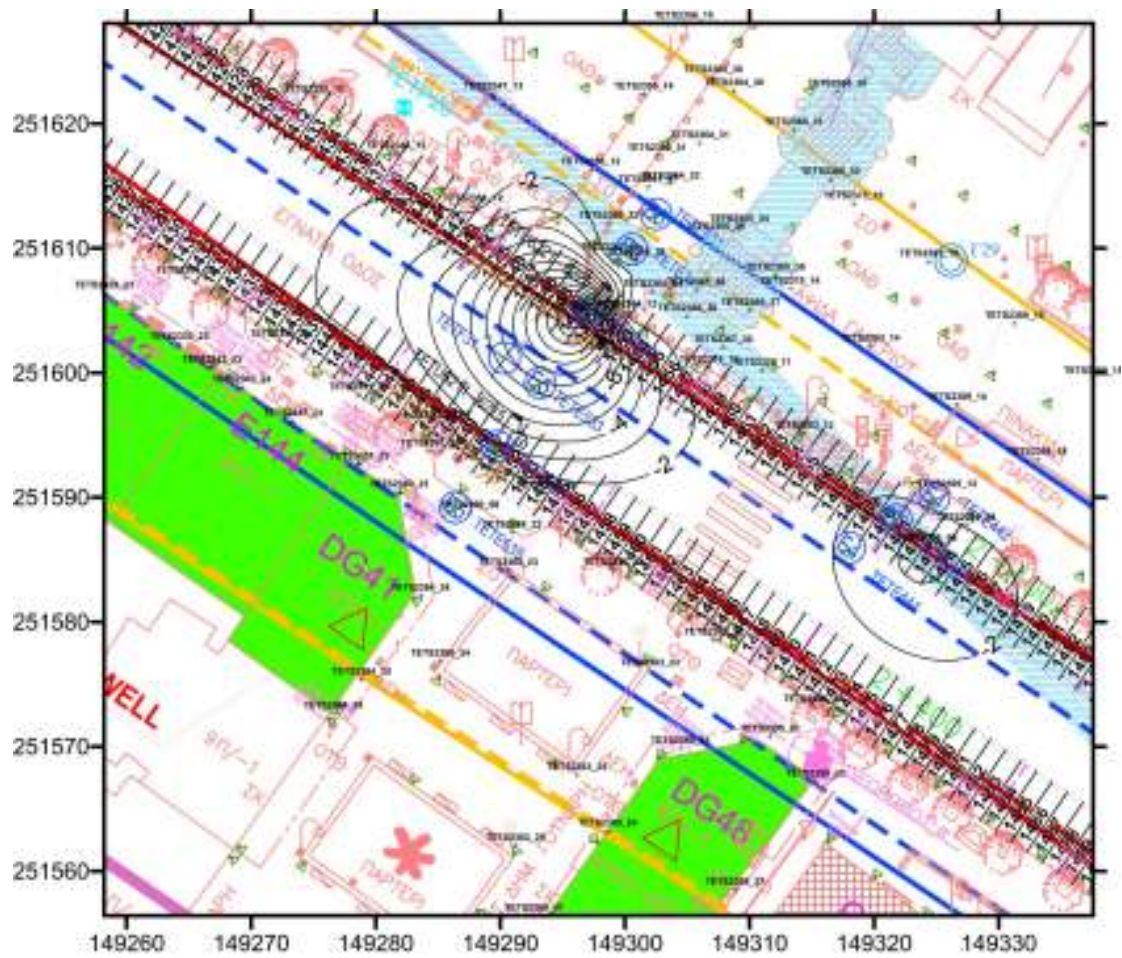


Ισοψείς καθιζήσεων- Περιοχή από Χ.Θ 2340 έως Χ.Θ. 2392



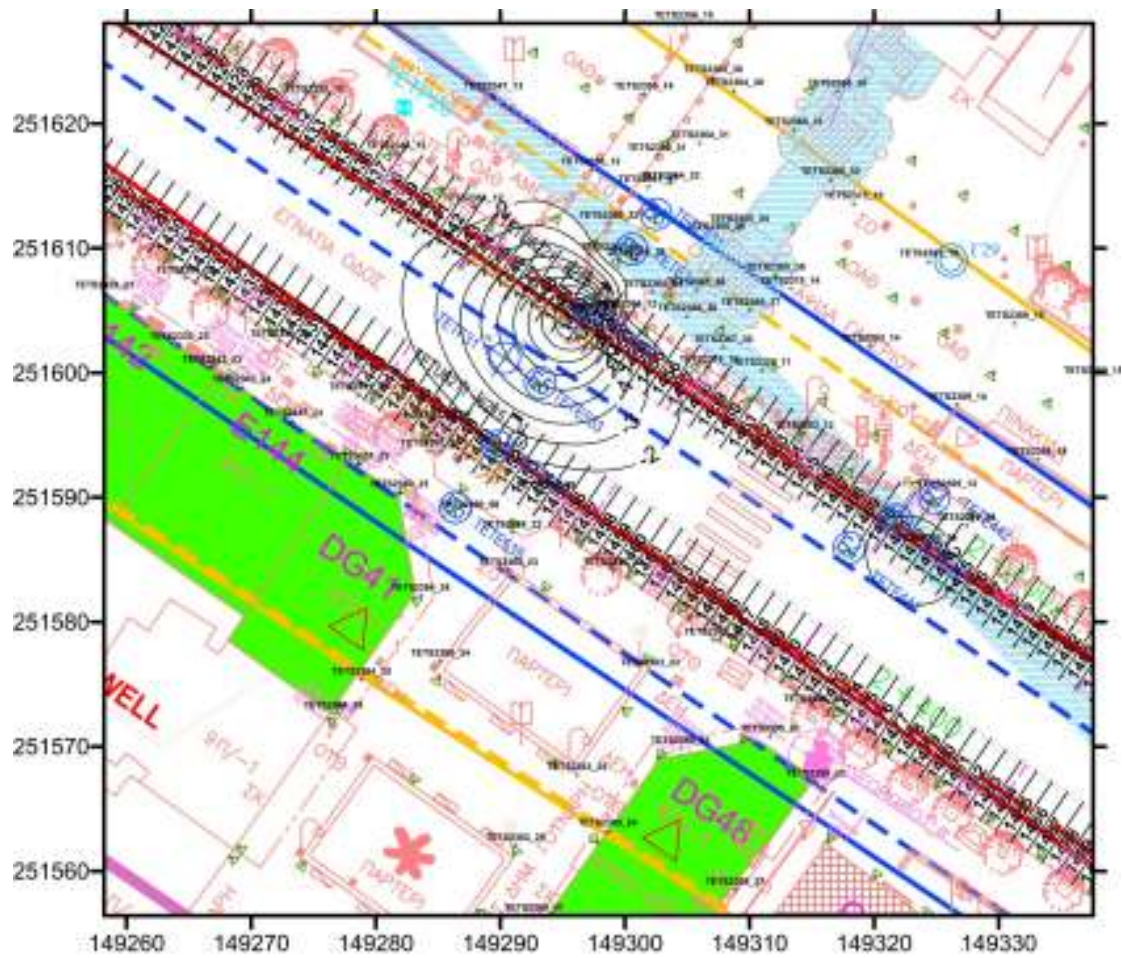
Ισοψείς καθιζήσεων λόγω TBM 1

