

**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ ΣΤΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ
& ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ**

**ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ
του
ΠΕΠΠΑ ΕΥΑΓΓΕΛΟΥ**

**ΘΕΜΑ:
Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΘΕΣΣΕΩΝ
ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2014

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΠΡΟΛΟΓΟΣ	10
1.1	ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΡΓΑ ΠΟΛΕΩΝ	11
1.2	Η ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ	13
1.3	ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΡΓΑ ΚΑΙ ΚΙΝΔΥΝΟΣ	15
1.4	Σήραγγες και γεωλογικοί σχηματισμοί	15
1.5	ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ ΚΑΙ ΣΗΡΑΓΓΕΣ	17
1.6	Η ΔΥΣΚΟΛΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΥΠΑΡΞΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	19
1.7	ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ . ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΕΙΣ	23
2.	ΤΟ ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	25
2.1	Περιγραφή του χώρου και της γύρω περιοχής	25
2.2	ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΚΑΙ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	27
2.2.1	ΣΤΑΘΜΟΙ	27
2.2.2	ΣΗΡΑΓΓΕΣ	28
3	ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ - ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΕΡΓΟΥ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	36
3.1	ΣΚΟΠΟΣ	36
3.2	Αντικείμενο Υδρογεωλογικής Μελέτης	37
3.3	Εκτελεσθείσες Εργασίες	38
3.3.1	ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ	38
3.3.2	ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΓΡΑΦΕΙΟΥ	39
3.4	ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ	40
3.4.1	ΑΠΟΓΡΑΦΗ ΥΔΡΟΛΗΠΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ	40
3.4.2	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΑ ΕΞΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	41
3.4.3	ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ	41
3.4.4	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ	45
3.5	ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΓΡΑΦΕΙΟΥ	46
3.5.1	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ –ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – (ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΕΡΓΟΥ ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ)	47
3.5.2	ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΑ	49
3.5.3	ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	50
3.5.4	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ T,S, K ΑΠΟ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ	55
4	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	56
4.1	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ	57
4.2	ΠΤΩΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ –ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ – ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ	59

4.2.1	ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΟΥ ΦΡΕΑΤΟΣ ΣΤΟΝ ΕΠΙΣΤΑΘΜΟ ΝΣΣ.....	59
4.2.1.1	Αναμενόμενες γεωλογικές – γεωτεχνικές συνθήκες	61
4.2.1.2	Πτώση στάθμης κατά τη διάρκεια της κατασκευής του ΒΔ φρέατος 63	
4.2.1.3	Πρόγραμμα παρακολούθησης καθιζήσεων - μικρομετακινήσεων. συσχέτιση τους με τη πτώση στάθμης. συμπεράσματα	67
4.2.1.4	Καθιζήσεις στερεοποίησης σε αργιλικά εδάφη	70
4.3	ΑΝΟΔΟΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ – ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ – ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ	73
4.3.1	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓΙΑΣ ΣΟΦΙΑΣ	73
4.3.2	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ 75	
4.3.3	ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ (ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ)	77
4.3.4	ΕΝΑΡΞΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΑΘΜΟΥ ΜΕ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ	79
4.3.5	ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΟΔΟ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ. ΤΟ ΚΤΙΡΙΟ Ε73	81
4.3.6	ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΑΝΟΔΟΥ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΣΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΚΑΙ Η ΕΝΑΡΞΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΥΠΟ ΣΤΑΘΕΡΟ ΦΟΡΤΙΟ	86
4.4	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΛΟΓΩ ΤΟΥ ΑΡΤΕΣΙΑΝΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ ΥΔΡΟΦΟΡΙΑΣ. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ, ΚΑΤΑΝΟΗΣΗ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ, ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ	88
4.4.1	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ	88
4.4.2	ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	94
4.4.3	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΕΩΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΑΡΤΕΣΙΑΝΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΣΤΟ ΣΤΑΘΜΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ	99
4.4.4	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΑ ΔΟΝΟΥΜΕΝΗΣ ΧΟΡΔΗΣ (ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΑ).....	101
4.4.5	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΤΡΗΣΗ	104
4.4.6	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ	106
4.4.7	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ 108	
4.4.8	ΛΕΠΤΟΜΕΡΗΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ	109
4.4.8.1	Κατασκευή διαφραγματικών τοίχων	109
4.4.8.2	Εκσκαφή του σταθμού.....	109
4.4.9	ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΟΥ ΑΡΤΕΣΙΑΝΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ	110
4.4.10	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ	112
4.4.10.1	Πηγάδια άντλησης	113
4.4.10.2	Πιεζόμετρα παρατήρησης.....	115
4.4.10.3	Μεθοδολογία δοκιμαστικής άντλησης	117
4.4.10.4	Φάσεις δοκιμαστικής άντλησης.....	118

4.4.11	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	120
4.4.12	ΕΝΑΡΞΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΜΕ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΒΑΘΕΙΩΝ ΠΗΓΑΔΙΩΝ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΩΝΟΣΗ ΤΩΝ ΤΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΠΙΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΗ – ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥΣ	122
4.4.12.1	Αλληλουχία κατασκευής πανελων διαφραγματικού τοίχου	124
4.4.12.2	Στάδια κατασκευής εγχυτων διαφραγματικών τοίχων	124
4.4.13	ΕΝΑΡΞΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΜΕ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ – ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΝΤΛΗΣΕΩΝ, ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ. Ο ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΤΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΕΡΥΘΡΕΣ ΑΡΓΙΛΟΥΣ	127
4.5	ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΜΙΚΡΟΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΥΣΧΤΕΤΙΣΗ ΜΕ ΤΗ ΠΤΩΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ ΤΗΣ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ(ΕΡΥΘΡΩΝ ΑΡΓΙΛΛΩΝ)	129
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	131
6	ΜΕΛΕΤΕΣ	Error! Bookmark not defined.
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	Error! Bookmark not defined.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Εκμετάλλευση του υπεδάφους για την κατασκευή Μετρό.(Εργα Αττικό Μετρό Αθηνών - Omikron Kappa Consulting)	12
Σχήμα 2. Ανάπτυξη έργων μετρό στο TABRIZ του IPAN κάτω από κεντρικές συγκοινωνιακές αρτηρίες της πόλης (Metro Construction in Tabriz, Iran Mahsa Jamali)	17
Σχήμα 3. Οι δυο κλάδοι δίδυμων σιράγγων διέρχονται ακριβώς κάτω από τα θεμέλια οικοδομών λίγο πριν τη είσοδο στο σταθμό Παπάφη (Χάρτης από την ΒΔ ΓΔΠ Kronos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)	17
Σχήμα 4. Ανάπτυξη ανεπιθύμητων παραμορφώσεων στο εδάφους από διάνοιξη σήραγγας μετρό (Τροποποιημένη καμπύλη καθίζησης χρόνου Ε. ΠΕΠΠΑΣ 2014) ..	20
Σχήμα 5. Χάραξη έργου μετρό Θεσσαλονίκης (www.ametro.gr)	22
Σχήμα 6. Μέθοδος κατασκευής υπόγειου σταθμού (top down) (www.ametro.gr)	24
Σχήμα 7. Κατά μήκος τομή μηχανήματος διάνοιξης σιράγγων EPB-TBM (www.selitunnel.com).....	30
Σχήμα 8. Είσοδος μηχανήματος EPB –TBM σε σκαμμένο υπόγειο σταθμό Διασταύρωση Συντριβάνι (www.ametro.gr)	30
Σχήμα 9. Είσοδος μηχανήματος EPB –TBM σε σκαμμένο υπόγειο σταθμό Ευκλείδη (Ε. Πέππας, 2011)	31
Σχήμα 10. Μηκοτομή με την κατηγοριοποίηση των γεωυλικών (Σχηματισμός Α, Β, Γ, Δ) και τις τιμές των περατοτήτων για την Επέκταση προς Καλαμαριά (Π.Γ ΜΑΡΙΝΟΣ, Β. ΜΑΡΙΝΟΣ, Δ. ΠΑΠΟΥΛΗ, ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ 2009, α)	33
Σχήμα 11. Διάγραμμα επαναφοράς της στάθμης του υπόγειου νερού κατά την διάρκεια της εκτέλεσης των airlifts στα πιεζόμετρα της Γεωτεχνικής Έρευνας της επέκτασης του Μετρό προς την Καλαμαριά (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2009, α)	39
Σχήμα 12. Μεταβολή του απόλυτου υψόμετρου της στάθμης του υπόγειου νερού συναρτήσει του χρόνου στα πιεζόμετρα του Μετρό Θεσσαλονίκης στο τμήμα Σταθμός Πατρικίου – Σταθμός Βούλγαρη ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. 2009,α)	40
Σχήμα 13. Διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού κατά μήκος της επέκτασης προς την Καλαμαριά (Π.Γ ΜΑΡΙΝΟΣ, Β. ΜΑΡΙΝΟΣ, Δ. ΠΑΠΟΥΛΗ, ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ 2009, β).....	40
Σχήμα 14. Απόσπασμα πιεζομετρικού χάρτη υγρής περιόδου 2009 για την επέκταση προς Καλαμαριά που δείχνει τις γραμμές ροής του υπογείου νερού (Π.Γ ΜΑΡΙΝΟΣ, Β. ΜΑΡΙΝΟΣ, Δ. ΠΑΠΟΥΛΗ, ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ 2009, α)	42
Σχήμα 15. Υδρογραφικό δίκτυο ευρύτερης περιοχής Θεσσαλονίκης (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. , 2007, β)	44
Σχήμα 16. Περατότητες κατά μήκος της χάραξης του βασικού έργου βασισμένες από στοιχεία επί τόπου δοκιμών. Στη συγκεκριμένη μηκοτομή είναι περασμένη και η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα σε σχέση με τον άξονα της σήραγγας (MARINOS, P. G., NOVACK, M., BENISSI, M., STOUMPOS, G., PANTELIADOU, M., PAPOULI, D., MARINOS V., KORKARIS, K., 2007).	50
Σχήμα 17. Μηκοτομή με τις γεωλογικές ενότητες και τις τιμές των περατοτήτων για την επέκταση του ΜΕΤΡΟ προς Καλαμαριά (Π.Γ ΜΑΡΙΝΟΣ, Β. ΜΑΡΙΝΟΣ, Δ. ΠΑΠΟΥΛΗ, ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ 2009, α)	50

Σχήμα 18. Οριζοντιογραφία Επίστάθμιου και βορειοδυτικού φρέατος (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. , 2011, α)	55
Σχήμα 19. Απόσπασμα Γεωλογικής – Γεωτεχνικής μηκοτομής πρόβλεψης (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2008, (β).).....	58
Σχήμα 20. Οριζοντιογραφία της περιοχής του Β δυτικού φρέατος με τα 4 πιεζόμετρα (Χάρτης από την ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014) .	59
Σχήμα 21. Διάγραμμα κατακόρυφων μετακινήσεων–χρόνου, με τις κατασκευαστικές φάσεις, που δείχνει την επιρροή της διάτρησης των αγκυρίων στις μετακινήσεις μέσω της στράγγισης που προήλθε από την εισροή νερού στο φρέαρ από τις οπές των διατρημάτων	60
Σχήμα 22. Πτώση στάθμης στα πιεζόμετρα (Επεξεργασμένα στοιχεία από τη ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)	61
Σχήμα 23. Συνδυαστικό γράφημα πτώσης στάθμης και εισροών υπογείων υδάτων. Οι τιμές των παροχών έφτασαν έως και 112 m ³ /h (Επεξεργασμένα στοιχεία από τη ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014).....	62
Σχήμα 24. Γεωλογική χαρτογράφηση του πυθμένα εκσκαφής που φαίνονται τα χονδρόκοκα ιζήματα καθώς και οι εισροές υδάτων στο σκάμμα (Κ/Ξ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, 2014).....	62
Σχήμα 25. Χάρτης ισοκαθίζσεων της περιοχής του Βόρειοδυτικού φρέατος (Χάρτης από την ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014).....	63
Σχήμα 26. Καμπύλες καθίζησης – χρόνος για 3 σημεία που έχουν διαφορετική χρονική αφετηρία μετρήσεων στη περιοχή γύρω από το φρέαρ όπου καταγράφηκε το μέγιστο της μετακίνησης (Επεξεργασμένα στοιχεία από τη ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014).....	64
Σχήμα 27. Συνθετικό διάγραμμα πτώσης στάθμης – καθίζησης (Επεξεργασμένα στοιχεία από τη ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014) ...	65
Σχήμα 28. Κάτοψη που δείχνει τη χωροθέτηση του Σταθμού Αγ. Σοφίας (Χάρτης από την ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014).....	69
Σχήμα 29. Απόσπασμα Γεωλογικής – Γεωτεχνικής μηκοτομής πρόβλεψης. Τμήμα Α. Ν.Σιδηροδρομικός Σταθμός – Σταθμός Πανεπιστήμιο (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2008, β)	71
Σχήμα 30. Δειγματοληψία που εμφανίζει τη κατάσταση των γεωυλικών στη περιοχή (αρχαιολογικό στρώμα, μεταβατικό στρώμα τεταρτογενων αποθέσεων, υπόβαθρο ερυθρών αργίλων) (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2008, β)	72
Σχήμα 31. Θέσεις πιεζομέτρων παρατήρησης (Χάρτης από την ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014).....	73
Σχήμα 32. Αρχικές στάθμες πιεζομέτρων (Επεξεργασμένα στοιχεία από τη ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)	74
Σχήμα 33. Ανύψωση στάθμης έως και τα 2 περίπου μέτρα με την έναρξη κατασκευής των διαφραγμάτων (Επεξεργασμένα στοιχεία από τη ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014).....	76
Σχήμα 34. Κατά μήκος τομή στη περιοχή του κτηρίου Ε73 που δείχνει το βάθος θεμελίωσης του κτηρίου, το γεωλογικό προφίλ και τις δυο στάθμες παλιά (πριν την έναρξη της κατασκευής) με το μπλε χρώμα και τη νέα με το γαλάζιο (ανυψωμένη κατά 2 περίπου μέτρα) και πολύ κοντά πλέον στη θεμελίωση του κτηρίου που βρίσκεται εντός του αρχαιολογικού στρώματος (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2008, β)	77

Σχήμα 35. Διάγραμμα που παρουσιάζει τις αντλήσεις του υπογείου νερού σε υπόγειο κτηρίου (Επεξεργασμένα στοιχεία από τη ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)	78
Σχήμα 36. Χρονική συσχέτιση ανόδου στάθμης – κατακόρυφων μετακινήσεων (καθιζήσεων) επί του κτηρίου E73 (Επεξεργασμένα στοιχεία από τη ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)	79
Σχήμα 37. Συνθετικό διάγραμμα 1 που δείχνει την άνοδο της στάθμης ακαριαία με τη κατασκευή του πρώτου διαφραγματικού πανέλου και την άμεση έναρξη των καθιζήσεων στο κτήριο E 73 (Τ. ΕΞΑΡΧΟΥ, Δ. ΠΑΠΟΥΛΗ, Κ/Ξ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, 2011).....	80
Σχήμα 38. Συνθετικό διάγραμμα 2 που δείχνει τη θέση του κτηρίου E 73 σε σχέση με το Σταθμό Αγ. Σοφίας τα σημεία μέτρησης επί του κτηρίου, καθώς και επί του εδάφους που εμφανίζουν καθίζηση και κλίση προς την Εγνατία, σε άμεση συσχέτιση με την άνοδο της στάθμης στα πιεζόμετρα (Τ. ΕΞΑΡΧΟΥ, Δ. ΠΑΠΟΥΛΗ, Κ/Ξ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, 2011).....	81
Σχήμα 39. Κάτοψη σταθμού Πανεπιστήμιο (Χάρτης από την ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014).....	85
Σχήμα 40. Κάθετη τομή σταθμού Πανεπιστήμιο (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2009, β)...	86
Σχήμα 41. Γεωλογική – Γεωτεχνική τομή του σταθμού Πανεπιστήμιο (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2008, β)	91
Σχήμα 42. Υπόμνημα της Γεωλογικής – Γεωτεχνικής τομή του σταθμού Πανεπιστήμιο (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2008, β)	92
Σχήμα 43. Λεπτομερής Γεωλογική τομή με τους ορίζοντες των λατυποπαγών (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2009, γ)	93
Σχήμα 44. Ορίζοντες λατυποπαγούς εντός των ερυθρών αργίλων στην γεώτρηση TGSP47 του σταθμού Πανεπιστήμιο (βάθος 39.2 – 42.1 m) (Κ/Ξ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, 2014).....	93
Σχήμα 45. Δειγματοληψία για τον ακριβή εντοπισμό του αρτεσιανού συστήματος (Ε. ΠΕΠΠΑΣ 2014).....	95
Σχήμα 46. Οριζοντιογραφία όλων των πιεζομέτρων στο Σταθμό Πανεπιστήμιο (παλιά και νέα μετά τη διερεύνηση του αρτεσιανισμού) (Χάρτης από την ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014).....	96
Σχήμα 47. Πιεζόμετρο δονούμενης χορδής (Ε. ΠΕΠΠΑΣ, 2014)	98
Σχήμα 48. Ενδεικτική τομή ανάπτυξης πιεζομέτρου δονούμενης χορδής (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2009, γ).....	100
Σχήμα 49. Αρτεσιανισμός κατά την διάρκεια διάτρησης των πιεζομέτρων (Ε. ΠΕΠΠΑΣ, 2014).....	101
Σχήμα 50. Αρτεσιανισμός κατά την διάρκεια διάτρησης των πιεζομέτρων (Ε. ΠΕΠΠΑΣ, 2014).....	102
Σχήμα 51. Αρχικές μετρήσεις των εγκατεστημένων πιεζομέτρων δονούμενης χορδής (TGSP 41, TGSP 42, TGSP 43) που εγκαταστάθηκαν για τη μέτρηση της αρτεσιανής πίεσης σε bar. (1 bar = 100Kpa). Οι τιμές κυμαίνονται από 3,8 έως 5,2 bar. Στο επάνω μέρος του διαγράμματος δίπλα από το κωδικό της γεώτρησης αναγράφεται και το ακριβές βάθος εγκατάστασης του σένσορα του πιεζομέτρου δονούμενης χορδής (Επεξεργασμένα στοιχεία από τη ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)	102
Σχήμα 52. Τοποθέτηση φιλτροσωλήνων σε υδρογεώτρηση στο σταθμό Πανεπιστήμιο (Ε. ΠΕΠΠΑΣ, 2014).....	110

Σχήμα 53. Εκσκαφή διαφραγματικού με υδροφρέζα (Ε. ΠΕΠΠΑΣ, 2014).....	117
Σχήμα 54. Τοποθέτηση οπλισμού διαφραγματικού πανέλου (Ε. ΠΕΠΠΑΣ, 2014)....	117
Σχήμα 55. Σκυροδέτηση διαφραγματικού πανέλου (Ε. ΠΕΠΠΑΣ, 2014)	118
Σχήμα 56. Στη κάτοψη φαίνονται τα πηγάδια άντλησης TGSP_GO3, TGSP_G04, TGSP_GO7 που χρησιμοποιήθηκαν για τη κατασκευή των δυτικών μετωπικών διαφραγμάτων, καθώς και το σύνολο των γειτονικών πιεζομέτρων παρατήρησης που χρησιμοποιήθηκαν για τη παρακολούθηση κατά τη διάρκεια της κατασκευής της πτώσης στάθμης και της απαιτούμενης απογείωσης των υδραυλικών πιέσεων (Χάρτης από την ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014).....	122
Σχήμα 57. Πτώση της στάθμης εντός των πηγαδιών άντλησης κατά τη διάρκεια της άντλησης. και επαναφορά μετά το τέλος της λειτουργίας των αντλιών (Επεξεργασμένα στοιχεία από τη ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014) .	123
Σχήμα 58. Απομείωση της πίεσης στα πιεζόμετρα παρατήρησης κατά τη διάρκεια της άντλησης κατά τη κατασκευή των δυτικών μετωπικών τοίχων (Επεξεργασμένα στοιχεία από τη ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014) .	123
Σχήμα 59. Μετρούμενες κατακόρυφων μετακινήσεων (Επεξεργασμένα στοιχεία από τη ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014).....	124
Σχήμα 60. Χωροσταθμικοί μάρτυρες (με το ροζ κύκλο) για τη παρακολούθηση των μικρομετακινήσεων στα γειτονικά κτίρια (Χάρτης από την ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014).....	125

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Χαρακτηρισμός Περρατότητας (Terzaghi and Peck (1967)).....	49
Πίνακας 2. Γεωλογική περιγραφή πυρήνων δειγματοληψίας.....	74

1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό να αναδείξει τη σπουδαιότητα και την αναγκαιότητα για την ενδελεχή και λεπτομερή μελέτη και στη συνέχεια αξιολόγηση των υδρογεωλογικών συνθηκών και των ιδιαίτερων υδραυλικών χαρακτηριστικών του υπεδάφους κατά μήκος της χάραξης ενός υπόγειου έργου σε αστικό περιβάλλον, καθώς και των δυσκολιών που μπορούν να προκύψουν εξαιτίας της αλληλεπίδρασης εδάφους, υπογείου νερού και έργου και να παρουσιάσει τεχνικές αντιμετώπισης αυτών των υδρογεωλογικών προβλημάτων κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

Παρουσιάζει με χαρακτηριστικά παραδείγματα από επιλεγμένες θέσεις του Μετρό Θεσσαλονίκης τον τρόπο διερεύνησης των υδρογεωλογικών παραμέτρων και πως βήμα βήμα καταλήγουμε στη απόλυτη γνώση σε σχέση με την υδρογεωλογία και το καθεστώς των υπογείων υδάτων κάνοντας έτσι ένα πολύ σημαντικό βήμα για τη ποιοτική μελέτη και την ασφαλή κατασκευή του έργου.

Έχοντας αυτή τη γνώση πλέον στα χέρια μας μπορούμε να σχεδιάσουμε και να προσδιορίσουμε τον τρόπο κατασκευής του υπογείου έργου θέτοντας κανόνες (βασικές αρχές σχεδιασμού του έργου) ελέγχοντας κατά το δυνατό τον τρόπο που θα λειτουργήσει το υπόγειο νερό κατά τη κατασκευή ή και μετέπειτα, αποφεύγοντας δυσάρεστες καταστάσεις που μπορούν να οδηγήσουν σε υπερβάσεις και αστοχίες.

Ως παράδειγμα αναφέρετε το έργο του Μετρό Θεσσαλονίκης όπου επελέγησαν μέθοδοι κατασκευής, προσαρμοσμένες στις ιδιαίτερες υδρογεωλογικές συνθήκες σε σχέση πάντα με τις αυστηρές προδιαγραφές σχετικά με τα θέματα επιρροής των υπόγειων εργασιών στο δομημένο αστικό περιβάλλον. Έτσι βασικός κανόνας ορίστηκε η μικρότερη κατά το δυνατόν διατάραξη του Υ.Ο με συγκεκριμένο τρόπο κατασκευής σταθμών και σιράγγων (επιλογή διαφραγματικών τοίχων για τους σταθμούς και μηχανήμα TBM -EPB με εξισορρόπηση πίεσης για τις σήραγγες).

Κατασκευή δηλαδή υπό αστράγγιστες συνθήκες αφού τα αποτελέσματα της γεωλογικής υδρογεωλογικής μελέτης και η περεταίρω αξιολόγηση της θεώρησαν ότι οι υψηλές στάθμες στα χαλαρά ιζήματα του Μετρό Θεσσαλονίκης θα έδιναν άμεσες καθιζήσεις στα υπερκείμενα κτήρια και κατασκευές με μια ενδεχόμενη ταπείνωση του υπόγειου νερού που θα ήταν σίγουρη με συμβατικές μεθόδους κατασκευής.

Πολλές φορές όμως είναι δυνατόν σε ένα τόσο μεγάλης κλίμακας πολύπλοκο υπόγειο έργο όπως είναι το μετρό Θεσσαλονίκης να υπάρχουν θέσεις στο υπέδαφος μικρής ή και πολλές φορές μεγάλης κλίμακας, όπου επικρατούν ειδικές γεωλογικές συνθήκες οι οποίες δεν εντοπιστήκαν ή εντοπίστηκαν και δεν αξιολογήθηκαν σωστά στη φάση της μελέτης και που δημιουργούν σοβαρά προβλήματα στη κατασκευή και στο χρονοδιάγραμμα του έργου.

Μπορούν να δημιουργηθούν προβλήματα είτε γιατί δεν αξιολογήθηκαν σωστά συγκεκριμένοι υδρογεωλογικοί παράγοντες είτε γιατί η γεωτεχνική έρευνα δε μπόρεσε να εντοπίσει μικρής συνήθως κλίμακας διαφοροποιήσεις σε σχέση με το καθεστώς και τη δυναμική του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα και τα προβλήματα πλέον πρέπει να αντιμετωπιστούν με ιδιαίτερες τεχνικές στη διάρκεια της κατασκευής

Τέτοια ειδικά υδρογεωλογικά προβλήματα παρουσιάζονται σε αυτή την εργασία για το Μετρό Θεσσαλονίκης καθώς και ο τρόπος με τον οποίο διερευνήθηκαν και αντιμετωπίστηκαν στη διάρκεια της κατασκευής του έργου.

1.1 ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΡΓΑ ΠΟΛΕΩΝ

Το φαινόμενο της αστικοποίησης έχει πάρει μεγάλες διαστάσεις, ιδιαίτερα τα τελευταία 50 χρόνια. Τα κύρια χαρακτηριστικά της τάσης είναι η συσσώρευση μεγάλου αριθμού ανθρώπων και η συγκέντρωση σημαντικού τμήματος της εμπορικής και βιομηχανικής δραστηριότητας μιας χώρας στον περιορισμένο αστικό χώρο. Οι έντονοι και συνεχείς ρυθμοί αύξησης τόσο του πληθυσμού όσο και των δραστηριοτήτων στα αστικά κέντρα έχουν δημιουργήσει τις «μεγαπόλεις» (“megacities”). Ταυτόχρονα, οι προβλέψεις εκτιμούν ότι η τάση για ολοένα μεγαλύτερα και πολυπληθέστερα αστικά κέντρα θα συνεχιστεί, τουλάχιστον για το ορατό μέλλον. Η υφιστάμενη κατάσταση στις σύγχρονες αστικές περιοχές χαρακτηρίζεται από τα έντονα περιβαλλοντικά προβλήματα, την υποβάθμιση της ποιότητας ζωής και την ασφυκτική έλλειψη ζωτικού χώρου.

Οι δύο κύριες διέξοδοι που επιλέχθηκαν για να αντιμετωπίσουν πρωτίστως τη ζήτηση για χώρο ήταν η χωροταξική ανάπτυξη και η κατασκευή πολυώροφων κτηρίων. Η πρώτη, ουσιαστικά, είχε ως αποτέλεσμα τη μετανάστευση των

προβλημάτων στις όμορες περιοχές, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις υπάρχουν φυσικά όρια, τα οποία εμποδίζουν την περαιτέρω επέκταση. Η δεύτερη ήταν πρακτικά μια προσπάθεια επίτευξης εντατικότερης εκμετάλλευσης ανά μονάδα επιφανείας και εκτός από τους κατασκευαστικούς περιορισμούς που συνάντησε, ευθύνεται, σύμφωνα με πολλούς, για την αισθητική υποβάθμιση του αστικού τοπίου.

Επομένως, καθώς η αστικοποίηση συνεχίζεται και οι κύριες διέξοδοι έχουν εξαντλήσει τη δυναμική τους, η εξεύρεση μιας αποτελεσματικής λύσης καθίσταται επιτακτική ανάγκη.

Μέσα στο παραπάνω πλαίσιο, η υπόγεια αστική ανάπτυξη προβάλλει ως μια σημαντική επικουρική εναλλακτική προσέγγιση. Η χρησιμοποίηση του υπεδάφους των αστικών περιοχών έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στην κατεύθυνση της βιώσιμης αστικής ανάπτυξης απαντώντας σε κρίσιμα ζητήματα, όπως η έλλειψη ζωτικού χώρου, η βελτίωση των περιβαλλοντικών συνθηκών και της ποιότητας ζωής.



Καθώς η έντονη ζήτηση για χώρο ωθεί προς την εκμετάλλευση του αστικού υπεδάφους, ο υπόγειος χώρος μετατρέπεται σταδιακά σε εμπορικό αγαθό και ο υπολογισμός της αξίας του είναι κρίσιμης σημασίας. Ωστόσο, συχνά ο υπόγειος χώρος αντιμετωπίζεται ως ένα ελεύθερο αγαθό με αποτέλεσμα, για παράδειγμα, να υφίστανται εντατική εκμετάλλευση τα ανώτερα στρώματα του αστικού υπεδάφους, το γνωστό “spaghetti subsurface problem”, ενώ τα βαθύτερα στρώματα του υπόγειου χώρου αξιοποιούνται σε μικρότερο βαθμό. Επιπλέον, η απουσία μεθόδων αποτίμησης

των περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων του υπόγειου χώρου αλλά και η διαπίστωση ότι σημαντικές ποσότητες αυτού του μη-ανανεώσιμου πόρου καταναλώνονται αλόγιστα, επιδεινώνουν περαιτέρω το πρόβλημα.

1.2 Η ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Μέσα στο παραπάνω πλαίσιο άρχισε να προβάλλει λοιπόν μια άλλη εναλλακτική λύση πέρα από τα στενά όρια της δισδιάστατης ή εντατικής ανάπτυξης. Αυτή η εναλλακτική προσέγγιση, υποστηρίζει την αξιοποίηση της τρίτης διάστασης προς την πλευρά του υπεδάφους. Η χρησιμοποίηση του υπόγειου χώρου για την εγκατάσταση χρήσεων, οι οποίες δεν είναι απαραίτητο να καταλαμβάνουν πολύτιμο επιφανειακό χώρο ή αποτελούν παράγοντες όχλησης, περιγράφεται από τον όρο «υπόγεια ανάπτυξη». Σύμφωνα με τους Sterling και Godard (2001), οι κυριότεροι παράγοντες που ωθούν προς την πλευρά της υπόγειας ανάπτυξης είναι

- Έλλειψη διαθέσιμων χώρων – Καλύτερη εκμετάλλευση της γης. Με τη μεταφορά και εγκατάσταση δραστηριοτήτων υπόγεια απελευθερώνονται ζωτικοί χώροι στην επιφάνεια. Ακόμη, οι υπόγειες κατασκευές προσφέρουν αυξημένες δυνατότητες επέκτασης, δεδομένου ότι δεν υφίστανται, κατά κανόνα, οι περιορισμοί της επιφάνειας σε σχέση με το περιβάλλον ιδιοκτησιακό καθεστώς.

- Περιβαλλοντικοί λόγοι. Δραστηριότητες οι οποίες είναι ρυπογόνες ή δεν είναι αναγκαίο να λειτουργούν στην επιφάνεια (“windowless buildings”) μπορούν να μεταφερθούν υπόγεια και να επιτευχθεί διπλή ωφέλεια. Οι ίδιες οι χρήσεις ωφελούνται από την απομόνωση και προστασία του γεωλογικού μέσου και ταυτόχρονα βελτιώνεται η ποιότητα ζωής και μειώνονται οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από οχλούσες δραστηριότητες

- Κοινωνικοί – οικονομικοί λόγοι. Οι ενεργειακές ανάγκες στον υπόγειο χώρο είναι μειωμένες λόγω της σχετικά σταθερής θερμοκρασίας και του ελεγχόμενου περιβάλλοντος. Η ασφάλεια των υπόγειων κατασκευών είναι ιδιαίτερα αυξημένη αφού οι προσβάσεις σε αυτές είναι συγκεκριμένες και απόλυτα ελεγχόμενες. Επίσης, η συμπεριφορά τους σε σεισμούς είναι σημαντικά καλύτερη από αυτή των επιφανειακών κατασκευών

Σύμφωνα με μια εργασία της Διεθνούς Ένωσης Σηράγγων (International Tunnelling Association), η χρησιμοποίηση του υπόγειου χώρου δεν είναι αυτοσκοπός (“it’s not an end in itself”) (ITA-WG4, 2000). Αντίθετα, είναι μια ρεαλιστική λύση στις εξής περιπτώσεις:

- Όπου δεν υπάρχει διαθέσιμος επιφανειακός χώρος (π.χ. χώροι στάθμευσης οχημάτων, μετρό).
- Όπου η προστασία του περιβάλλοντος είναι ένα σημαντικό ζήτημα (π.χ. οδικές και σιδηροδρομικές σήραγγες).
- Όπου μπορεί να γίνει εξοικονόμηση δαπανών (π.χ. αποθήκευση τροφίμων και ενέργειας).
- Για στρατηγικούς λόγους (π.χ. κέντρα επικοινωνιών).
- Για ανθρωπιστικούς λόγους (π.χ. αποθέματα νερού) \
- Για καθαρά συγκοινωνιακούς λόγους (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Εκμετάλλευση του υπεδάφους για την κατασκευή Μετρό (Εργα αττικό Μετρό Αθηνών –Omikron Kappa Consulting.

1.3 ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΡΓΑ ΚΑΙ ΚΙΝΔΥΝΟΣ

Βέβαια τα υπόγεια έργα από τη φύση τους μειονεκτούν μόνο στην αβεβαιότητα και το ρίσκο που αναλαμβάνεται για τη κατασκευή τους και ειδικά στις περιπτώσεις όπου πραγματοποιούνται κάτω από το δομημένο αστικό ιστό.

Η φύση των υπογείων έργων σημαίνει ότι, μαζί με το ίδιο το έργο, ο υπεύθυνος για την κατασκευή και λειτουργία μίας σήραγγας ταυτόχρονα αναλαμβάνει την πρόκληση να αντιμετωπίσει ένα σημαντικό σύνολο κινδύνων. Λόγω της αβεβαιότητας που διακρίνει τις γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες, υπάρχει κίνδυνος να προκύψουν τοπικές αστοχίες ή και μεγαλύτερης κλίμακας παραμορφώσεις έως και καθιζήσεις που μπορεί να οδηγήσουν σε μικρής ή και μεγάλης κλίμακας ατυχημάτων, καθώς και σε σημαντικές υπερβάσεις του εκτιμώμενου κόστους και της εκτιμώμενης διάρκειας του έργου με απρόβλεπτες αστικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην περιοχή. Επίσης, η καταγραφή θεαματικών καταρρέψεων σιηράγγων αλλά και άλλων καταστροφών στο παρελθόν έχει υποδείξει την δυνητικά μεγάλη τρωτότητα της σιηραγοποιίας σε ατυχήματα μεγάλης κλίμακας. Επιπρόσθετα, στην κατασκευή σιηράγγων και λοιπών υπογείων κατασκευών σε αστικό περιβάλλον, η σημασία της πρόβλεψης και πρόληψης κινδύνων μεγεθύνεται, καθώς οι συνέπειες από πιθανά ατυχήματα πλέον επηρεάζουν τρίτα πρόσωπα, αλλά και ιδιωτική και δημόσια περιουσία. Τέλος, η επιρροή της όχλησης και των πιθανών προβλημάτων κατά την κατασκευή ενός αστικού υπογείου έργου μπορεί να δημιουργήσει ένα κλίμα αρνητικότητας της κοινής γνώμης ως προς τέτοιου είδους έργα, δρώντας ανασταλτικά στην περαίωση του έργου.