Ισοψείς καθιζήσεων- Περιοχή από Χ.Θ 2340 έως Χ.Θ. 2392



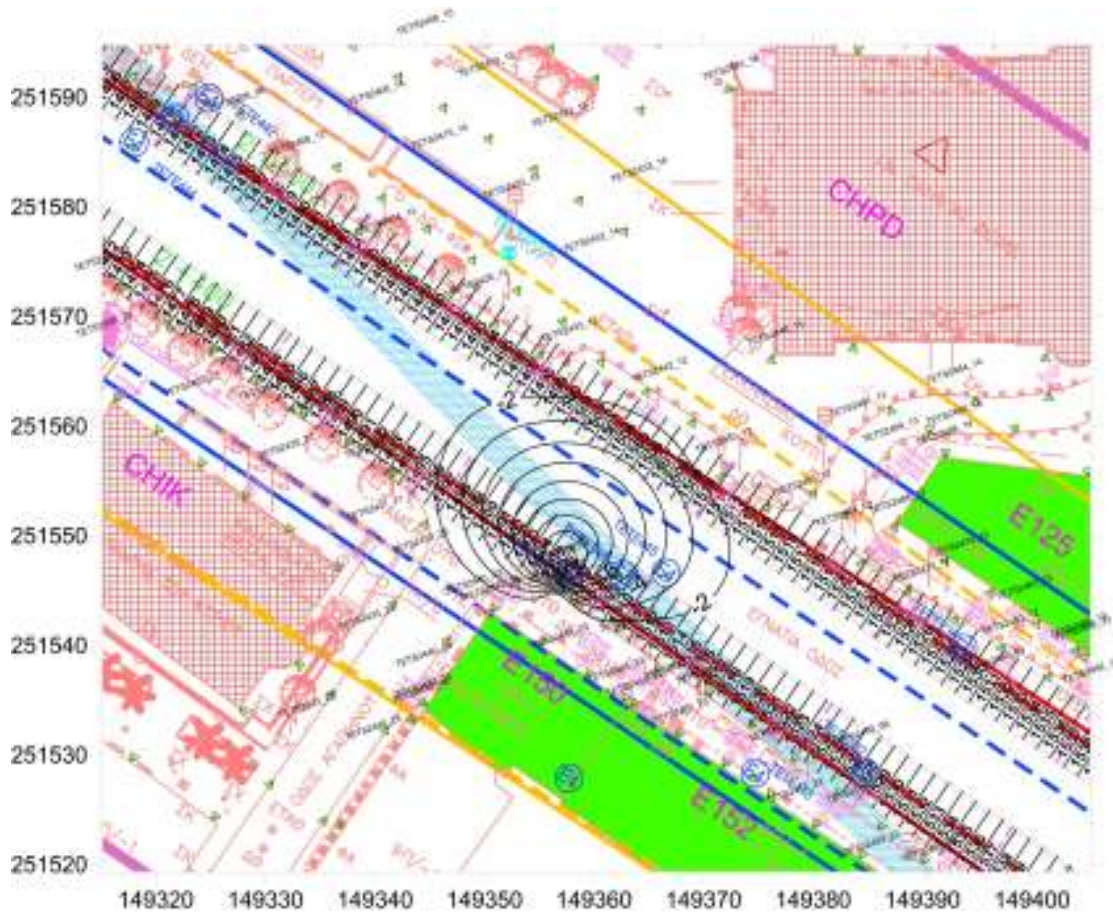
Ισοψείς καθιζήσεων – Τελική κατάσταση (TBM1& TBM2)