1.4 ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Οι σήραγγες αποτελούν έργα που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής από πλευράς μηχανικού, όμως είναι άρρηκτα συνδεδεμένα (όσο κανένα άλλο τεχνικό έργο) με τις τεχνικο-γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες του χώρου διέλευσης, από το στάδιο

σχεδιασμού του έργου μέχρι και αυτού της λειτουργίας του, καθώς: οι παράγοντες μεθόδου κατασκευής συναρτώνται από:

- (α) τις γεωτεκτονικές συνθήκες (γεωλογία – τεκτονική)
- (β) το μήκος της σήραγγας

Συνεπώς οι γεωλογικές συνθήκες μαζί με την τεκτονική αποτελούν πρωταρχικούς παράγοντες στο σχεδιασμό και την κατασκευή των σηράγγων, αφού η γεωμάζα σε αντίθεση με άλλες κατασκευές επιφέρει τις διάφορες φορτίσεις στη σήραγγα ενώ παράλληλα προσφέρεται σαν το αρχικό μέσο υποστήριξης.

Καθώς δηλαδή η εκσκαφή προχωρεί, η αντοχή των σχηματισμών συνήθως κρατά τη σήραγγα ανοικτή για το αναγκαίο διάστημα εγκατάστασης της υποστήριξης.

Αρα, οι εδαφικοί ή βραχώδεις γεωλογικοί σχηματισμοί που περιβάλλουν μια σήραγγα αποτελούν κατά κάποιο τρόπο υλικό κατασκευής, του οποίου οι γεωμηχανικές ιδιότητες (όπως και του σίδηρου και του μπετόν που χρησιμοποιείται) είναι σημαντικές.

Αναγκαία είναι λοιπόν η διερεύνηση των τεχνικογεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών στην περιοχή κατασκευής, αφού βοηθά στον ορθολογικό σχεδιασμό του έργου για ασφάλεια και οικονομία, με:

- Την κατανόηση των γεωλογικών, υδρογεωλογικών και τεκτονικών συνθηκών(ζώνες μειζόνων ασυνεχειών, πτυχώσεις, επωθήσεις, εφιππεύσεις, λεπιώσεις,) καθώς και της μικροτεκτονικής προκειμένου για βραχομάζα (διαρρήξεις – διακλάσεις, άνοιγμα αυτών, πλήρωση, τραχύτητα, απόσταση) στην περιοχή,
- Τον εντοπισμό των διαφόρων γεωτεχνικών προβλημάτων, τα οποία μπορεί να υπάρχουν στην περιοχή και τα οποία μπορεί να επαναδραστηριοποιηθούν ή επιδεινωθούν με τις εργασίες κατασκευής,
- Τη μελέτη των φυσικομηχανικών χαρακτηριστικών των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών που εμπλέκονται στο έργο,
- Την ομαδοποίηση των σχηματισμών από πλευράς γεωμηχανικής συμπεριφοράς σε ενότητες με ορισμένα εύρη παραμέτρων σχεδιασμού,
- Την προσαρμογή των μέτρων υποστήριξης στην εν γένει τεχνικογεωλογική και υδρογεωλογική συμπεριφορά (στις περισσότερες περιπτώσεις εξαρτάται

από την κατάσταση κερματισμού, άρα την τεκτονική-μικροτεκτονική) των σχηματισμών.

1.5 ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ ΚΑΙ ΣΗΡΑΓΓΕΣ

Το νερό είναι ένα σημαντικό στοιχείο του φυσικού περιβάλλοντος. Η κατασκευή ενός υπόγειου τεχνικού έργου επηρεάζει μακροχρόνια ή βραχυχρόνια τα χαρακτηριστικά των υδάτων μιας περιοχής. Η σχέση αλληλεπίδρασης μεταξύ υπόγειου έργου και νερών προκαλεί δυσάρεστες επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον και στον υδροφόρο ορίζοντα όσο και στο ίδιο το έργο. Οι επιπτώσεις είναι πολλές, άμεσες και έμμεσες. Η πλήρης περιβαλλοντική ανάλυση και εκτίμηση των επιπτώσεων είναι μια σύνθετη διαδικασία η οποία απαιτεί την συνεργασία επιστημόνων διαφόρων ειδικοτήτων, επειδή οι επιπτώσεις μπορεί να αφορούν τις συνθήκες υδατορροών, τις φυσικές και τις χημικές ιδιότητες του νερού και τους μικροοργανισμούς που υπάρχουν σε αυτό, τις συνθήκες διάνοιξης και τα υλικά κατασκευής του υπό κατασκευή υπόγειου έργου.

Οι επιπτώσεις των τεχνικών έργων στο περιβάλλον μπορούν να διακριθούν στις επιπτώσεις κατά τον σχεδιασμό (εκτίμηση των μεταγενέστερων επιπτώσεων από την ύπαρξη του έργου, κοινωνική αποδοχή), στις επιπτώσεις κατά την κατασκευή και στις επιπτώσεις από την λειτουργία του έργου.

Κατά την κατασκευή/λειτουργία του έργου οι επιπτώσεις γίνονται άμεσα (ή τουλάχιστον με σχετική αμεσότητα) αντιληπτές και είναι συνήθως ευρέως κατακριτέες από το κοινωνικό σύνολο. Τα αίτια των επιπτώσεων πολλές φορές οφείλονται στον σχεδιασμό.

Είναι κοινά αποδεκτό πως η φάση του σχεδιασμού αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο όχι μόνο για την επιτυχή λειτουργία ενός τεχνικού έργου αλλά και την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Στην φάση αυτή μπορεί και πρέπει να προβλέπονται πιθανές επιπτώσεις από την ύπαρξη, την κατασκευή και την λειτουργία του τεχνικού έργου

Οι όποιες επιπτώσεις του περιβάλλοντος λόγω των κατασκευαστικών διαδικασιών μπορεί να οφείλεται σε δύο κυρίως παράγοντες: την ύπαρξη του εργοταξίου, καθώς και τις εργασίες σε αυτό.

Η κατασκευή και λειτουργία τεχνικών έργων έχει επιπτώσεις τόσο στα επιφανειακά, όσο και στα υπόγεια ύδατα, ανάλογα με το είδος και τη φύση του τεχνικού έργου

α. Επιπτώσεις κατά τη διάρκεια κατασκευής

Κατά την διάρκεια κατασκευής οι ανεπιθύμητες καταστάσεις που θα παρατηρηθούν, σχετικές με την παρουσία των υπόγειων νερών είναι οι εξής (Δ. Νασούλης, 2002):

- Εισροές νερών στη σήραγγα
- Ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα
- Πιθανές αλλαγές στη διεύθυνση ροής των υπόγειων νερών.
- Περιοδική ρύπανση - μόλυνση των υπόγειων νερών
- Επαφή θερμομεταλλικών νερών
- Διόγκωση των πετρωμάτων
- Μείωση τιμών μηχανικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων
- Καθιζήσεις στην επιφάνεια.

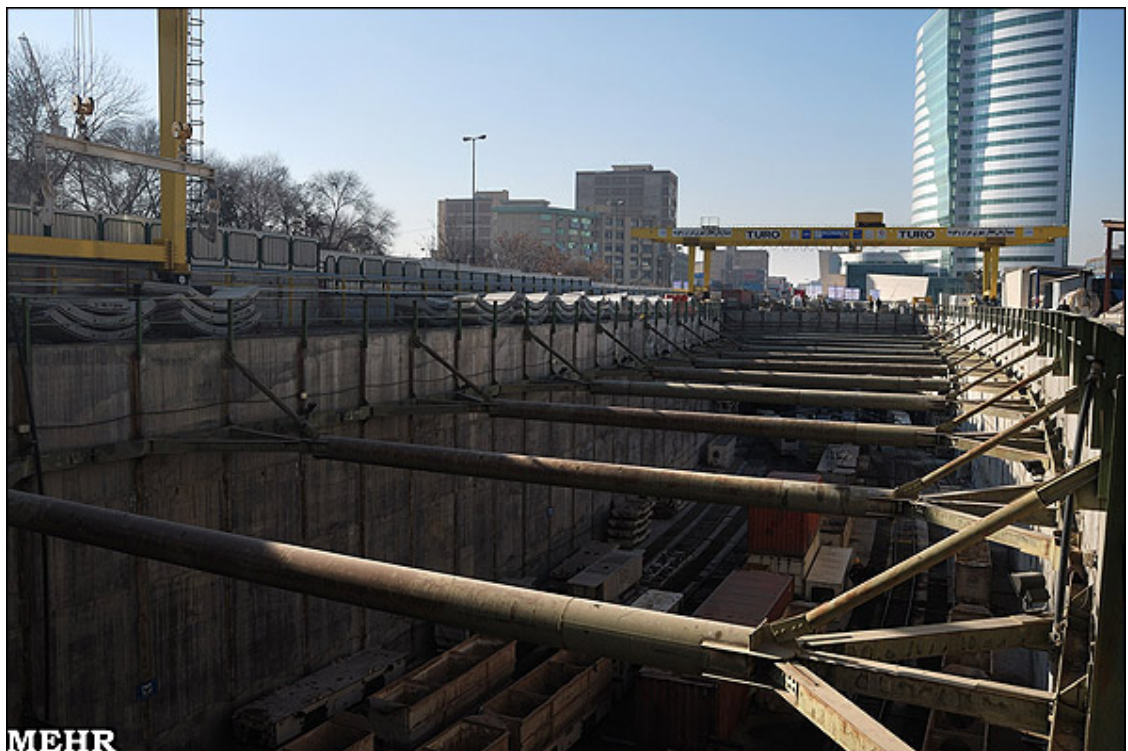
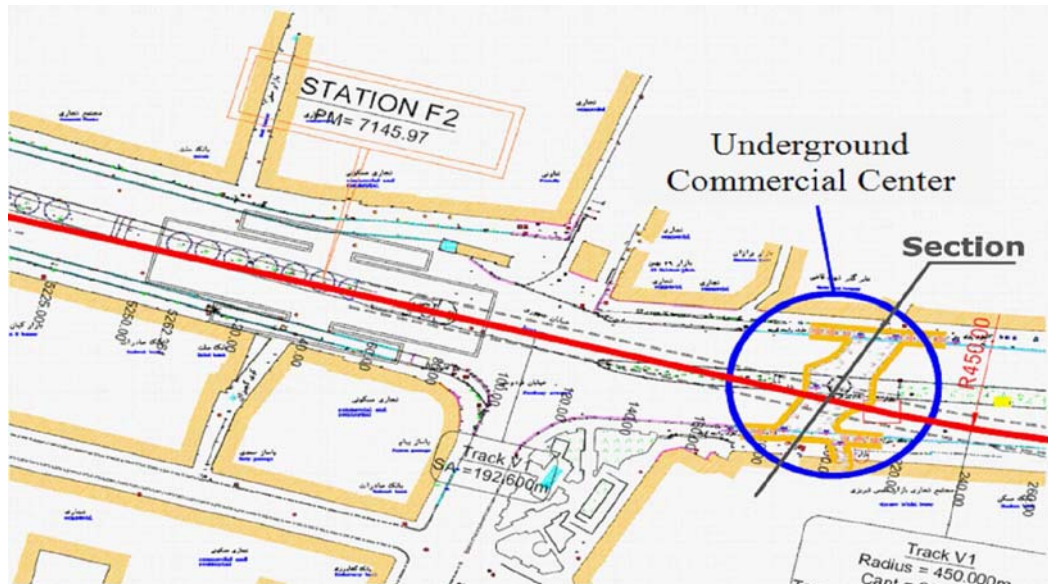
Το είδος και η έκταση των παραπάνω επιπτώσεων εξαρτάται από το είδος και το μέγεθος του εκάστοτε τεχνικού έργου.

Στη παρούσα εργασία αναφέρονται ανεπιθύμητες καταστάσεις σχετικές με τη παρουσία του υπογείου νερού που επιφέρουν δυσκολία στην ίδια την κατασκευή (Υδροφορίες υπό πίεση), ή υδρογεωλογικές συνθήκες που προκαλούν , εδαφικές παραμορφώσεις σε δεύτερη φάση μέσω ταπεινώσεων και ανυψώσεων του Υ.Ο.

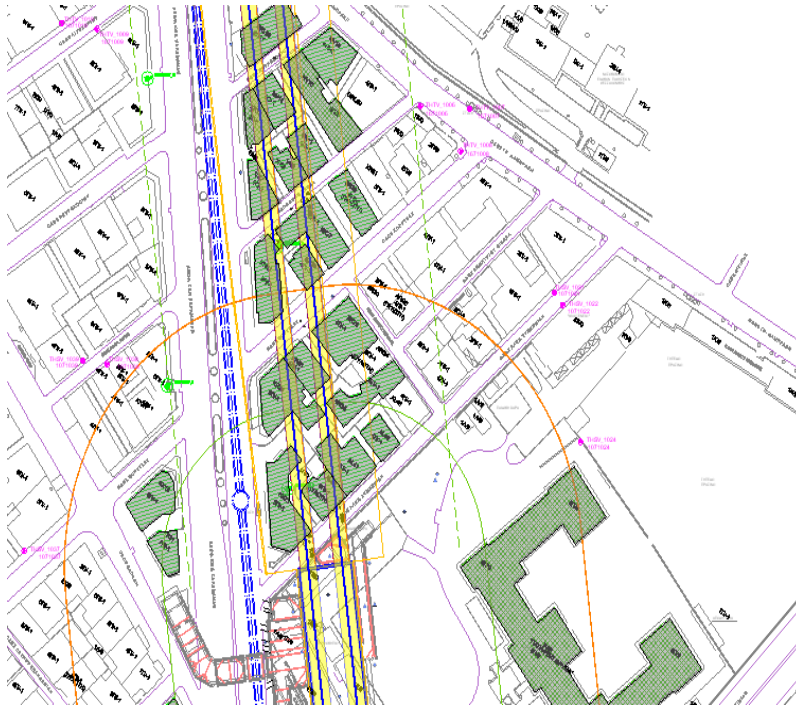
1.6 Η ΔΥΣΚΟΛΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΥΠΑΡΕΞΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Η σύγχρονη ανάπτυξη των πόλεων και οι αυξημένες ανάγκες μετακίνησης με την ταυτόχρονη αυξημένη απαίτηση για άνεση και το μειωμένο χρόνο ταξιδιού, επιβάλλουν λοιπόν σε μεγάλο βαθμό, την επέκταση των υφιστάμενων δικτύων υπόγειων συγκοινωνιών στις μεγάλες πόλεις όλου του κόσμου. Κατά τη μελέτη και κατασκευή ενός τέτοιου έργου δεν απαιτείται όμως μόνο όπως παραπάνω αναφέρθηκε η άριστη γνώση του γεωλογικού- γεωτεχνικού μοντέλου της ευρύτερης αστικής περιοχής αλλά επιβάλλεται να ληφθούν υπόψη οι ειδικές απαιτήσεις των υφιστάμενων, γειτονικών ή υπερκείμενων κτιρίων και υποδομών. Ως παράδειγμα μπορούν να

αναφερθούν οι περιπτώσεις συνδετήριων κόμβων με υφιστάμενα συγκοινωνιακά έργα ή βαθιές θεμελιώσεις υφιστάμενων κατασκευών (Σχήματα 2 και 3).



Σχήμα 2. Ανάπτυξη έργων μετρό στο TABRIZ του IPAN κάτω από κεντρικές
συγκοινωνιακές αρτηρίες της πόλης (Metro Construction in Tabriz, Iran
Mahsa Jamali,)



Σχήμα 3. Οι δυο κλάδοι δίδυμων σηράγγων διέρχονται ακριβώς κάτω από τα θεμέλια οικοδομών λίγο πριν τη είσοδο στο σταθμό Παπάφη (Χάρτης από την ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)

Κατά μήκος της χάραξης των έργων μετρό και γύρω από τους σταθμούς του (Σχήμα 3) υπάρχουν λοιπόν όλα τα είδη κτηρίων και κατασκευών, δηλαδή μνημεία, μονοκατοικίες ή πολυκατοικίες από οπλισμένο σκυρόδεμα ή άοπλη αργιολιθοδομή με ή χωρίς υπόγεια, κτήρια δημοσίου ενδιαφέροντος εκπαιδευτικά κτήρια, νοσοκομεία, ευαίσθητα και τρωτά κτήρια, φθαρμένες ή βλαμμένες κατασκευές γέφυρες, δίκτυα οργανισμών κοινής ωφέλειας, μεγάλα αποχετευτικά συστήματα κλπ.

Η προστασία και η ελαχιστοποίηση των βλαβών αυτών των κτηρίων και κατασκευών αποτελούν θέματα μεγάλης σημασίας για τα έργα μετρό.

Η κατασκευή του υπόγειου έργου θα προκαλέσει αναπόφευκτες διαταραχές και μετακινήσεις του εδάφους περίξ των σηράγγων η τις εκσκαφές οι οποίες ενδέχεται να προκαλέσουν καθιζήσεις στην επιφάνεια του εδάφους.

Η μελέτη και η κατασκευή τόσο των προσωρινών όσο και των μόνιμων έργων θα γίνεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να περιοριστούν οι μετακινήσεις, καθώς και η αποστράγγιση του εδάφους στο ελάχιστο.