Ισοψείς καθιζήσεων- Περιοχή από Χ.Θ 2340 έως Χ.Θ. 2392



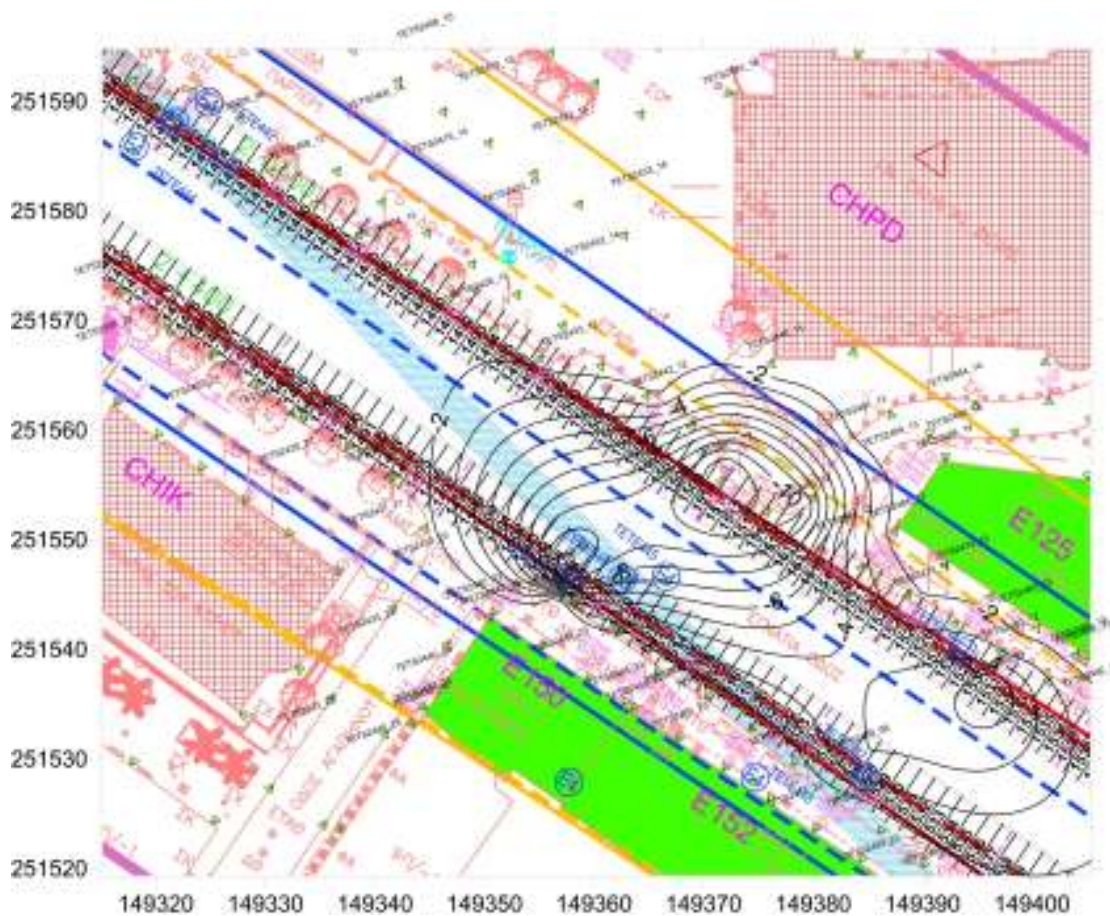
Ισοψείς καθιζήσεων λόγω ΤΒΜ 2

Ισουψείς καθιζήσεων –Περιοχή από Χ.Θ. 2400 έως Χ.Θ. 2469



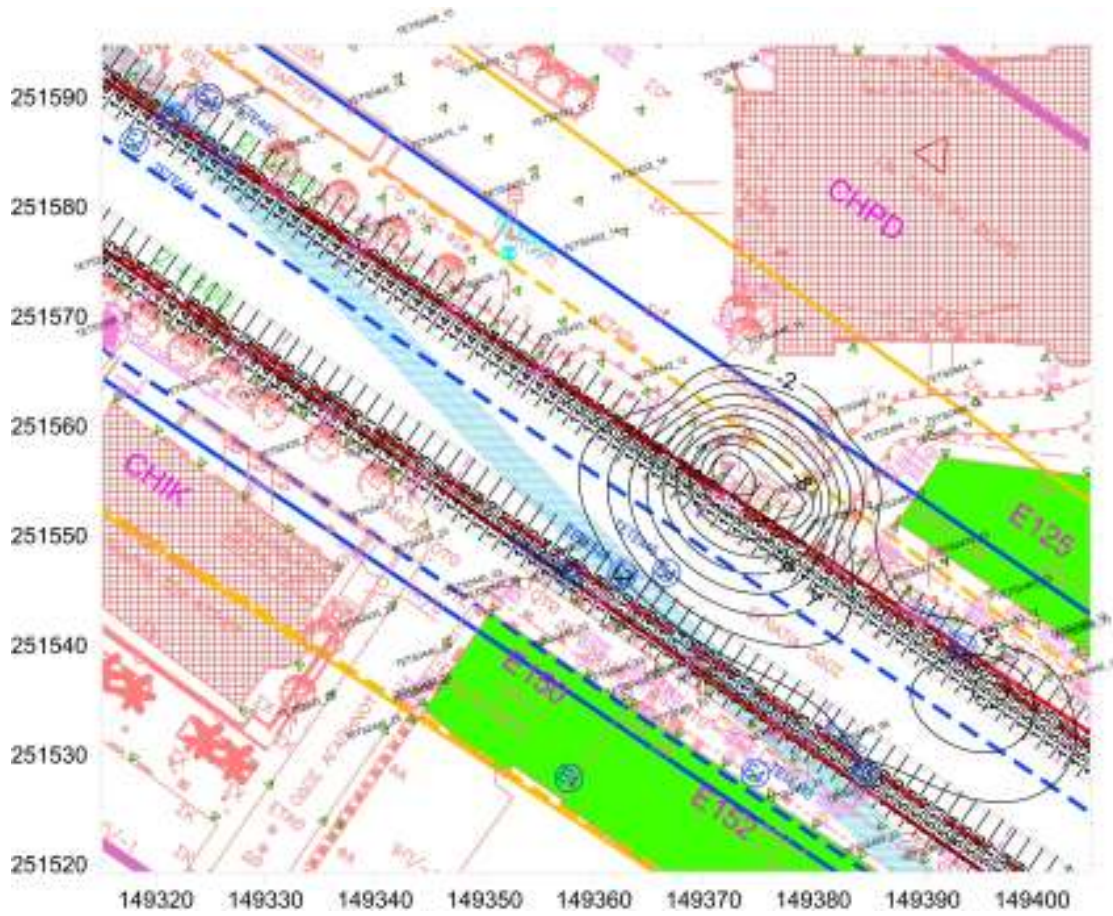
Ισουψείς καθιζήσεων λόγω TBM 1

Ισοψείς καθιζήσεων –Περιοχή από Χ.Θ. 2400 έως Χ.Θ. 2469



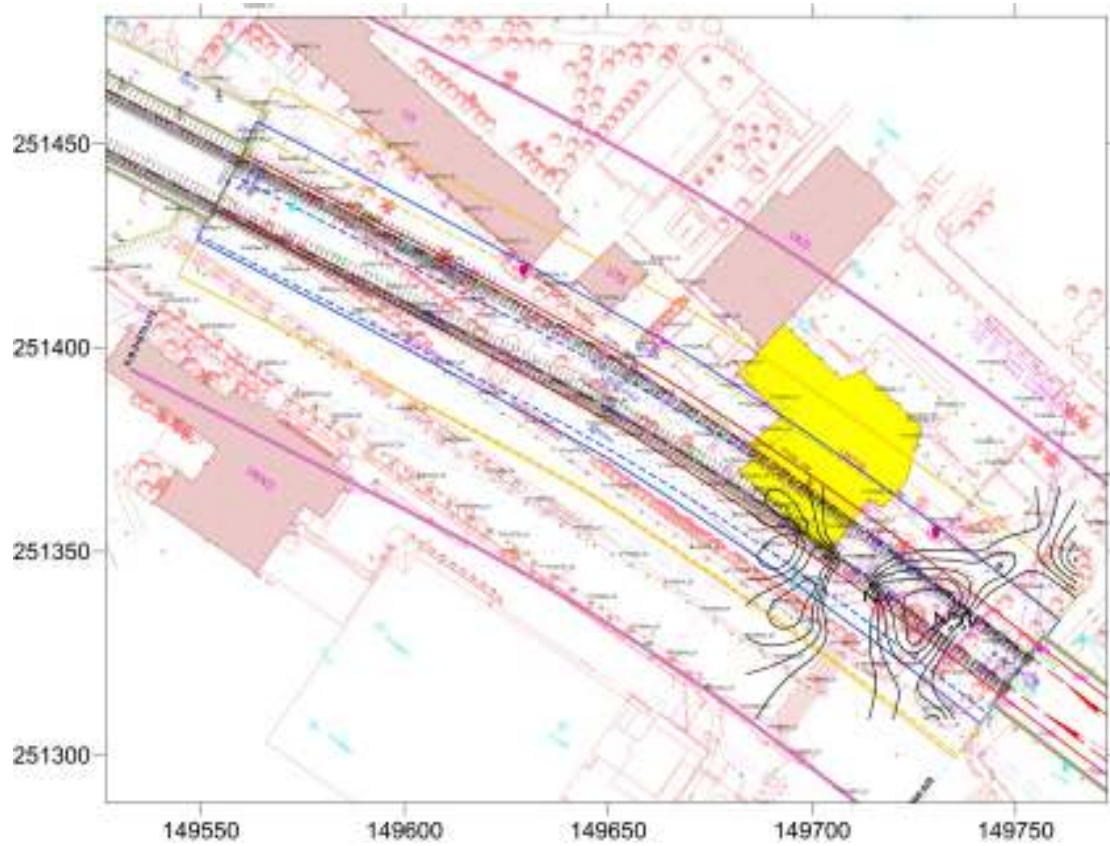
Ισοψείς καθιζήσεων- Τελική κατάσταση (ΤΒΜ1&2)

Ισοψείς καθιζήσεων –Περιοχή από Χ.Θ. 2400 έως Χ.Θ. 2469



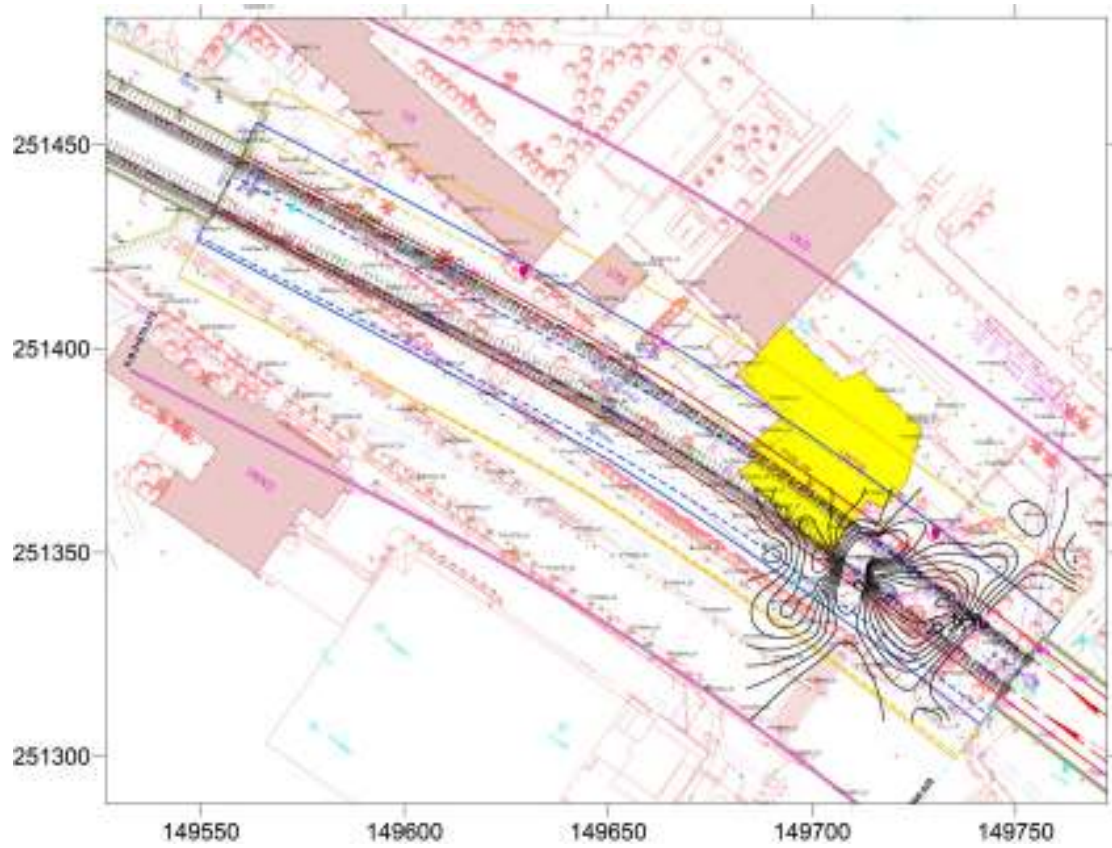
Ισοψείς καθιζήσεων λόγω TBM 2

Ισουψείς καθιζήσεων Περιοχής από Χ.Θ. 2830 έως Χ.Θ. 2870