Γενικά μια υπόγεια κατασκευή πχ σήραγγα που βρίσκεται κάτω από το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα λειτουργεί ως αποδέκτης των υπόγειων νερών της περιοχής.

Το υπόγειο νερό ρέει μέσα στο εσωτερικό της σήραγγας σε μεγάλες ποσότητες και με μεγάλες ταχύτητες η στάζει από την οροφή η τα πλάνα της τοιχώματα σε πλήρη αντιστοιχία από το πρωτογενές η δευτερογενές πορώδες και τα εκάστοτε υδραυλικά, υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του υπερκείμενου εδάφους – πετρώματος.

Οι ροές αυτές οδηγούν στη ταπείνωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα της γύρω περιοχής και στη συνέχεια μέσω διαδικασιών στερεοποίησης του εδάφους που αποστραγγίζεται δημιουργούνται καθιζήσεις που μπορεί να αναπτυχτούν έως την επιφάνεια του εδάφους και να προκαλέσουν παραμορφώσεις στις υπάρχουσες κατασκευές.

Άλλες φορές πάλι η κατασκευή του έργου μπορεί να προκαλέσει σημαντικές ανυψώσεις στον υδροφόρο ορίζοντα με αποτέλεσμα τη διαβροχή εδαφών της ακόρεστης ζώνης με αποτέλεσμα την υποβάθμιση των γεωτεχνικών τους παραμέτρων και την ανάπτυξη καθιζήσεων υπό του εξωτερικού σταθερού φορτίου , δημιουργώντας εξίσου σημαντικά προβλήματα στο δομημένο αστικό περιβάλλον.

Τέλος προβλήματα μπορεί να δημιουργήσει αντίστροφα το υπόγειο νερό στο έργο εάν για παράδειγμα αναμένονται βίαιες ή αιφνίδιες εισροές σημαντικών ποσοτήτων νερού πχ από το μέτωπο μιας εκσκαπτόμενης σήραγγας λόγω συνάντησης πολύ υδατοπερατών γεωλογικών στρωμάτων η συνάντησης υδροφόρων οριζόντων υπό πίεση.

Είναι λοιπόν παρά πολύ σημαντικό για την ορθολογική διαχείριση του έργου τόσο η λεπτομερής και ενδελεχής διερεύνηση της γεωλογίας – υδρογεωλογίας καθώς και η αξιολόγηση όλων των γεωτεχνικών προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν κατά τη κατασκευή και να επιφέρουν προβλήματα στο δομημένο αστικό περιβάλλον.

Όλα αυτά επιτυγχάνονται όπως θα δούμε παρακάτω με μια σειρά διερευνητικών εργασιών που καταλήγουν στη σύνταξη της γεωλογικής - υδρογεωλογικής μελέτης και κατά συνέπεια στη δημιουργία του γεωλογικού – υδρογεωλογικού μοντέλου.

Αυτό το μοντέλο μας δίνει σημαντικές πληροφορίες για τη λειτουργία του υπόγειου νερού πριν κατά τη διάρκεια, όσο και μετά τη κατασκευή του υπόγειου έργου.

1.7 ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ . ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΕΙΣ.

Έτσι στα πλαίσια αυτής της λειτουργίας και αφού κατανοήσουμε πλήρως τη γεωλογία – υδρογεωλογία της περιοχής, βάσει συγκεκριμένων παραδοχών και βασικών αρχών σχεδιασμού επιλέγεται ο ασφαλέστερος και οικονομικότερος τρόπος κατασκευής του έργου.

Στη παρούσα εργασία αναλύεται το παράδειγμα της κατασκευής του Μετρό Θεσσαλονίκης όπου για τα πρόσφατα και χάλαρα ιζήματα με υψηλή στάθμη υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα που περιβάλλουν τις υπόγειες κατασκευές, το έργο βασίστηκε στη παραδοχή του μη επηρεασμού κατά το δυνατόν της υπόγειας στάθμης που θα επέφερε στερεοποιήσεις και συνεπώς καθιζήσεις σε μια ενδεχόμενη ταπείνωσή της.

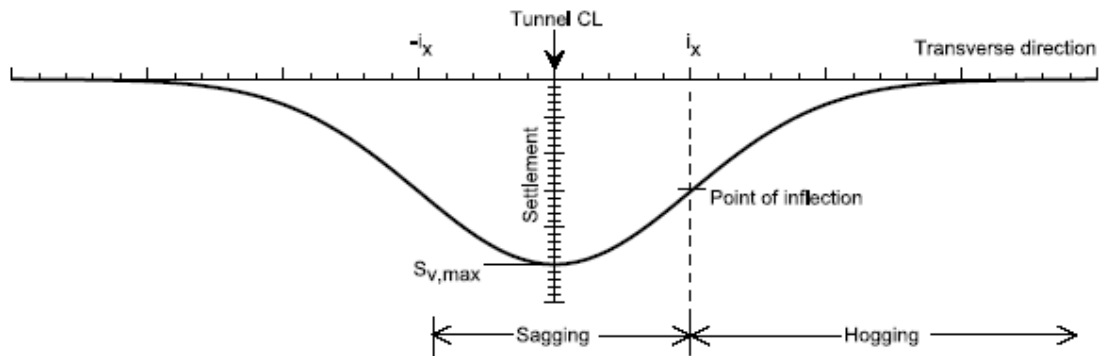
Έτσι η επιλογή μηχανήματος διάνοιξης των σηράγγων βασισμένο στη παραδοχή αυτή οδήγησε στη χρησιμοποίηση μηχανήματος TBM – EPB με εξισορρόπηση πίεσης μετώπου, ενώ.

για τη κατασκευή των σταθμών κατασκευή με διαφραγματικούς τοίχους χωρίς υποβιβασμό της υπόγειας στάθμης.

Σε παρακάτω κεφάλαιο αναλύονται οι δυο βασικές μέθοδοι κατασκευής σταθμών και σηράγγων που επελέγησαν για το Μετρό Θεσσαλονίκης με στόχο την απόλυτη ασφάλεια που επιτυγχάνεται μόνο στη περίπτωση που δεν έχουμε υποβιβασμό της πιεζομετρικής στάθμης.

Σε γενικές γραμμές το αποτέλεσμα είναι το αναμενόμενο και η επιρροή των υπογείων εργασιών στην επιφάνεια είναι μηδαμινή , όμως σε πολλά σημεία όπου είτε αναμένονται ειδικές γεωλογικές–υδρογεωλογικές συνθήκες είτε γιατί λόγω της δυσκολίας που εμπεριέχει η πλήρης διερεύνηση όλων των προβλημάτων, δημιουργούνται μη αναμενόμενες απρόβλεπτες καταστάσεις (ταπεινώσεις, ανυψώσεις Υ.Ο, συνάντηση σχηματισμών υπό πίεση), που επιφέρουν διαφοροποιήσεις στον υδροφόρο ορίζοντα, δυσκολεύοντας έτσι τη κατασκευή του έργου και με τελικό αποτέλεσμα εμφάνιση ανεπιθύμητων παραμορφώσεων στο έδαφος (σχήμα 4) και πιθανόν στο αστικό δομημένο περιβάλλον (συγκλίσεις καθιζήσεις), που πρέπει να αντιμετωπιστούν πλέον κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

Στην Εργασία αυτή αναλύονται τέτοια υδρογεωλογικά προβλήματα που δημιουργήθηκαν κατά τη κατασκευή του Μετρό Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 4. Ανάπτυξη ανεπιθύμητων παραμορφώσεων στο εδάφους από διάνοιξη σήραγγας μετρό (Ε. ΠΕΠΠΑΣ 2014)

2. ΤΟ ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΓΥΡΩ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η ζώνη χάραξης του Μετρό, διασχίζει ουσιαστικά κεντροβαρικά την πόλη της Θεσσαλονίκης, από τα βορειοδυτικά (Σιδηροδρομικός σταθμός) έως τα νοτιοανατολικά (Ν. Ελβετία και Ντεπό), σε ένα μήκος 9,7 km περίπου (Σχήμα 5).

Η χάραξη ξεκινά από την οδό Μοναστηρίου όπου προβλέπεται ο Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός και αναπτύσσεται επί της οδού Εγνατίας, με προβλεπόμενους διαδοχικά τους σταθμούς: «Πλατεία Δημοκρατίας», «Βενιζέλου», «Αγίας Σοφίας», «Συντριβάνι», «Πανεπιστήμιο» και «Παπάφη». Μετά τον Σταθμό «Παπάφη», η χάραξη κάμπτεται προς τα νοτιοδυτικά με τον προβλεπόμενο Σταθμό «Ευκλείδη» και αμέσως μετά προς τα νοτιοανατολικά, ακολουθώντας αρχικά την οδό Δελφών, με τους Σταθμούς «Φλέμιγκ» και «Αναλήψεως» και στη συνέχεια με τους Σταθμούς «Πατρικίου» και «Βούλγαρη». Μετά τον Σταθμό «Βούλγαρη», η χάραξη αναπτύσσεται προς τα δυτικά με προβλεπόμενο Σταθμό τον «Ν. Ελβετία» και τέλος στρέφεται ξανά προς τα νότια μέχρι το μηχανοστάσιο «Ντεπό» (βλέπε Σχέδιο).

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-IMPREGILO-ANSALDO T.S.F.-SELI-ANSALDOBREDΑ 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. Γραμμή με δύο ανεξάρτητες σήραγγες μονής τροχιάς 18 υπέρ-αυτόματοι συρμοί τελευταίας τεχνολογίας, πλήρως κλιματιζόμενοι, οι οποίοι θα κινούνται χωρίς οδηγό αλλά με συνοδό σύστημα αυτόματων θυρών επί των αποβάθρων κάθε σταθμού για καλύτερη εξυπηρέτηση και μέγιστη ασφάλεια του επιβατικού κοινού δημιουργία αμαξοστάσιου στην έκταση 50.000 τμ στην περιοχή της Πυλαίας.



Σχήμα 5. Χάρταξη έργου μετρό Θεσσαλονίκης (www.ametro.gr)

2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΚΑΙ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

2.2.1 ΣΤΑΘΜΟΙ

Οι σταθμοί του μετρό Θεσσαλονίκης θα κατασκευαστούν με τη μέθοδο επικάλυψης και εκσκαφής – στα Αγγλικά cover & cut ή αλλιώς top-down (Σχήμα 6)

Τα στάδια αυτής της κατασκευής είναι τα ακόλουθα:

Κατασκευάζονται από την επιφάνεια τα κατακόρυφα πετάσματα αντιστήριξης (πάσσαλοι, διαφραγματικοί τοίχοι, κλπ.) περιμετρικά της εκσκαφής που θα ακολουθήσει, γίνεται μια πρώτη εκσκαφή ως τη στάθμη της πλάκας οροφής της κατασκευής. Αναλόγως του βάθους της εκσκαφής αυτής μπορεί να χρειασθεί μια μικρή αντιστήριξη των παρειών, σκυροδετείται η πλάκα οροφής επί του πυθμένος της εκσκαφής. Η πλάκα συνδέεται με την περιμετρική αντιστήριξη και στηρίζεται επ' αυτής γίνεται επίχωση πάνω από την πλάκα και αποκαθίσταται η επιφάνεια του εδάφους, ξεκινά η εκσκαφή για το σταθμό ή τη σήραγγα κάτω από τη πλάκα οροφής μέσω ράμπας που έχει αφεθεί σε κάποιο σημείο. Η εκσκαφή γίνεται κατά στάδια ενώ τοποθετούνται διαδοχικά τα απαιτούμενα στοιχεία αντιστήριξης (πχ αγκύρια, αντηρίδες). Αφού τελειώσει η εκσκαφή ολόκληρου του ορύγματος ξεκινά η κατασκευή των στοιχείων του μόνιμου φορέα. Τα στοιχεία αυτά είναι συνήθως η πλάκα δαπέδου (θεμελίωσης) και τα πλευρικά τοιχεία, ενώ εάν πρόκειται για σταθμό είναι και η κατασκευή των ενδιάμεσων πλακών των ορόφων. Εάν γίνει χρήση διαφραγματικών τοίχων ως πλευρική αντιστήριξη, δεν κατασκευάζονται άλλοι μόνιμοι τοίχοι, καθόσον οι ίδιοι διαφραγματικοί τοίχοι παίζουν το ρόλο και της τελικής περιμετρικής κατασκευής



Σχήμα 6. Μέθοδος κατασκευής υπόγειου σταθμού (top down) (www.ametro.gr)

2.2.2 ΣΗΡΑΓΓΕΣ

Η κατασκευή των σηράγγων θα πραγματοποιηθεί μηχανοποιημένα και συγκεκριμένα με μηχανήμα διάνοιξης σηράγγων TBM – EPB.

Η αρχή λειτουργίας της μηχανής με ασπίδα EPB, σε ασταθείς εδαφικές καταστάσεις, 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 τη δυναμική εισροή νερού. Η φυσική πίεση του εδάφους ποικίλει από 1 έως 4 bar και εξαρτάται από τα υπερκείμενα. Η εξισορρόπηση του μετώπου καθώς το EPB προωθείται επιτυγχάνεται κρατώντας τον θάλαμο της κοπτικής κεφαλής μπροστά από το κλειστό διάφραγμα και τον ατέρμονα κοχλία μεταφοράς προϊόντων εκσκαφής γεμάτο από υλικό εκσκαφής. Το εξορυγμένο υλικό αποσπάται με ελεγχόμενο τρόπο μέσω ενός μεταφορικού ατέρμονα κοχλία, μαζί με τους ρυθμιστικούς παράγοντες, από το θάλαμο της κοπτικής κεφαλής.

Η κεφαλή κοπής του EPB είναι εξοπλισμένη με σταθερούς κοπτικούς δίσκους, σιαγόνες σύνθλιψης και ρυθμιζόμενους έκκεντρους μονταρισμένους κοπτικούς

δίσκους, οι οποίοι επιτρέπουν υπερεκσκαφή μέχρι και 30 χιλιοστά περιμετρικά της κεφαλής κοπής.

Η ασπίδα EPB είναι ικανή να λειτουργήσει σε «open mode», όπου ο ατέρμων κοχλίας και ο θάλαμος της κεφαλής κοπής δεν λειτουργεί υπό πίεση και σε «close mode», όπου ο ατέρμων κοχλίας και ο θάλαμος της κεφαλής κοπής λειτουργεί υπό πίεση. Το EPB χωρίζεται σε δύο κύρια τμήματα:

- την κεφαλή ολομέτωπης κοπής με ασπίδα
- το σύστημα υποστήριξης (back – up)

Η κεφαλή κοπής και το σύστημα υποστήριξης του EPB χωρίζονται σε τομείς για την εύκολη μεταφορά και συναρμολόγησή τους στο εκάστοτε εργοτάξιο. Η πίεση λειτουργίας είναι 3 bar και η εξωτερική διάμετρος της μπροστινής ασπίδας είναι 9,44 μ. Το συνολικό μήκος του EPB είναι 94 μ., ενώ το βάρος του ανέρχεται στους 1.100 τόνους.

Η ασπίδα του EPB σχεδιάστηκε με τρόπο ώστε να αντέχει όλα τα φορτία και τις δυνάμεις που εμφανίζονται από το υπερκείμενο έδαφος, αλλά και από την λειτουργία του μηχανήματος, κανονική ή διορθωτική. Η ασπίδα χωρίζεται στην Πρόσθια, την Κεντρική και την Οπίσθια ασπίδα.

Η κοπτική κεφαλή, που βρίσκεται στην Πρόσθια ασπίδα, είναι μια βαριά κατασκευή, που παρέχει την αναγκαία μηχανική υποστήριξη στο μέτωπο της σήραγγας. Περιλαμβάνει ένα συνδυασμό εναλλασσόμενων σιαγόνων σύνθλιψης και κοπτικών δίσκων. Όλα τα κοπτικά εργαλεία της κεφαλής έχουν σχεδιαστεί έτσι, ώστε να αντικαθίστανται από το πίσω μέρος της κοπτικής κεφαλής, μέσα από τον θάλαμο αποκομιδής των προϊόντων εκσκαφής.

Για να διατηρηθεί ο έλεγχος του εδάφους σε συνάρτηση με την αποκομιδή των προϊόντων εκσκαφής, η εκσκαφή ξεκινά ρυθμίζοντας στον ατέρμονα κοχλία το άνοιγμα της θύρας αποκομιδής του υλικού. Καθώς τα έμβολα προώθησης του μηχανήματος εκτείνονται, τα προϊόντα εκσκαφής γεμίζουν το θάλαμο της κεφαλής κοπής, με αποτέλεσμα το έδαφος μπροστά από το EPB και μέσα στην κοπτική κεφαλή να είναι υπό πίεση. Οι κυψέλες μέτρησης της πίεσης του εδάφους, που βρίσκονται μέσα στον θάλαμο της κοπτικής κεφαλής μετρούν την πίεση του εδάφους και, εάν αυτή υπερβεί ένα συγκεκριμένο όριο, οι υδραυλικά ελεγχόμενες θύρες εκτόνωσης της πίεσης, που βρίσκονται στον περιστρεφόμενο ατέρμονα κοχλία, αναγκάζονται να

ανοίξουν και επιτρέπουν στο υλικό εκσκαφής να περάσει από τις θύρες αυτές στην πρώτη μεταφορική ταινία.

Στην Πρόσθια ασπίδα υπάρχει και μία ανθρωποθυρίδα, δηλ. ένας αεροστεγής θάλαμος, προσαρμοσμένος στις απαιτήσεις των προτύπων ασφαλείας, ο οποίος περιλαμβάνει δύο διαμερίσματα, που λειτουργούν με πίεση εργασίας 3 bar:

- της εκτάκτου ανάγκης (δύο ατόμων
- του κυρίως διαμερίσματος (τεσσάρων ατόμων), για την επέμβαση στην κεφαλή καθώς και την διάτρηση της πίεσης στο έδαφος

Η Πρόσθια ασπίδα είναι ουσιαστικά ανεξάρτητη από την υπόλοιπη ασπίδα και συνδέεται με την Οπίσθια με 28 αρθρωτούς γρύλους, διαμέτρου Φ 160 / 80 χιλιοστά, οι οποίοι λειτουργούν με πίεση 250 bar, έχουν μέγιστη διαδρομή 150 χιλιοστά και επιτρέπουν τον προσανατολισμό της Οπίσθιας ασπίδας σε σχέση με την Πρόσθια, σε κάθε διεύθυνση στο χώρο. Τέσσερις από αυτούς είναι εφοδιασμένοι με σύστημα καταμέτρησης της επιμήκυνσης.

Το έδαφος μπορεί να ρυθμιστεί με πρόσθετα υλικά ώστε να αποκτήσει την αναγκαία πλαστική ρευστότητα, ελέγχοντας τον όγκο που εκσκάπτεται κατά την προχώρηση του EPB. Η πλαστική ρευστότητα του εξορυγμένου υλικού είναι απαραίτητη ώστε να υπάρχει ομαλή ροή πάνω στον ατέρμονα κοχλία να αποφεύγονται οι φθορές στα κοπτικά εργαλεία και στον κοχλία. Τα ρυθμιστικά υλικά προστίθενται διαμέσου του διαφράγματος στο υπό εκσκαφή έδαφος ώστε να διασφαλιστεί ότι το υλικό που βρίσκεται στο θάλαμο της κοπτικής κεφαλής έχει αποκτήσει την επιθυμητή σύσταση. Οι ρυθμιστικοί παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του απλού νερού, της ιλύος με βάση τον μπεντονίτη, τα χημικά πολυμερή και τους παράγοντες με βάση τον αφρό, έχουν εισαχθεί για τρεις λόγους:

Για να λιπαίνεται το υλικό και να διευκολύνεται η ροή του διαμέσου του διαμερίσματος της κοπτικής κεφαλής και του ατέρμονα κοχλία.

Για να βελτιώνεται η διαπερατότητα του υλικού σε πολύ υγρές εδαφικές συνθήκες και να αποτρέπεται η δίοδος του νερού διαμέσου της θύρας εκτόνωσης του ατέρμονα κοχλία

Για να βελτιώνεται η σύσταση του υλικού για καλύτερη διαχείριση της ιλύος, από τη θύρα εκτόνωσης προς την τελική απόθεση

Τα 28 έμβολα ώθησης του EPB είναι τοποθετημένα γύρω από την Οπίσθια ασπίδα, ομαδοποιημένα ανά δύο σε ένα πέδιλο (συνολικά 14 πέδιλα), σχήματος ορθογωνίου παραλληλογράμμου, που έρχεται σε επαφή με τα προκατασκευασμένα στοιχεία. Το υδραυλικό σύστημα των γρύλων είναι σχεδιασμένο να παρέχει δύο λειτουργίες: προέκτασης και επαναφοράς.

Κατά την προχώρηση του μηχανήματος, που συμπίπτει με τη φάση εκσκαφής, τα έμβολα έχουν μικρή ταχύτητα έκτασης και ασκούν μεγάλη πίεση

Κατά την τοποθέτηση της επένδυσης των προκατασκευασμένων στοιχείων (επτά κανονικά στοιχεία και μία κλείδα), τα έμβολα λειτουργούν με μεγάλη ταχύτητα έκτασης και επαναφοράς και ασκούν μικρές πιέσεις, ώστε να αποτραπεί πιθανή κατάρρευση του δακτυλίου.

Πρέπει να τονιστεί ότι στις αρχές λειτουργίας του EPB είναι και η καταγραφή της πίεσης και του όγκου του εισπνεζόμενου ενέματος στο δακτύλιο. Ο κενός χώρος μεταξύ της εξωτερικής επιφάνειας του προκατασκευασμένου δακτυλίου και της περιφέρειας που έχει εκσκαφθεί γεμίζει με ένεμα, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι εδαφικές καθιζήσεις και να σταθεροποιηθεί η επένδυση της σήραγγας. Το ένεμα διοχετεύεται στο δακτυλιοειδές διάστημα με τρεις εμβολοφόρες αντλίες SCHWING, με πίεση λειτουργίας 2 bar.

Η εφαρμογή της Οπίσθιας ασπίδας έχει στόχο να εφοδιάζει συνεχώς με ένεμα (τσιμεντοκονίαμα) το κενό μεταξύ του προκατασκευασμένου δακτυλίου της σήραγγας και του εδάφους μέσω διόδων στο οπίσθιο τμήμα της ασπίδας, εργασία που εκτελείται ταυτόχρονα με την εκσκαφή να αποτρέπει την εισροή υπογείου νερού ή ενέματος στο χώρο τοποθέτησης των νέων προκατασκευασμένων στοιχείων, μέσω δύο περιμετρικών σειρών συρμάτινων βουρτσών, τοποθετημένων στο άκρο της

Ο ατέρμων κοχλίας είναι τοποθετημένος στην Πρόσθια ασπίδα και, μέσω του σφραγισμένου θαλάμου της κοπτικής κεφαλής που λειτουργεί υπό πίεση, μεταφέρει το εκσκαπτόμενο υλικό και το αποθέτει στην πρώτη μεταφορική ταινία. Όταν η κοπτική κεφαλή περιστρέφεται, το σύστημα προώθησης ενεργοποιείται και ο ατέρμων κοχλίας ξεκινά. Η ταχύτητα περιστροφής του κοχλίας είναι που καθορίζει το ρυθμό εκσκαφής και, με την ελεγχόμενη αποκομιδή του υλικού της κεφαλής, εξασφαλίζεται και η ευστάθεια του μετώπου.

Αφαιρώντας το μπροστινό τμήμα του ατέρμονα κοχλία από το χώρο της κεφαλής κοπής, η θύρα ασφαλείας μέσα στο διάφραγμα του θαλάμου εκσκαφής μπορεί να κλείσει και να απομονώσει το θάλαμο. 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. Το σύστημα των μεταφορικών ταινιών έχει ικανότητα 650 μ.3/ώρα εκσκαφής υλικού, ξεκινώντας από τον ατέρμονα κοχλία και, μέσω της σήραγγας, αποθέτει το υλικό στην επιφάνεια του εργοταξίου.

Ο δακτύλιος από προκατασκευασμένα στοιχεία τοποθετείται στην ουρά της Οπίσθιας ασπίδας, μετά από εκσκαφή και προχώρηση 1,5 μ. του EPB. Η τοποθέτηση των προκατασκευασμένων στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα γίνεται από ένα σύστημα ανέγερσης (erector), ο οποίος λειτουργεί με κενό αέρος (βεντούζα), για την ανύψωση και προσωρινή συγκράτηση των στοιχείων μέχρι την τοποθέτησή τους. Στην περίπτωση που χαθεί η παροχή ισχύος, το σύστημα κενού είναι ικανό να διατηρήσει συγκρατημένο το στοιχείο για 30 λεπτά.

Η τοποθέτηση των προκατασκευασμένων στοιχείων ξεκινά από τον πυθμένα της Οπίσθιας ασπίδας του EPB και συνεχίζεται εναλλάξ αριστερά / δεξιά έως την κλείδα. Το ελαστικό παρέμβυσμα, που είναι θερμικά συγκολλημένο στην υποδοχή των όψεων του κάθε προκατασκευασμένου στοιχείου, συμπιέζεται μεταξύ των στοιχείων και των δακτυλίων της σήραγγας, εξασφαλίζοντας την υδατοστεγανότητα αυτής. Τα προκατασκευασμένα στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους και με τον προηγούμενο δακτύλιο με χαλύβδινους κοχλίες υψηλής αντοχής, διαμέτρου 25 χιλιοστά και μήκους 500 χιλιοστά. Τα προωθητικά έμβολα βοηθούν στη στήριξη των στοιχείων, κατά την τοποθέτηση των δακτυλίων της σήραγγας. Το προκατασκευασμένο στοιχείο του πυθμένα της σήραγγας τοποθετείται μετά την ολοκλήρωση της εγκατάστασης του δακτυλίου και στην επίπεδη επιφάνειά του τοποθετούνται οι σιδηροτροχιές τύπου 38 kg/μ., για την ολίσθηση των βαγονιών υποστήριξης του EPB και του τροχαίου υλικού.

Το κέντρο ελέγχου του EPB είναι τοποθετημένο στο 1ο βαγόνι υποστήριξης, σε απόσταση 22 μ. από το μέτωπο εκσκαφής και περιέχει όλα τα απαραίτητα συστήματα καταγραφής και ελέγχου της ασφαλούς λειτουργίας του EPB. Το σύστημα καθοδήγησης SLS – T, που σχετίζεται με τις λειτουργίες του EPB, αναπτύχθηκε από

την εταιρία VM.T Gm.bH και μέρος των χαρακτηριστικών του συστήματος SLS – T είναι τα ακόλουθα:

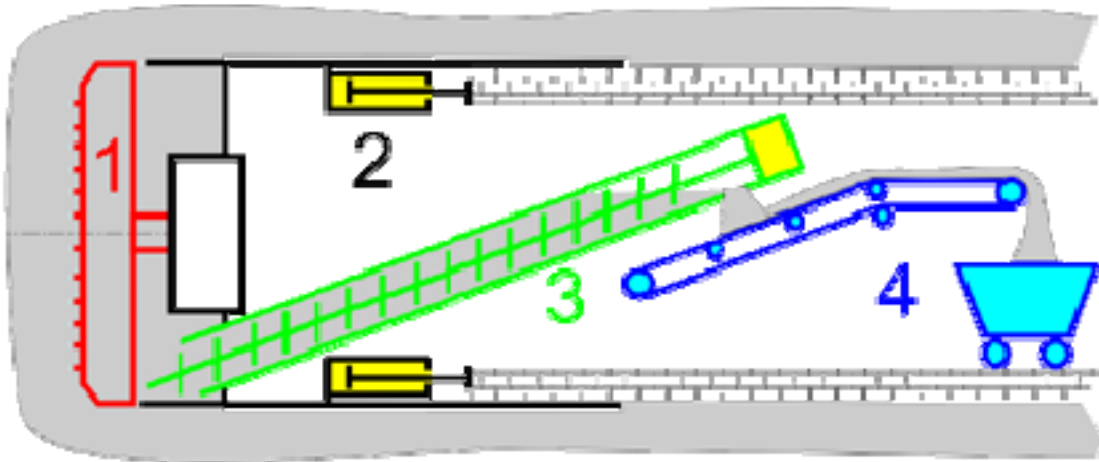
- Υπολογισμοί και εμφάνιση της τρέχουσας θέσης του EPB με γραφικά και αριθμητικά δεδομένα
- Υπολογισμός και εμφάνιση της οριζόντιας και κατακόρυφης θέσης του EPB
- Υπολογισμός της καμπύλης διόρθωσης που οδηγεί το EPB εφαπτομενικά πίσω στον θεωρητικό άξονα της σήραγγας
- Αυτόματη οδήγηση του EPB
- Υπολογισμός της θέσης και του τύπου των μελλοντικών δακτυλίων, οι οποίοι επιλέγονται σύμφωνα με τη γνωστή θέση του EPB και με τις μετρούμενες εκτάσεις των αρθρωτών γρύλων ώθησης
- Εμφάνιση της οθόνης πλοήγησης του μηχανήματος στο γραφείο επιφανείας ή σε οποιοδήποτε άλλο σημείο στον κόσμο μέσω Internet

Η Εμφάνιση της οθόνης πλοήγησης του μηχανήματος στο γραφείο επιφανείας ή σε οποιοδήποτε άλλο σημείο στον κόσμο μέσω Internet σημαντική απόκλιση καθορίζεται μια διορθωτική καμπύλη (οριακή ακτίνα καμπυλότητας 250 μ.), η οποία προοδευτικά επαναφέρει το EPB στους θεωρητικούς κύκλους εκσκαφής.

Το σύστημα υποστήριξης του EPB είναι εφοδιασμένο με:

- Σύστημα μεταφοράς της υποστήριξης
- Κατάστρωμα με σύστημα μονής τροχιάς για εκφόρτωση των στοιχείων της επένδυσης και άλλων υλικών
- Γερανό για εκφόρτωση των στοιχείων της επένδυσης και άλλων υλικών
- Χώρους αποθήκευσης με δίκτυα των πρόσθετων ρυθμιστικών παραγόντων
- Σύστημα αντλιών ενέματος (τσιμεντοκονιάματος) με τα αντίστοιχα δίκτυα
- Σύστημα τροφοδοσία λιπαντικού στη συρματόβουρτσα της ασπίδας
- Υποδομή και σύνδεση με τις επιφανειακές εγκαταστάσεις για αερισμό, επικοινωνία, κεντρική παροχή ρεύματος, πεπιεσμένο αέρα, νερό ψύξης κτλ.
- Εγκαταστάσεις για το προσωπικό (τουαλέτα, τραπεζαρία κτλ.)
- Σύστημα αερισμού του EPB
- Σύστημα ενδοεπικοινωνίας και τηλεφωνικό δίκτυο
- Σύστημα πυροπροστασίας και καταπολέμησης πυρκαγιάς
- Εξοπλισμό πρώτων βοηθειών

Η ολική εγκατεστημένη ισχύς είναι περίπου 3.580 kW



Σχήμα 7. Κατά μήκος τομή μηχανήματος διάνοιξης σιράγγων EPB-TBM
(www.selitunnel.com)



Σχήμα 8. Είσοδος μηχανήματος EPB –TBM σε σκαμμένο υπόγειο σταθμό
Διασταύρωση Συντριβάνι (www.ametro.gr)



**Σχήμα 9. Είσοδος μηχανήματος EPB –TBM σε σκαμμένο υπόγειο σταθμό
Ευκλείδη (Ε. Πέππας, 2011)**

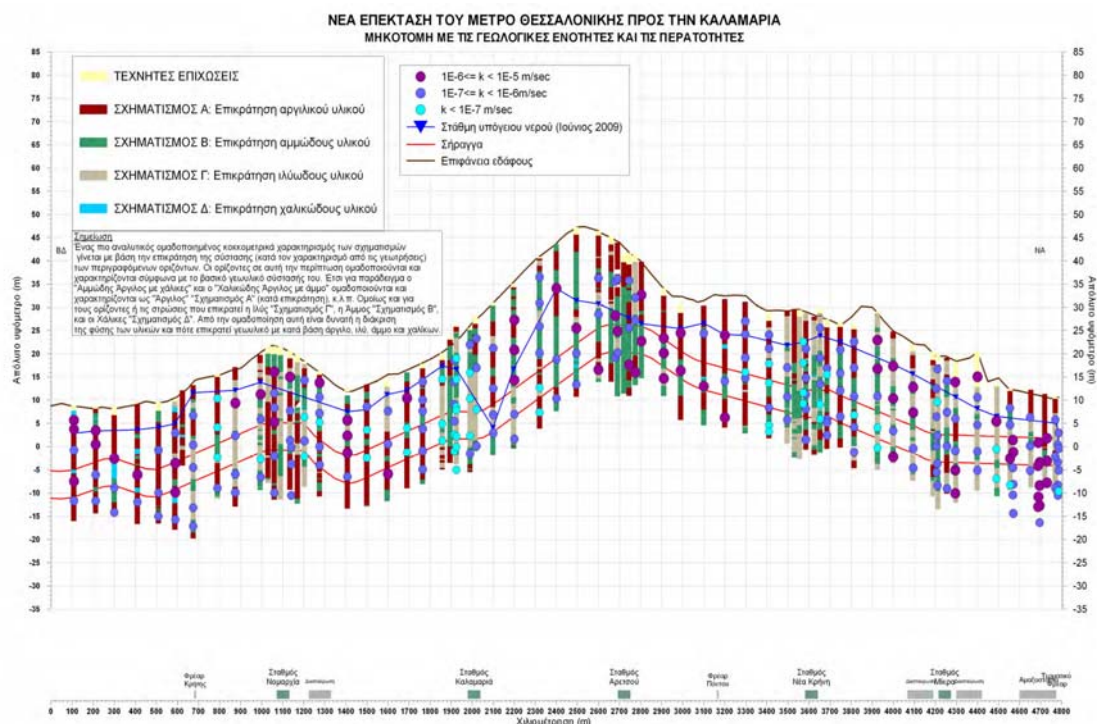
3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ - ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΕΡΓΟΥ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

3.1 ΣΚΟΠΟΣ

Ο ανάδοχος που θα αναλάβει την κατασκευή του έργου θα πρέπει να διερευνήσει πλήρως τις γεωλογικές, υδρογεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες κατά μήκος του έργου (Σχήμα 10).

Σκοπός είναι η κατανόηση των γεωλογικών, γεωτεχνικών και υδρογεωλογικών δεδομένων και η δημιουργία του γεωλογικού – υδρογεωλογικού μοντέλου, που αποτελεί το βασικό εργαλείο για την άρτια μελέτη ενός υπόγειου έργου σε αστικό περιβάλλον που θα οδηγήσει στην ασφαλή, ποιοτική και οικονομική κατασκευή του.