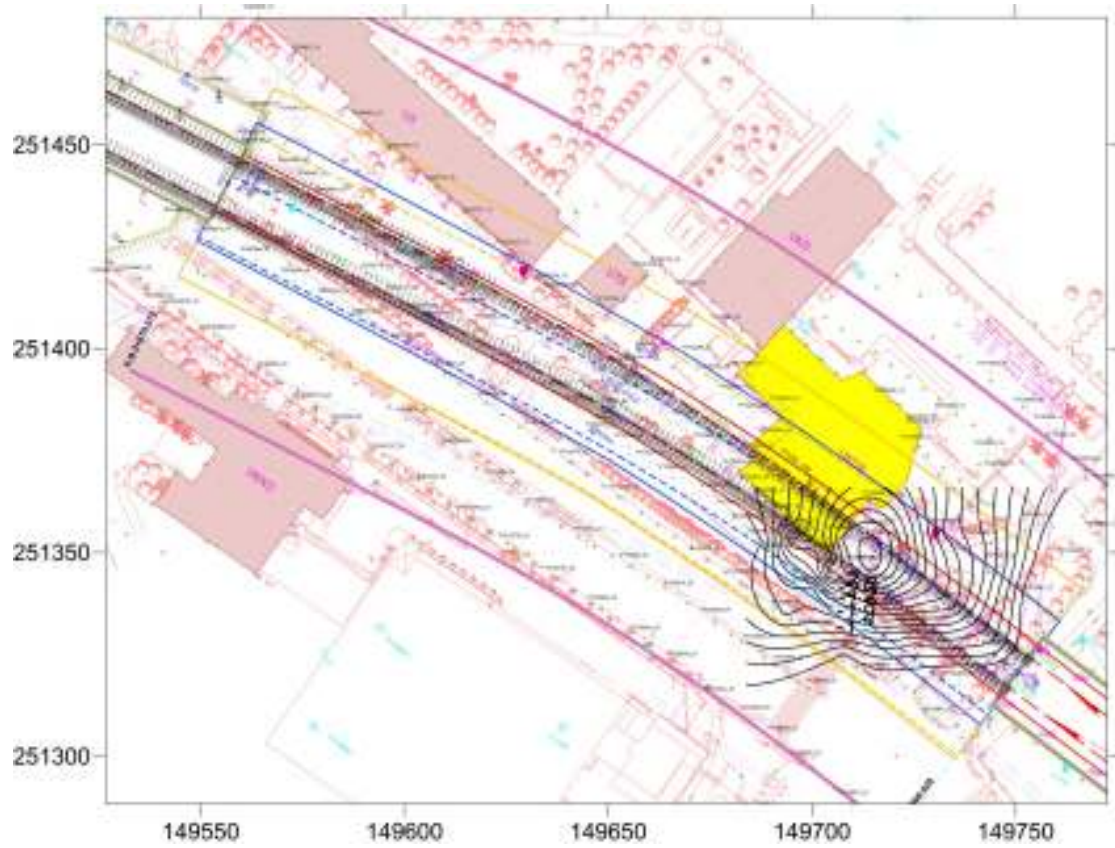
Ισουψείς καθιζήσεων λόγω TBM 1

Ισοψείς καθιζήσεων Περιοχής από Χ.Θ. 2830 έως Χ.Θ. 2870



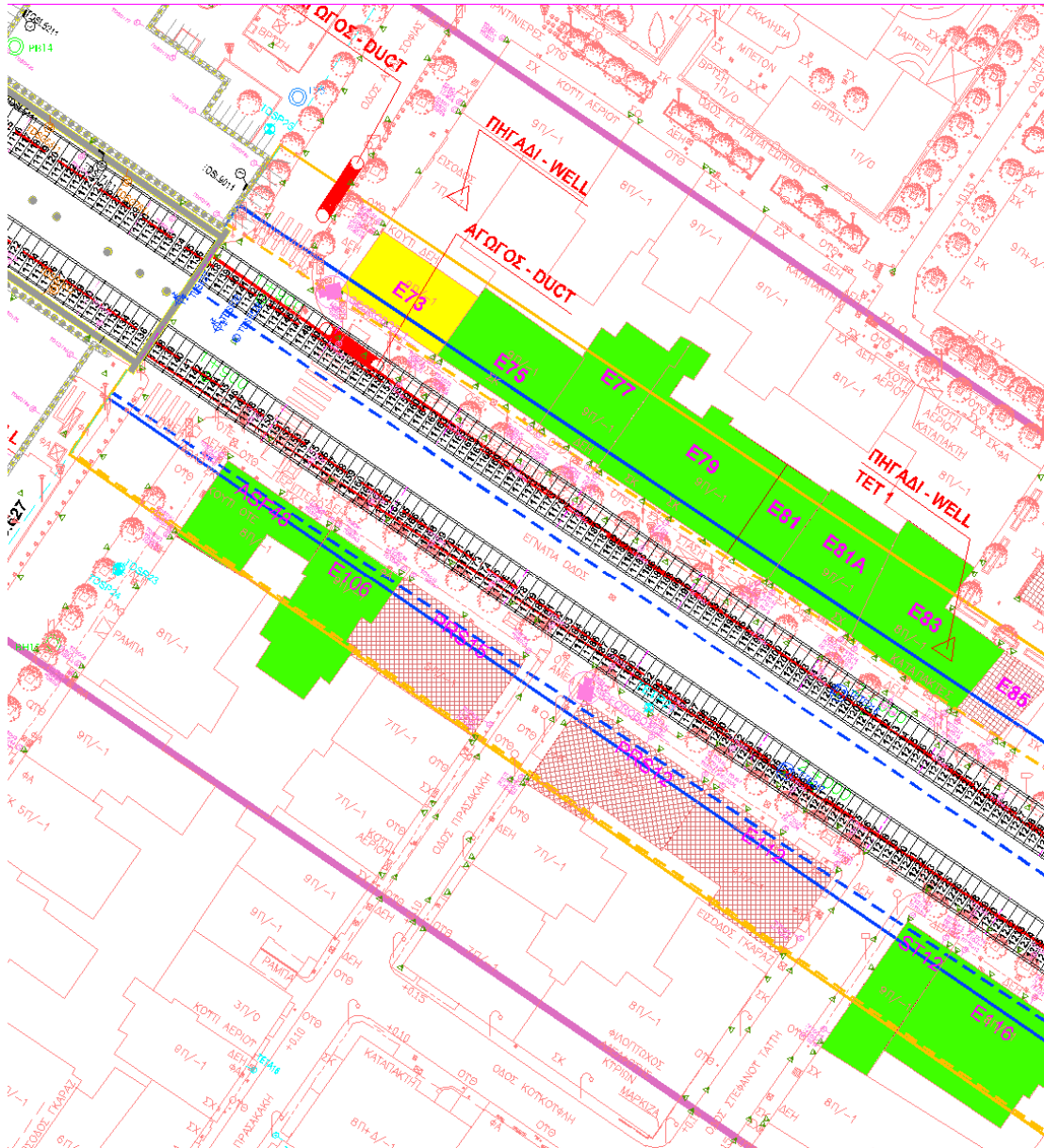
Ισοψείς καθιζήσεων – Τελική κατάσταση (TBM1&2)