Στη παρούσα εργασία θα αναφερθούμε αρχικά , στην υδρογεωλογική μελέτη υπογείου έργου , στο πως συντάσσεται ,στα διαδοχικά βήματα που ακολουθούμε , στο τι θέλουμε να διερευνήσουμε, τις τεχνικές που εφαρμόζονται και στα ποια εργαλεία χρησιμοποιούμε., ενώ θα παρατεθούν χαρακτηριστικά παραδείγματα από επιλεγμένες θέσεις τόσο του βασικού έργου όσο και των επεκτάσεων του Μετρό Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 10. Μηκοτομή με την κατηγοριοποίηση των γεωυλικών (Σχηματισμός Α, Β, Γ, Δ) και τις τιμές των περατοτήτων για την Επέκταση προς Καλαμαριά (Π.Γ ΜΑΡΙΝΟΣ, Β. ΜΑΡΙΝΟΣ, Δ. ΠΑΠΟΥΛΗ, ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ 2009, α)

3.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Σκοπός της υδρογεωλογικής έρευνας και μελέτης είναι κατ' ελάχιστον:

- Η διερεύνηση των υδρολιθολογικών συνθηκών των γεωλογικών σχηματισμών
- Ο καθορισμός των υδραυλικών παραμέτρων (k , T , S) από βιβλιογραφικές πηγές και επί τόπου δοκιμές και έρευνες (σημειακές ή μη)
- Η διακριτοποίηση υδροφόρων οριζόντων όπου απαιτείται
- Η διερεύνηση της συμπεριφοράς του (των) υδροφόρου (-ων) ορίζοντα (-ων) στις υφιστάμενες συνθήκες πριν την κατασκευή του Έργου
- Η εκτίμηση της συμπεριφοράς του (των) υδροφόρου (-ων) ορίζοντα (-ων) κατά τη κατασκευή και λειτουργία του έργου
- Η διερεύνηση των ποιοτικών χαρακτήρων των υπόγειων νερών και οι επιπτώσεις τους στα υλικά κατασκευών

Η υδρογεωλογική μελέτη βασίζεται και περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον τις ακόλουθες εργασίες:

- Συγκέντρωση των βιβλιογραφικών δεδομένων που αφορούν στα γεωμορφολογικά, γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης ζώνης της χάραξης του Έργου
- Απογραφή των υδροληπτικών έργων (υδρογεωτρήσεων, πηγαδιών) που βρίσκονται σε ζώνη πλάτους τουλάχιστον 700 m με κέντρο τον άξονα της χάραξης. Η απογραφή περιλαμβάνει πληροφοριακά και τεχνικά στοιχεία
- Μετρήσεις στάθμης κατά την απογραφή στα υδροληπτικά έργα και στις γεωτρήσεις της έρευνας ανά μήνα προκειμένου να συνταχθούν πιεζομετρικοί χάρτες.
- Σύνταξη πιεζομετρικών χαρτών με διάκριση περιόδων χαμηλής και υψηλής στάθμης υδάτων

- □ Διερεύνηση στην ευρύτερη περιοχή της χάραξης για την πιθανή ή μη εμφάνιση φαινομένων αρτεσιανισμού των υπόγειων υδάτων στις υφιστάμενες συνθήκες αλλά και σε παρελθούσες
- Δειγματοληψία νερού σε επιλεγμένα σημεία στην ευρύτερη περιοχή του Έργου και εκτέλεση χημικών αναλύσεων προκειμένου να διαπιστωθούν οι ποιοτικοί χαρακτήρες των υπόγειων υδάτων.
- Δειγματοληψία νερού με δειγματολήπτη βάθους και εκτέλεση χημικών αναλύσεων από τις γεωτρήσεις της Έρευνας

3.3 ΕΚΤΕΛΕΣΘΕΙΣΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Οι εργασίες που εκτελούνται για την σύνταξη της υδρογεωλογικής μελέτης συνεπώς και για το έργο του Μετρό Θεσσαλονίκης καθώς και για την επέκταση προς Καλαμαριά διακρίνονται σε

3.3.1 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ

- Απογραφή υδροληπτικών έργων σε ζώνη πλάτους περίπου 1 km με κέντρο τον άξονα της Χάραξης.
- Μετρήσεις της στάθμης κατά την απογραφή στα υδροληπτικά έργα
- Μετρήσεις της στάθμης στις γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν στα πλαίσια των γεωλογικών και γεωτεχνικών ερευνών της επέκτασης του Μετρό προς την Καλαμαριά
- Μετρήσεις της στάθμης στις γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν στα πλαίσια της
- Συμπληρωματικής Γεωτεχνικής Έρευνας του Μετρό Θεσσαλονίκης κυρίως στην περιοχή της αρχής της επέκτασης και του σταθμού Βούλγαρη της κύριας γραμμής του Μετρό Θεσσαλονίκης
- Επιτόπια αυτοψία στην ευρύτερη περιοχή του έργου για να διερευνηθεί η πιθανή ή μη εμφάνιση φαινομένων αρτεσιανισμού των υπόγειων υδάτων
- Γεωλογική αναγνώριση στην ευρύτερη περιοχή μελέτης

- Συγκέντρωση των υφιστάμενων στοιχείων από γεωτρήσεις, πιεζόμετρα που εκτελέστηκαν στα πλαίσια παλαιότερων ερευνών στην περιοχή μελέτης

3.3.2 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΓΡΑΦΕΙΟΥ

- ❖ Συγκέντρωση των βιβλιογραφικών δεδομένων που αφορούν στα γεωμορφολογικά, γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης ζώνης της χάραξης του Έργου
- ❖ Συγκέντρωση των μετρήσεων στάθμης του υπόγειου νερού στα πιεζόμετρα που διανοίχθηκαν στα πλαίσια παλαιότερων γεωλογικών γεωτεχνικών ερευνών.
- ❖ Αξιολόγηση των επί τόπου σημειακών δοκιμών περατότητας (δοκιμές πίπτοντος φορτίου) που εκτελέστηκαν κατά τη διάρκεια παλαιότερων γεωερευνητικών προγραμμάτων .
- ❖ Συγκέντρωση και αξιολόγηση των επί τόπου δοκιμών περατότητας που εκτελέστηκαν κατά την διάρκεια της Συμπληρωματικής Γεωτεχνικής Έρευνας του Έργου.
- ❖ Διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθήκες των γεωλογικών σχηματισμών
- ❖ Διερεύνηση της συμπεριφοράς των υδροφόρων οριζόντων στις υφιστάμενες συνθήκες
- ❖ Καθορισμός των υδραυλικών παραμέτρων από βιβλιογραφικές πηγές και επί τόπου δοκιμές και έρευνες (σημειακές ή μη)
- ❖ Κατασκευή υδρολιθολογικής μηκοτομής
- ❖ Κατασκευή μηκοτομής διακύμανσης της στάθμης του υπόγειου νερού
- ❖ Κατασκευή μηκοτομής κατανομής των περατοτήτων
- ❖ Κατασκευή πιεζομετρικών χαρτών και χαρτών ισοβαθών καμπυλών
- ❖ Διερεύνηση βιβλιογραφικά της εμφάνισης ή μη φαινομένων αρτεσιανισμού των υπόγειων υδάτων στην ευρύτερη περιοχή της χάραξης
- ❖ Διερεύνηση και αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υπόγειων υδάτων ως προς τις επιπτώσεις τους στα υλικά κατασκευής.

Στο παρακάτω κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση στοιχείων –δεδομένων - εργασιών, αξιολογήσεων, που απαρτίζουν μια ολοκληρωμένη και πλήρης Υδρογεωλογική Μελέτη Υπόγειου Έργου σε αστικό περιβάλλον, από αντιπροσωπευτικές και

επιλεγμένες θέσεις του έργου του μετρό Θεσσαλονίκης (βασικό έργο και επέκταση Καλαμαριάς).

3.4 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ

3.4.1 ΑΠΟΓΡΑΦΗ ΥΔΡΟΛΗΠΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Το πρώτο πράγμα που πρέπει να διερευνηθεί στα πλαίσια της υδρογεωλογικής μελέτης στο στάδιο των εργασιών πεδίου είναι ο εντοπισμός και η καταγραφή των παλαιών υδροληπτικών έργων και η πιθανή επιρροή της λειτουργίας τους στη κατασκευή του έργου.

Γίνεται προσπάθεια να εντοπιστούν, καταγραφούν και αποτυπωθούν στη οριζοντιογραφία του έργου όλα τα υδροληπτικά έργα στην περιοχή και κυρίως αυτά που αντλούν μεγάλες ποσότητες νερού.

Για την αρτιότερη και πληρέστερη απογραφή των υδροληπτικών σημείων καταγράφονται για το καθένα τα εξής:

- Γενικά στοιχεία που αφορούν στην περιοχή (διεύθυνση, δήμος κλπ.) και τον ιδιοκτήτη ή χρήστη
- Τεχνικά στοιχεία από πληροφορίες των ιδιοκλήτων/ χρηστών και από τεχνικές εκθέσεις
- Υδραυλικά στοιχεία από τεχνικές εκθέσεις, πληροφορίες των ιδιοκλήτων/ χρηστών και μετρήσεις της υδροστατικής στάθμης κατά την διάρκεια της απογραφής
- Γεωλογικά στοιχεία τα οποία σχετίζονται με τον τύπο του υδροφορέα και το βάθος των υδροφόρων οριζόντων.

Κρίσιμο στοιχείο βέβαια πρέπει να αποτελεί το αν για το καθένα από τα υδροληπτικά έργα υπάρχουν πληροφορίες για τη λειτουργία του και αν είναι δυνατόν για τη συχνότητα και τη δυναμική λειτουργίας της (παροχές άντλησης).

3.4.2 ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΑ ΕΞΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Σε ένα έργο μετρό πλήθος οργάνων παρακολούθησης στάθμης εγκαθίστανται εντός δειγματοληπτικών ή και καταστροφικών γεωτρήσεων που διενεργούνται στα πλαίσια γεωερευνητικών προγραμμάτων με σκοπό τη συνεχή παρακολούθηση της διακύμανσης της υδροστατικής στάθμης.

Τα όργανα είτε είναι μόνου ή διπλού σωλήνα είτε δονούμενης χορδής (λεπτομέρειες αναφορικά δίνονται σε παρακάτω κεφάλαιο).

Για παράδειγμα στην περιοχή της επέκτασης του Μετρό προς την Καλαμαριά εκτελέστηκαν τα εξής γεωερευνητικά προγράμματα:

- ❖ Στα πλαίσια της Συμπληρωματικής Γεωτεχνικής Έρευνας του Μετρό Θεσσαλονίκης, στα πλαίσια του βασικού έργου την χρονική περίοδο 2006 – 2007, από την κοινοπραξία κατασκευής (ΑΕΓΕΚ–IMPREGILO–SELI) από το σταθμό Πατρικίου, ο οποίος είναι και η αρχή της επέκτασης, μέχρι το σταθμό Βούλγαρη, που βρίσκεται σε απόσταση περίπου 150 m από την χάραξη της επέκτασης, εγκαταστάθηκαν 16 πιεζόμετρα ανοικτού τύπου
- ❖ Στα πλαίσια της Γεωτεχνικής Έρευνας της επέκτασης του Μετρό προς την Καλαμαριά, η οποία ανατέθηκε στην κοινοπραξία «Ομίλος Τεχνικών Μελετών ΑΤΕ-Σωτηρόπουλος Και Συνεργάτες ΑΤΕ–Γεωτεχνολογική ΑΤΕ» εγκαταστάθηκαν 55 πιεζόμετρα. Πρόκειται για πιεζόμετρα ανοικτού τύπου, με πλαστικό σωλήνα PVC διαμέτρου 50 mm.

3.4.3 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ

Στα πιεζόμετρα που εγκαθίστανται κατά τη διάρκεια των παραπάνω διερευνητικών προγραμμάτων κεφ. 1.7.2 , αναγκαία για την σωστή και άρτια λειτουργία των οργάνων καθίσταται η διαδικασία ανάπτυξης τους με τη χρήση αέρα και μέχρις επαναφοράς της στάθμης. Κατά το στάδιο αυτό επίσης , από τις καμπύλες επαναφοράς της στάθμης λαμβάνονται στοιχεία για τη δυναμική του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα (K , T) καθώς και για το είδος της υδραυλικής ροής.

Στις γεωτρήσεις που διανοίχθηκαν στα πλαίσια των Γεωλογικών και Γεωτεχνικών Ερευνών της επέκτασης της Καλαμαριάς εκτελέστηκαν εργασίες ανάπτυξης των πιεζομέτρων με τη μέθοδο της επαναφοράς της στάθμης (Air – lift). Η

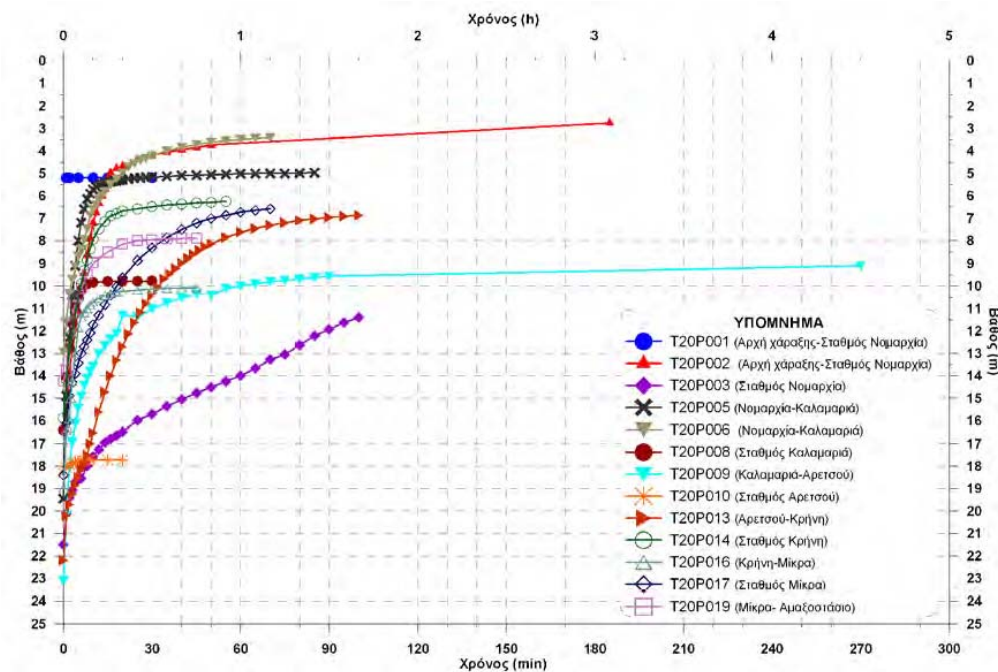
διαδικασία που ακολουθείται κατά την ανάπτυξη ενός πιεζόμετρου είναι συνοπτικά η ακόλουθη:

Αρχικά μετράται η στάθμη του πιεζόμετρου πριν πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε εργασία. Στη συνέχεια τοποθετείται σωλήνας 1/2" στο βαθύτερο σημείο της γεώτρησης. Το κατώτερο άκρο του μεταλλικού σωλήνα (μήκους περίπου 1.5m) είναι διάτρητο (μεταλλικό ακροφύσιο) έτσι ώστε η έξοδος είτε του νερού είτε του αέρα να γίνεται με φορά προς τα πάνω για την αποφυγή καταστροφής του πιεζόμετρου. Στο κατώτερο τμήμα του μεταλλικού ακροφύσιου υπάρχει προσαρμοσμένος περιφραγματικός μεταλλικός σωλήνας (μήκους περίπου 2 m διαμέτρου 1") για την ομαλή έξοδο του νερού – αέρα. Στην αρχή γίνεται καθαρισμός του πιεζόμετρου με διοχέτευση καθαρού νερού μέσα από το μεταλλικό σωλήνα, με χαμηλή και σταθερή ροή καθαρού νερού (της τάξεως των 3 m³/h) μέσω αντλίας νερού. Όταν το νερό βγαίνει από τη γεώτρηση είναι σχετικά διαυγές και χωρίς χονδρόκοκκο υλικό, σταματά το πλύσιμο της γεώτρησης.

Στη συνέχεια συνδέεται ο μεταλλικός σωλήνας με αεροσυμπιεστή χαμηλής πίεσης έως 100 psi και ικανής παροχής και ξεκινά η διαδικασία εισαγωγής αέρα. Σωλήνες συνδέουν τον αεροσυμπιεστή με μεταλλικό ακροφύσιο. Το μεταλλικό ακροφύσιο μήκους 2 m τοποθετείται στο βαθύτερο σημείο της γεώτρησης. Η έξοδος του αέρα στο ακροφύσιο είναι στραμμένη έτσι ώστε να διευκολύνεται η κίνηση του αέρα προς τα πάνω χωρίς να καταστρέφεται το κάτω τμήμα του πιεζόμετρου με εγκλωβισμό αέρα. Η διαδικασία ξεκινάει με προοδευτική αύξηση της πίεσης του αέρα και η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν η μεγαλύτερη ποσότητα του νερού έχει εξέλθει. Η διάρκεια του air – lift είναι τέτοια ώστε από τη γεώτρηση να εξέλθει η μεγαλύτερη δυνατή ποσότητα νερού και το νερό από την επαναφορά να είναι διαυγές.

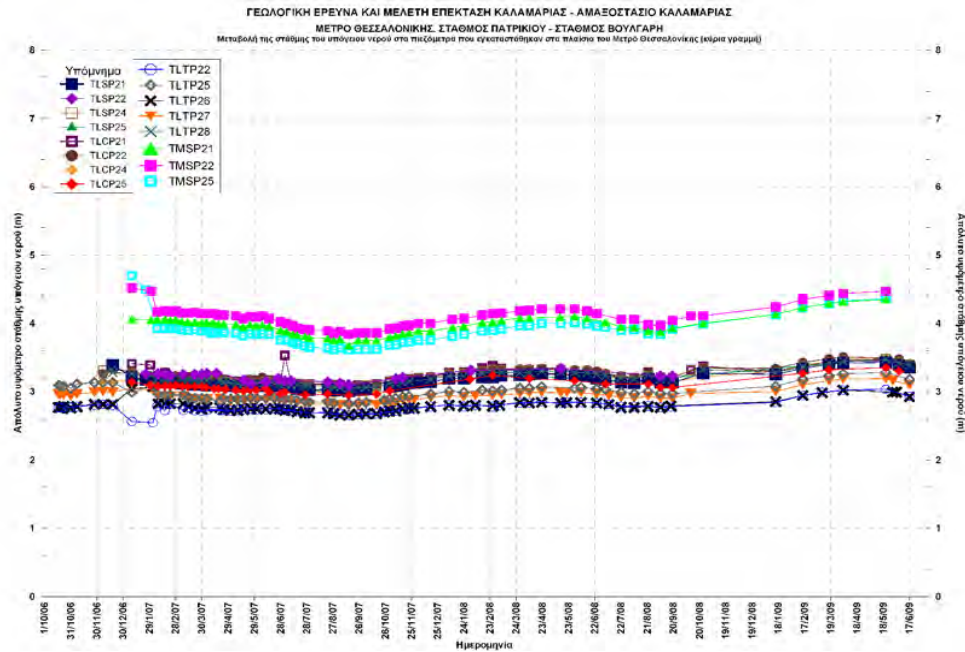
Τέλος, αφού εξέλθει ο μεταλλικός σωλήνας εισόδου νερού–αέρα πραγματοποιούνται μετρήσεις επαναφοράς της στάθμης του πιεζόμετρου με τη πάροδο του χρόνου για τα εξής διαστήματα: Τα πρώτα 10 min ανά 1 min, στη συνέχεια ανά 1 ή 2 min έως την συμπλήρωση μισής ώρας και μετά ανά 5 min ή και περισσότερο, μέχρι την επαναφορά της στάθμης του πιεζόμετρου στην αρχική του στάθμη (ή ωστόσο ο ρυθμός επαναφοράς να παραμένει σταθερός για τουλάχιστον 5 συνεχόμενες μετρήσεις).

Για την αξιολόγηση των μετρήσεων κατά την διάρκεια της εκτέλεσης των air – lifts στα πιεζόμετρα κατασκευάστηκαν διαγράμματα επαναφοράς της στάθμης (Σχήμα 11).

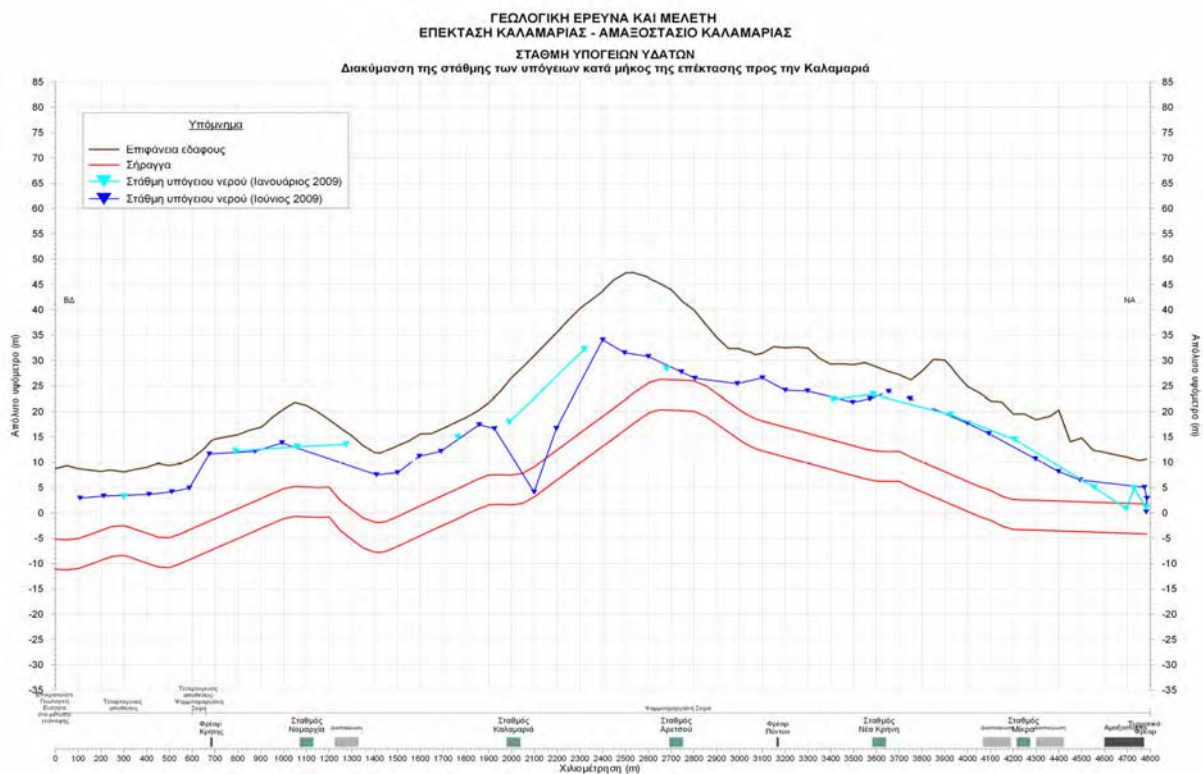


Σχήμα 11. Διάγραμμα επαναφοράς της στάθμης του υπόγειου νερού κατά την διάρκεια της εκτέλεσης των airlifts στα πιεζόμετρα της Γεωτεχνικής Έρευνας της επέκτασης του Μετρό προς την Καλαμαριά (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2009, α)

Μετά το καθαρισμό επιλέγεται συγκεκριμένο πρόγραμμα χειροκίνητων ή και αυτομάτων μετρήσεων, τα δεδομένα καταχωρούνται σε μια βάση δεδομένων κατασκευάζονται διαγράμματα μεταβολής στάθμης χρόνου (σχήμα 12) και μετά από ένα σημαντικό κύκλο εποχικών μετρήσεων κατασκευάζονται μηκοτομές διακύμανσης στάθμης (σχήμα 13) καθώς και χάρτες πιεζομετρίας τόσο για την ξηρή όσο και για την υγρή περίοδο (σχήμα 14)



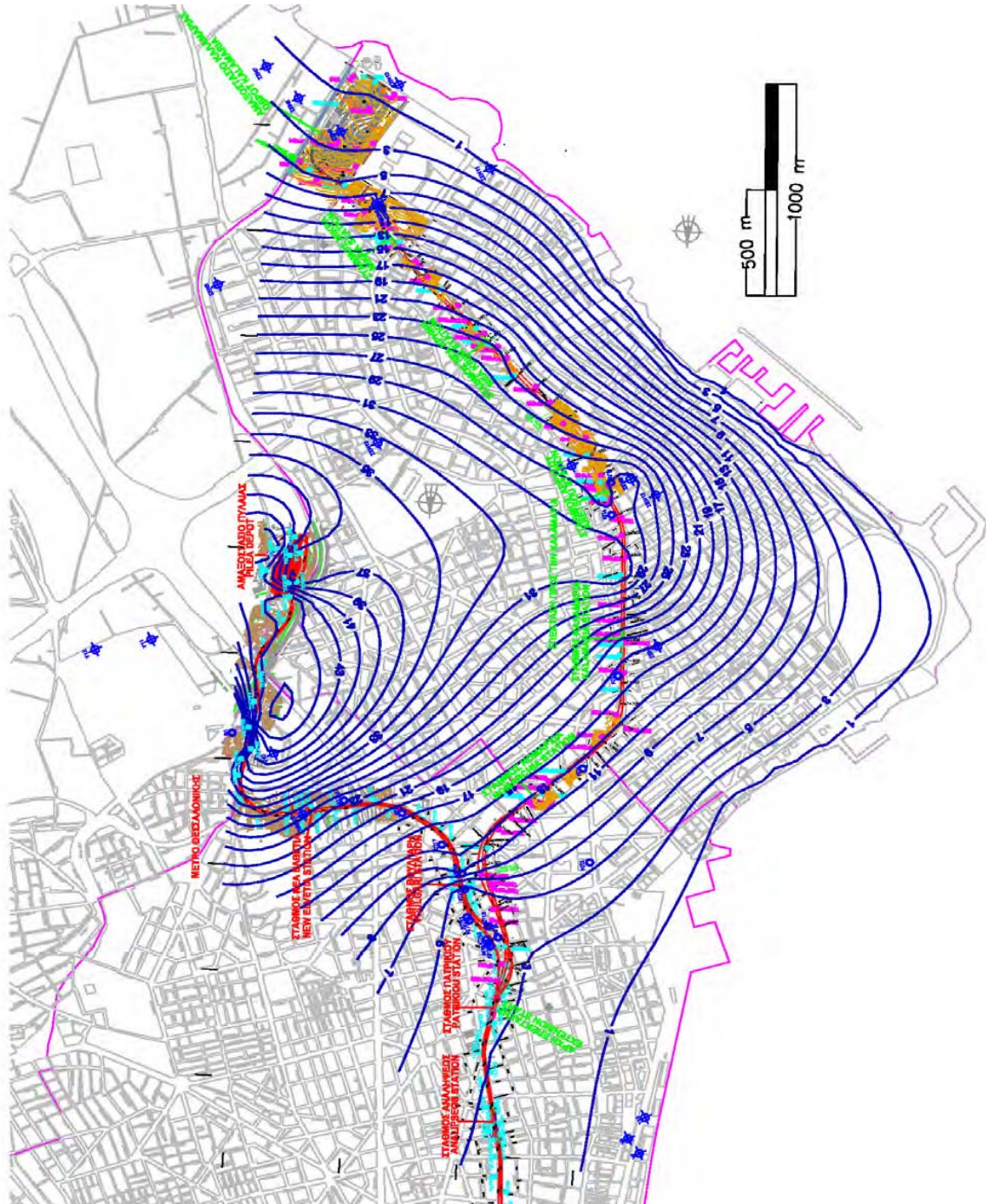
Σχήμα 12. Μεταβολή του απόλυτου υψόμετρου της στάθμης του υπόγειου νερού συναρτήσει του χρόνου στα πιεζόμετρα του Μετρό Θεσσαλονίκης στο τμήμα Σταθμός Πατρικίου – Σταθμός Βούλγαρη ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. 2009,α)



Σχήμα 13. Διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού κατά μήκος της επέκτασης προς την Καλαμαριά (Π.Γ ΜΑΡΙΝΟΣ, Β. ΜΑΡΙΝΟΣ, Δ. ΠΑΠΟΥΛΗ, ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ 2009, β)

3.4.4 ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ

Συντάσσεται με βάση τις μετρήσεις της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα σε μία περίοδο. Στο χάρτη παρουσιάζονται τα σημεία στα οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις στάθμης του υπόγειου νερού, οι ισοπιεζομετρικές καμπύλες, κατά την περίοδο μέτρησης και οι κύριοι και δευτερεύοντες άξονες αποστράγγισης του υπόγειου νερού (σχήμα 14). Οι πιεζομετρικοί χάρτες που συντάσσονται πριν κατά τη διάρκεια αλλά και στο τέλος του έργου παρουσιάζουν την εξέλιξη της επιρροής του ίδιου του έργου στο υπόγειο Υ.Ο. Αποτελούν ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο γιατί αν συναξιολογηθούν μαζί με άλλα σημαντικά στοιχεία όπως περατότητες, μεταβιβαστικότητα μπορούν έγκαιρα και στη φάση της μελέτης να αναγνωρίσουν σημαντικά υδρογεωλογικά προβλήματα. Για παράδειγμα εάν ένας σταθμός χωροθετηθεί κάθετα στις γραμμές ροές του Υ.Ο και κατασκευαστεί και σε σχηματισμό με υψηλές τιμές Κ και Τ θα πρέπει να αναμένονται σημαντικές ανυψώσεις στάθμης ανάντι και αντίστοιχα ταπεινώσεις κατάντι του υπόγειου σταθμού με συνέπεια την εμφάνιση γεωτεχνικών προβλημάτων στη περιοχή γύρω από το σταθμό καθώς και στα γειτονικά κτήρια.



Σχήμα 14. Απόσπασμα πιεζομετρικού χάρτη υγρής περιόδου 2009 για την επέκταση προς Καλαμαριά που δείχνει τις γραμμές ροής του υπογείου νερού (Π.Γ ΜΑΡΙΝΟΣ, Β. ΜΑΡΙΝΟΣ, Δ. ΠΑΠΟΥΛΗ, ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ 2009, α)

3.5 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΓΡΑΦΕΙΟΥ

3.5.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ –ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – (ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΕΡΓΟΥ ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ)

Πολύ σημαντικά στοιχεία για την υδρογεωλογική μελέτη υπόγειου έργου αποτελούν τα γεωμορφολογικά-υδρολογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής του έργου.

Σχετικά με το μετρό και την μελέτη που εκπονήθηκε για την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης έδειξε ότι η πόλη διαρρέεται από επτά (7) χείμαρρους, οι οποίοι αποστραγγίζουν τους γύρω ορεινούς όγκους (τα στοιχεία υπάρχουν σε παλαιότερες γεωλογικές, υδρολογικές μελέτες).

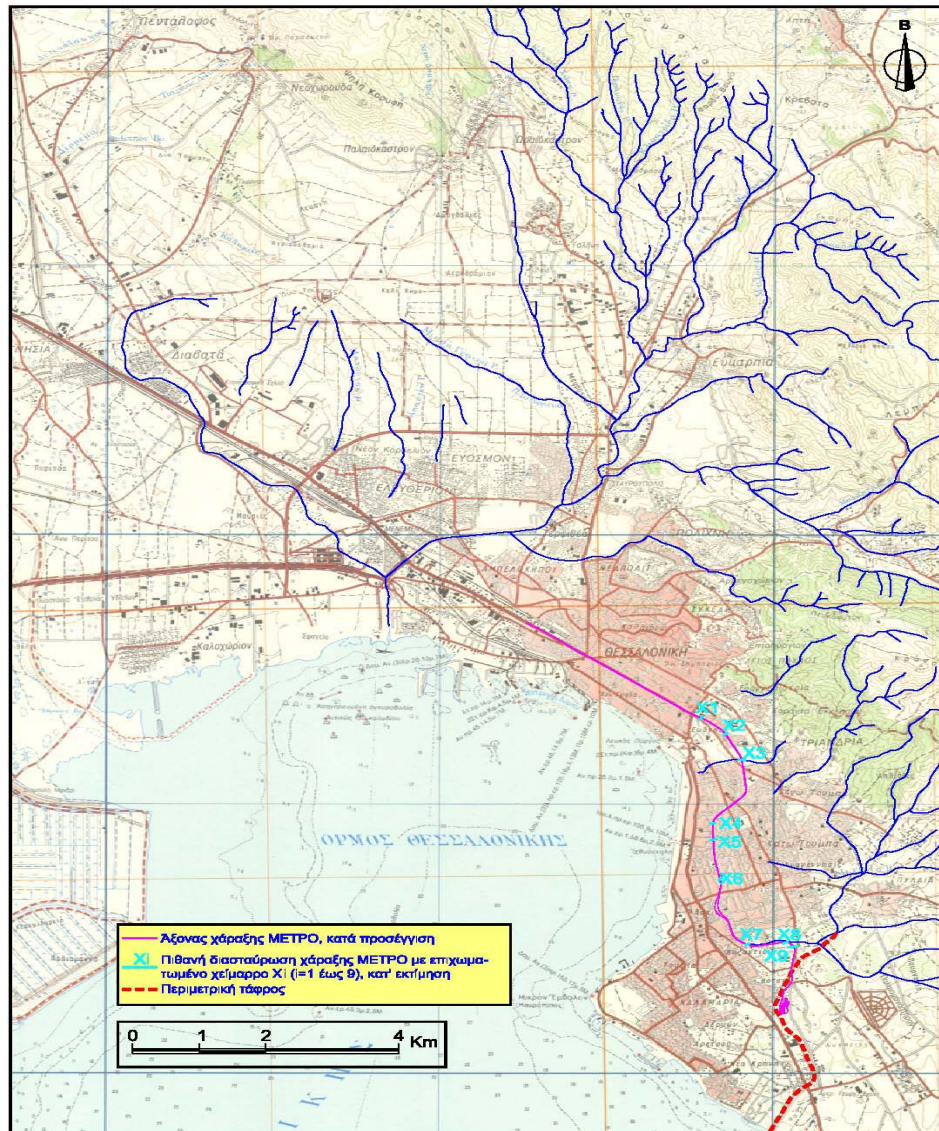
Οι λεκάνες απορροής των ανωτέρω χειμάρρων είναι σημαντικού μεγέθους και καλύπτουν επιφανειακή έκταση 45,7 Km². Παλαιότερα, συχνά η υπερχείλιση των χειμάρρων αυτών προκαλούσε πλημμύρες στην τότε οικιστική περιοχή της Θεσσαλονίκης και γι' αυτό το λόγο το 1954 κατασκευάσθηκε περιμετρική τάφρος μήκους 8,5 Km, η οποία έκτοτε συγκεντρώνει και παροχετεύει προς τη θάλασσα τα ύδατα των ανωτέρω χειμάρρων

Τα όμβρια ύδατα των κατάντι της περιφερειακής τάφρου τμημάτων των λεκανών απορροής παροχετεύονται μέσω ευρέος δικτύου υπονόμων, προς τη θάλασσα. Μετά την κατασκευή των υπονόμων αυτών εντός της οικιστικής περιοχής, η τότε δημοτική αρχή της πόλης της Θεσσαλονίκης επιχωμάτωσε και οικοπεδοποίησε τις κοίτες των χειμάρρων. Σε ορισμένες από τις ανωτέρω επιχωματωμένες κοίτες χειμάρρων είναι δυνατή η ύπαρξη υδροφορίας, καθώς και η εμφάνιση χαλαρών μη συνεκτικών εδαφικών στρώσεων.