Ισοψείς καθιζήσεων Περιοχής από Χ.Θ. 2830 έως Χ.Θ. 2870



Ισοψείς καθιζήσεων λόγω ΤΒΜ 2

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΑΠΟ
Χ.Θ. 1+890.627 ΕΩΣ Χ.Θ. 3+345.462.**

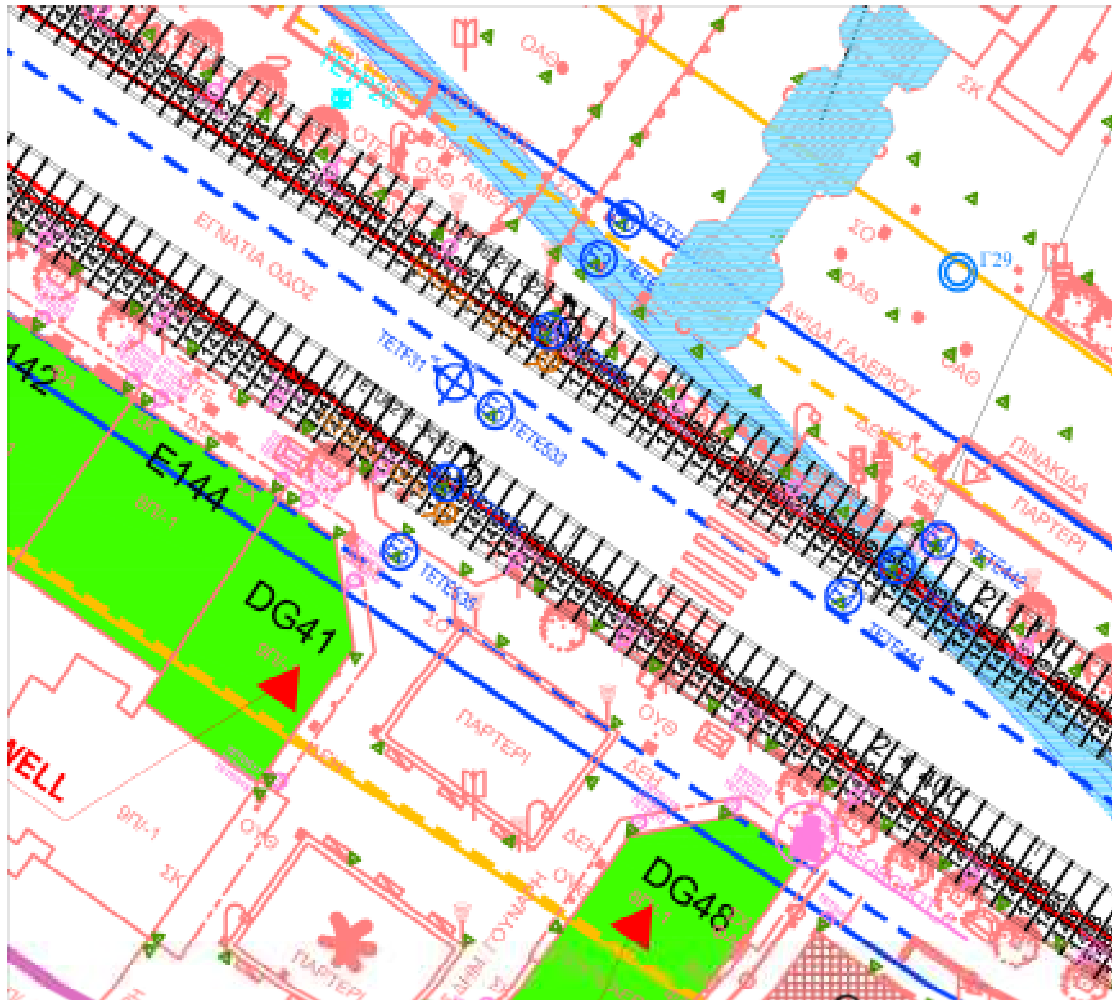


Οριζοντιογραφία Περιοχής από Χ.Θ.1907 έως Χ.Θ.2000.

Φορά διάνοιξης από αριστερά προς δεξιά.

Γραμμή 1 εκ δεξιών ως προς τη φορά διάνοιξης, Γραμμή 2 εξ αριστερών αντίστοιχα.

Ίχνος Γραμμής 1 και 2: διακεκομμένη κόκκινη γραμμή



Οριζοντιογραφία Περιοχής από Χ.Θ.2340 έως Χ.Θ.2392

Φορά διάνοιξης από αριστερά προς δεξιά.

Γραμμή 1 εκ δεξιών ως προς τη φορά διάνοιξης, Γραμμή 2 εξ αριστερών αντίστοιχα.

Ίχνος Γραμμής 1 και 2: διακεκομμένη κόκκινη γραμμή

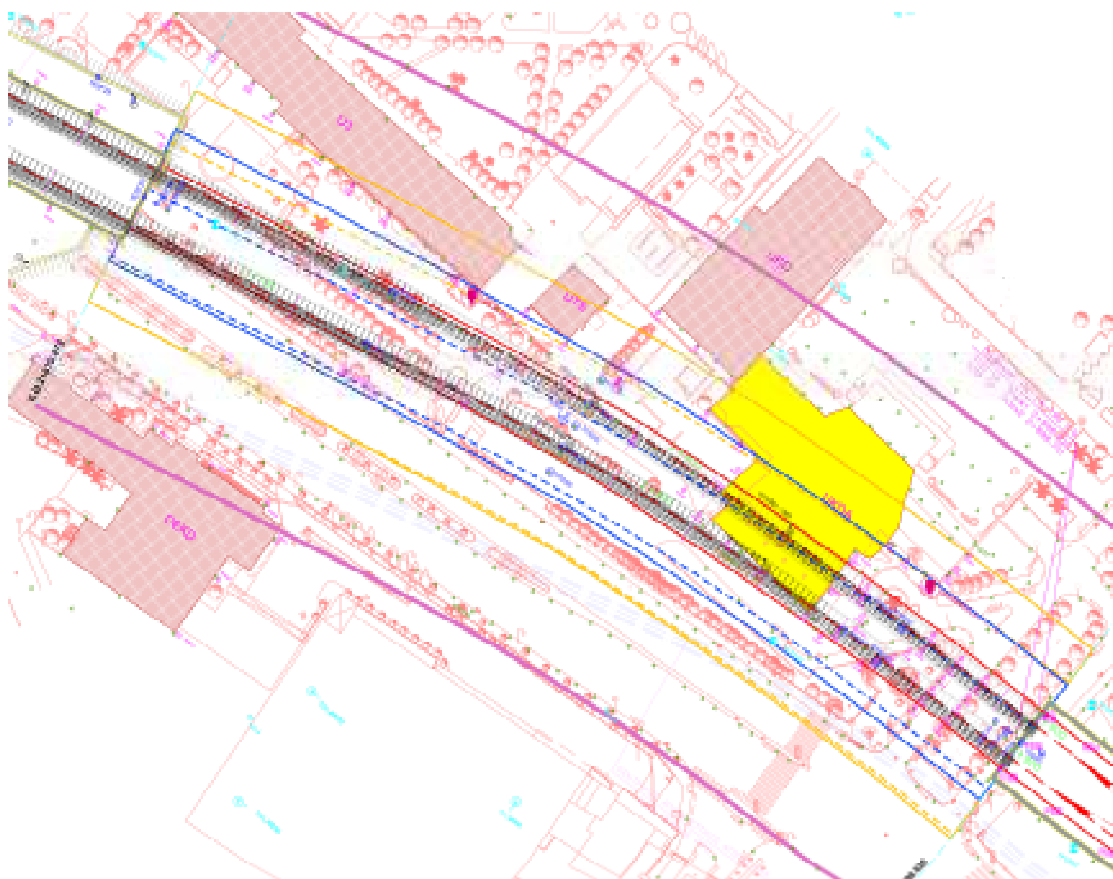


Οριζοντιογραφία Περιοχής από Χ.Θ.2400 έως Χ.Θ.2469

Φορά διάνοιξης από αριστερά προς δεξιά.

Γραμμή 1 εκ δεξιών ως προς τη φορά διάνοιξης, Γραμμή 2 εξ αριστερών αντίστοιχα.

Ίχνος Γραμμής 1 και 2: διακεκομμένη κόκκινη γραμμή



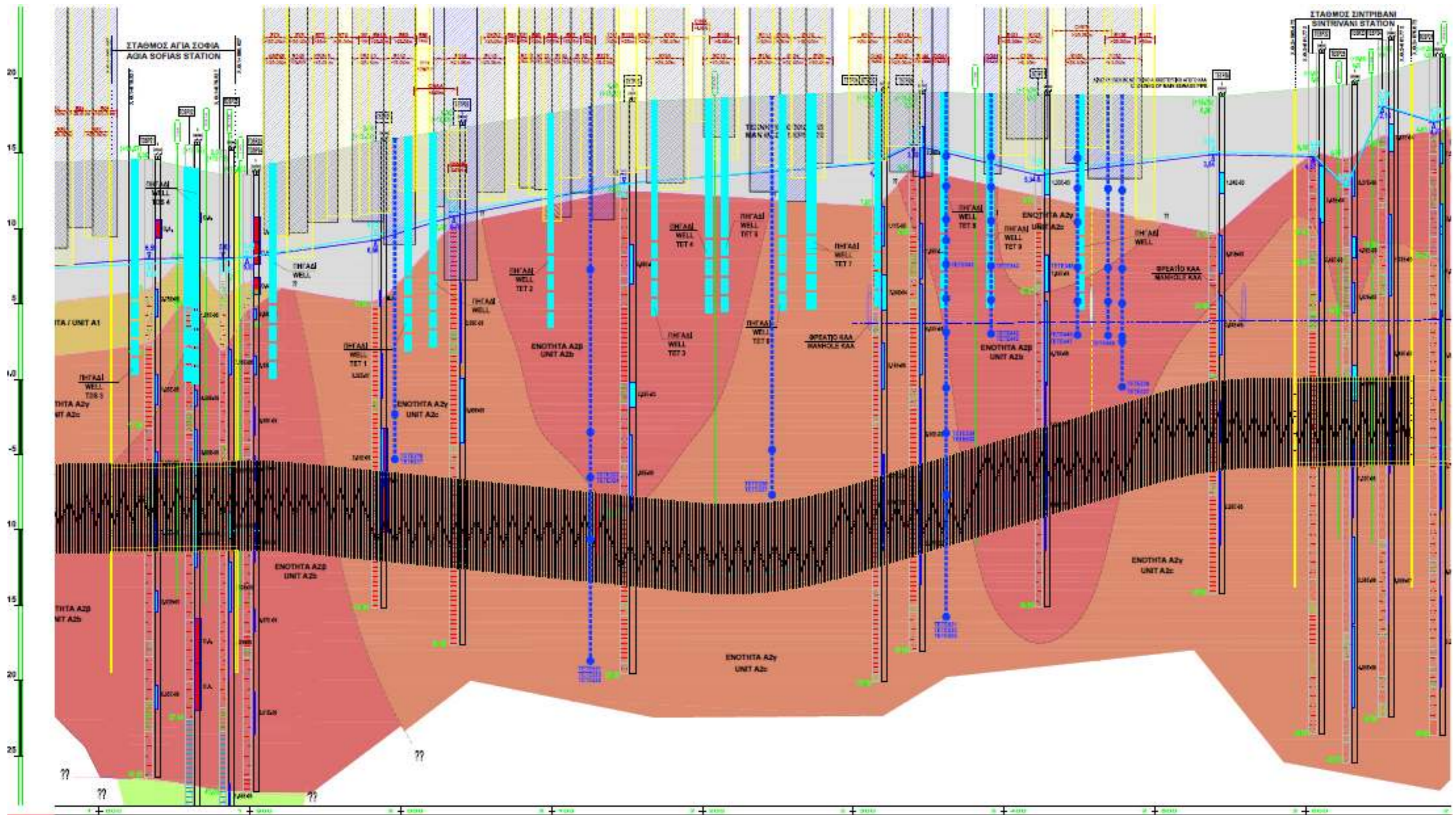
Οριζοντιογραφία Περιοχής από Χ.Θ.2830 έως Χ.Θ.2870

Φορά διάνοιξης από αριστερά προς δεξιά.

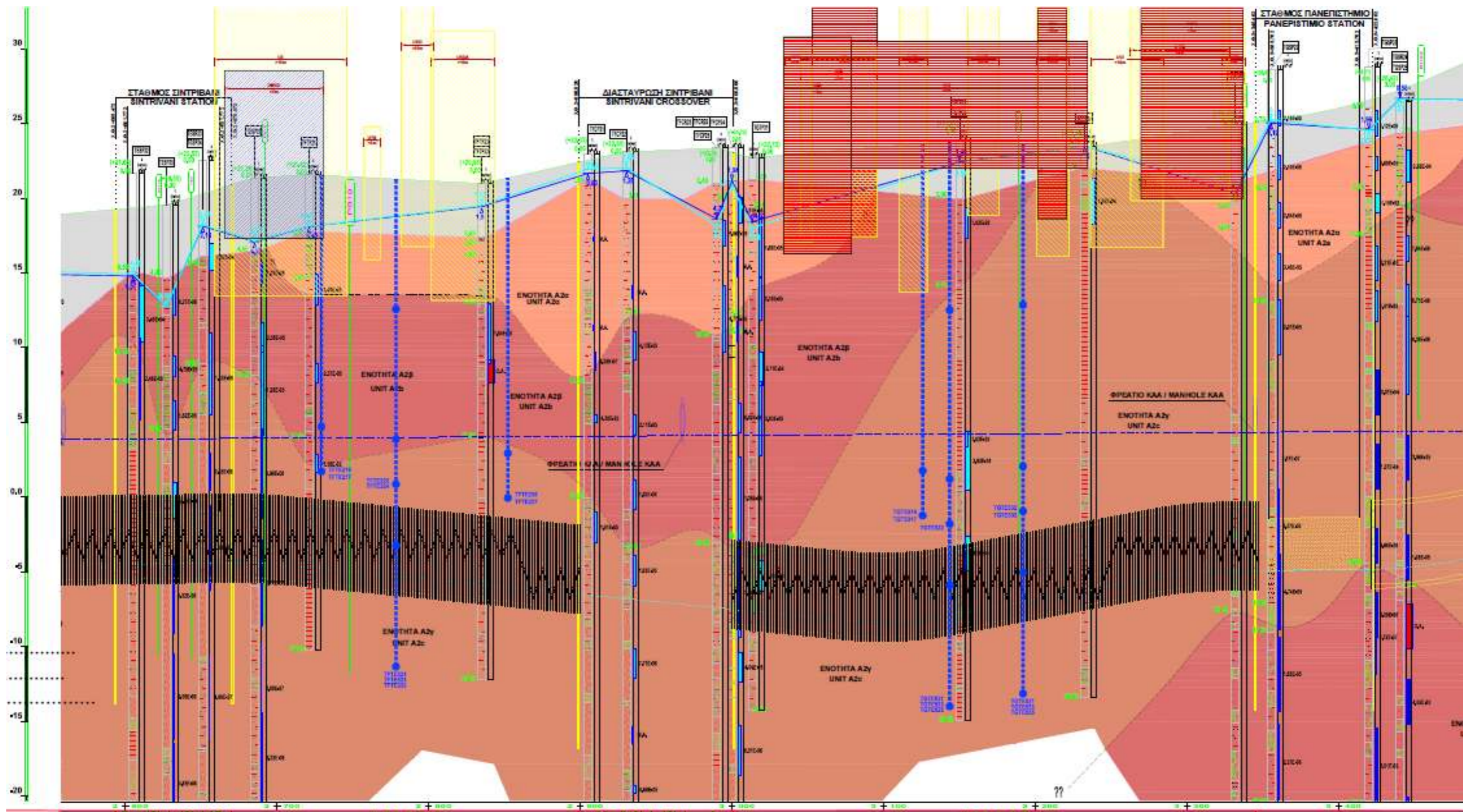
Γραμμή 1 εκ δεξιών ως προς τη φορά διάνοιξης, Γραμμή 2 εξ αριστερών αντίστοιχα.

Ίχνος Γραμμής 1 και 2: διακεκομμένη κόκκινη γραμμή

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΗΚΟΤΟΜΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ
ΑΠΟ Χ.Θ. 1+890.627 ΕΩΣ Χ.Θ. 3+345.462**



Γεωλογική Μηκτομή από Σταθμό Αγία Σοφία Χ.Θ. 1+890.627 έως Σταθμό Σιντριβάνι Χ.Θ. 2+253.472



Γεωλογική Μηκοτομή από Σταθμό Σιντριβάνι Χ.Θ. 2+253.472 έως Σταθμό Πανεπιστήμιο Χ.Θ. 3+345.462