Στην εγγύς περιοχή του έργου πιθανολογείται η ύπαρξη 10 επιχωματωμένων κοιτών ρεμάτων, οι οποίοι πιθανών να αποτελούν υπόγειους άξονες αποστράγγισης ένα στοιχείο πολύ σημαντικό για τη μελέτη του έργου. Οι ακριβείς θέσεις των επιχωματωμένων ρεμάτων δεν είναι γνωστές. Κατωτέρω περιγράφονται όμως οι εγγύς της χάραξης πιθανές περιοχές των επιχωματωμένων αυτών κοιτών χειμάρρων.

A/A	ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟ ΕΥΡΟΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΣΕ m
1	2+718 - 2+730 12	12 X1
2	3+190 - 3+200 10	10 X2
3	3+750 - 3+762 12	12 X3

4	5+050 - 5+170	120	X4
5	5+415 - 5+425	10	X5
6	6+150 - 6+160	10	X6
7	7+400 - 7+750	350	X7
8	8+140 - 8+158	18	X8
9	8+300 - 8+310	10	X9
10	8+855 - 8+857		ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΗ ΤΑΦΡΟΣ



**Σχήμα 15. Υδρογραφικό δίκτυο ευρύτερης περιοχής Θεσσαλονίκης (ΑΤΤΙΚΟ
ΜΕΤΡΟ Α.Ε. , 2007, β)**

ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΑ

Κατά το στάδιο αυτό μελέτης ,δίνεται για κάθε γεωλογική ενότητα του έργου η **γενική υδρογεωλογική συμπεριφορά** (χαρακτηρισμός περατότητας), των διαφόρων λιθολογικών τύπων με διάφορα γενικά κριτήρια όπως συμμετοχή λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων υλικών, βαθμό συμπύκνωσης κλπ. Έτσι κατά τη φάση των κυρίων ερευνών έχουμε στα χέρια μας μια γενική εικόνα για την αναμενόμενη υδρογεωλογική συμπεριφορά κάθε σχηματισμού και ένα σαφή προσανατολισμό για το που και πως θα πρέπει να εστιάσουμε τις επί τόπου έρευνες μας.

Κατά τη φάση αυτή χρησιμοποιούνται και βιβλιογραφικά δεδομένα. Έτσι λοιπόν και μετά την ανάλυση των βιβλιογραφικών δεδομένων, η γενική υδρογεωλογική συμπεριφορά των λιθολογικών τύπων και σχηματισμών, ανά Γεωλογική Ενότητα, στην ευρύτερη περιοχή του Έργου του μετρό Θεσσαλονίκης , διαμορφώνεται ως εξής

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

Σύγχρονες Αλλουβιακές Αποθέσεις, Υλικά Χειμάρριων Αποθέσεων και Ερυθρές Άργιλοι του Τεταρτογενούς (Q1 & Q2): Είναι γενικά σχηματισμοί χαμηλής υδροπερατότητας και η υδρογεωλογική συμπεριφορά τους καθορίζεται από το ποσοστό των λεπτοκόκκων υλικών που συμμετέχουν στη δομή τους. Λόγω της αυξημένης συμμετοχής του αργιλικού κλάσματος, κατά θέσεις χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή υδροπερατότητα. Τα αδρόκοκκα υλικά (αμμοχάλικα με κροκάλες), λόγω της ισχυρής ποσοστιαίας συμμετοχής λεπτοκόκκων στη δομή τους, χαρακτηρίζονται επίσης γενικά, σαν σχηματισμοί χαμηλής υδροπερατότητας

Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά του Νεογενούς (Sd-M): Στο σύνολό της η Ψαμμιτομαργαϊκή σειρά συνίσταται από σχηματισμούς χαμηλής έως πολύ χαμηλής υδροπερατότητας. Οι αμιγώς αργιλικοί και αργιλομαργαϊκοί σχηματισμοί, πρακτικά θεωρούνται αδιαπέρατοι, ενώ οι αμμώδεις και ιλυοαμμώδεις στρώσεις, ευνοούν την ανάπτυξη περιορισμένης υδροφορίας, χαρακτηριζόμενες ως χαμηλής υδροπερατότητας. Ενδιάμεση συμπεριφορά έχουν λιθολογικοί τύποι που περιλαμβάνουν συνδυασμούς των παραπάνω, με συμμετοχή και πλέον αδρομερών υλικών. Από τους βραχώδεις και ημιβραχώδεις σχηματισμούς της σειράς, οι

Αργιλόλιθοι και Ιλυόλιθοι, χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή υδροπερατότητα έως πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί, ενώ οι Αμμόμαργες, Ψαμμίτες, Κροκαλολατυποπαγή και μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι, χαρακτηρίζονται από χαμηλή έως πολύ χαμηλή υδροπερατότητα, με ελάχιστη πιθανότητα διακίνησης νερού, λόγω του δευτερογενούς ενεργού πορώδους που οφείλεται στην τεκτονική τους καταπόνηση.

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

3.5.2 ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Εντός των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων και κατά τη διάρκεια ανόρυξης τους, πραγματοποιούνται σημειακές δοκιμές περατότητας σε διάφορα βάθη, που στη συνέχεια ομαδοποιούνται ανά γεωλογικό σχηματισμό, αξιολογούνται και τελικά παρουσιάζονται σε μηκοτομές περατοτήτων για όλο το βάθος ενώ ταυτόχρονα στις τομές αυτές μπορούν να τοποθετηθούν και άλλα χρήσιμα στοιχεία, όπως η γεωλογία ή η στάθμη του Υ.Ο (σχήματα 16 και 17)

Πολλές φορές απαιτείται στατιστική ανάλυση.

Στοιχεία Επιτόπου Δοκιμών Περαιτότητας

Στα πλαίσια του γεωερευνητικού προγράμματος της Συμπληρωματικής Γεωτεχνικής Έρευνας του βασικού έργου του μετρό Θεσσαλονίκης (ΣΓΕ), πραγματοποιήθηκαν 804 συνολικά επιτόπου δοκιμές περατότητας (Maag και Lugeon), σε διάφορα βάθη και σε όλο το μήκος της χάραξης.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα καθώς και η στατιστική ανάλυση για κάθε γεωλογική ενότητα του Μετρό Θεσσαλονίκης

Περαιτότητα ανά Γεωλογική Ενότητα

ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΣΕΙΣ (F): Έγιναν συνολικά 21 δοκιμές περατότητας αποκλειστικά σε υλικά τεχνητών επιχωματώσεων. Συνοπτικά, τα αποτελέσματα της επεξεργασίας, έχουν ως ακολούθως:

Αριθμός Δοκιμών 21

«Ολικές Απώλειες» 10

«Μηδενικές Απώλειες» 1

ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ k (cm/sec) 2,88E-06

ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ k (cm/sec) 2,84E-03

ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ (Μ.Ο.) k (cm/sec) **8,28E-04**

Τυπική Απόκλιση Μ.Ο. 1,05E-03

ΑΝΗΓΜΕΝΟΣ ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ # **4,80E-02**

Με την παραδοχή: k "Ολικών Απωλειών" = 1,00E-01 και k "Μηδενικών Απωλειών" = 1,00E-07

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ (Q): Έγιναν συνολικά 330 δοκιμές περατότητας αποκλειστικά σε Τεταρτογενή ιζήματα του Ολόκαινου (Q1) και του Πλειστόκαινου (Q2).

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα της επεξεργασίας, έχουν ως ακολούθως:

Αριθμός Δοκιμών 330

«Ολικές Απώλειες» 6

«Μηδενικές Απώλειες» 2

ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ k (cm/sec) 7,43E-07

ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ k (cm/sec) 1,52E-02

ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ (Μ.Ο.) k (cm/sec) **3,54E-04**

Τυπική Απόκλιση Μ.Ο. 1,19E-03

Για μία πιο αναλυτική παρουσίαση των περατοτήτων των διαφόρων λιθολογικών τύπων και σχηματισμών, που υπεισέρχονται στην ενότητα των Τεταρτογενών, έγινε περαιτέρω επεξεργασία των δοκιμών, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στη συνέχεια.

α) Λεπτόκοκκα (Καθαρές άργιλοι και ιλύες ή σε προσμίξεις με άμμο ή/και χαλίκια ή/και κροκάλες).

Αριθμός Δοκιμών 93

«Ολικές Απώλειες» 0

«Μηδενικές Απώλειες» 1

ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ k (cm/sec) 1,31E-06

ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ k (cm/sec) 1,52E-02

ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ (Μ.Ο.) k (cm/sec) **2,45E-04**

Τυπική Απόκλιση Μ.Ο. 1,58E-03

β) Αμμοχάλικα (Αργιλώδη ή ιλυώδη, με συμμετοχή κροκαλών κατά θέσεις).

Αριθμός Δοκιμών 69

«Ολικές Απώλειες» 1

«Μηδενικές Απώλειες» 0

ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ k (cm/sec) 2,52E-06

ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ k (cm/sec) 5,12E-03

ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ (Μ.Ο.) k (cm/sec) **5,80E-04**

Τυπική Απόκλιση Μ.Ο. 1,01E-03

Ποικίλη Λιθολογία (Εναλλαγές λεπτοκόκκων–χονδρόκοκκων ή διαφόρων λιθολογικών τύπων).

Αριθμός Δοκιμών 168

«Ολικές Απώλειες» 5

«Μηδενικές Απώλειες» 1

ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ k (cm/sec) 7,43E-07

ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ k (cm/sec) 1,09E-02

ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ (Μ.Ο.) k (cm/sec) **3,24E-04**

Τυπική Απόκλιση Μ.Ο. 9,71E-04

ΨΑΜΜΙΤΟΜΑΡΓΑΪΚΗ ΣΕΙΡΑ (Sd-M): Έγιναν συνολικά 191 δοκιμές περατότητας αποκλειστικά σε σχηματισμούς της Ψαμμιτομαργαϊκής Σειράς. Η πλήρης λίστα των δοκιμών, δίνεται στο Πίνακα 3.3.2.1.3

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα της επεξεργασίας, έχουν ως ακολούθως:

Αριθμός Δοκιμών 191

«Ολικές Απώλειες» 0

«Μηδενικές Απώλειες» 6

ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ k (cm/sec) $3,95E-07$

ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ k (cm/sec) $6,35E-03$

ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ (Μ.Ο.) k (cm/sec) **$7,85E-05$**

Τυπική Απόκλιση Μ.Ο. $4,77E-04$

ΣΕΙΡΑ ΕΡΥΘΡΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ (RC): Έγιναν συνολικά 218 δοκιμές περατότητας αποκλειστικά σε σχηματισμούς της Σειράς Ερυθρών Αργίλων. Η πλήρης λίστα των δοκιμών, δίνεται στο Συνοπτικά, τα αποτελέσματα της επεξεργασίας, έχουν ως ακολούθως:

Αριθμός Δοκιμών 218

«Ολικές Απώλειες» 7

«Μηδενικές Απώλειες» 19

ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ k (cm/sec) $7,34E-09$

ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ k (cm/sec) $2,02E-03$

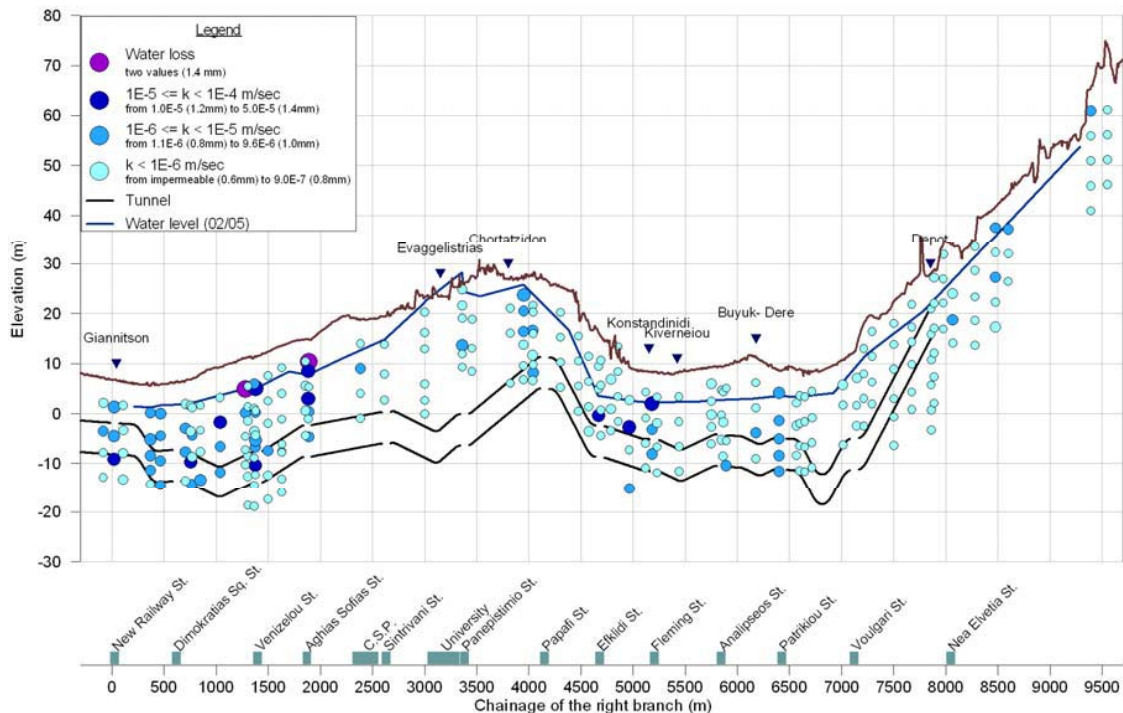
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ (Μ.Ο.) k (cm/sec) **$7,99E-05$**

Τυπική Απόκλιση Μ.Ο. $2,63E-04$

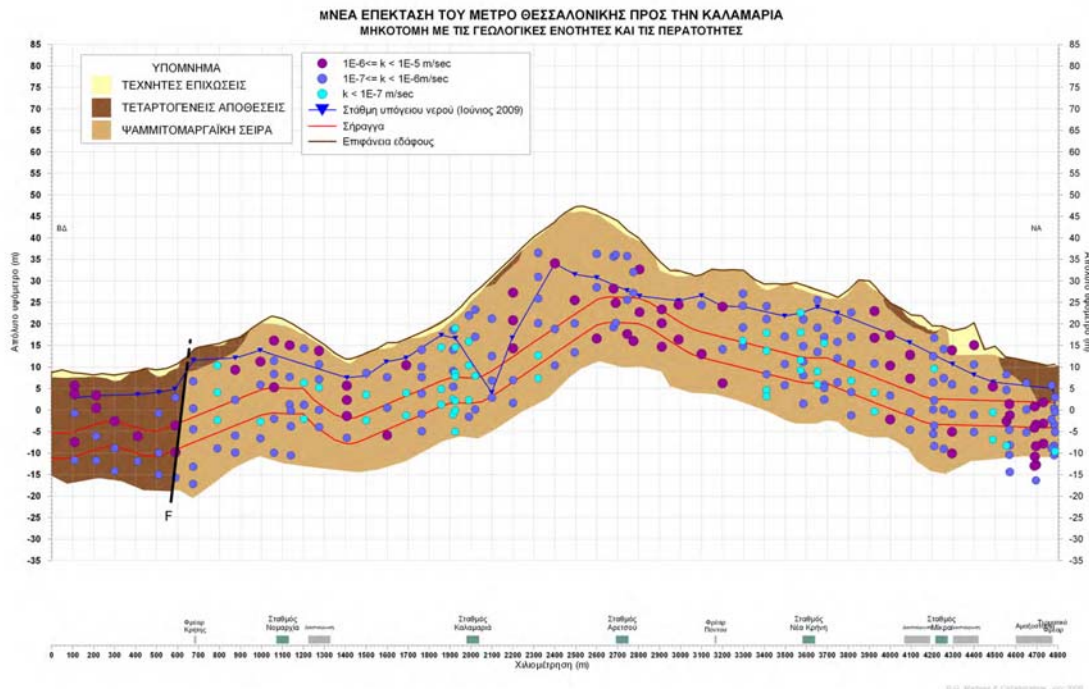
Σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα κατά Terzaghi and Peck (1967) η περατότητα σε όλο το μήκος του έργου (ανεξαρτήτως βάθους και γεωλογικής ενότητας) χαρακτηρίζεται σαν χαμηλή.

Πίνακας 1. Χαρακτηρισμός Περαιτότητας (Terzaghi and Peck (1967))

Διακύμανση k (cm/sec)	Χαρακτηρισμός Περαιτότητας
$K \geq 10^{-1}$	ΥΨΗΛΗ
$10^{-3} \leq K \leq 10^{-1}$	ΜΕΣΗ
$10^{-5} \leq K \leq 10^{-3}$	ΧΑΜΗΛΗ
$10^{-7} \leq K \leq 10^{-5}$	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ
$K < 10^{-7}$	ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟΣ



Σχήμα 16. Περατότητες κατά μήκος της χάραξης του βασικού έργου βασισμένες από στοιχεία επί τόπου δοκιμών. Στη συγκεκριμένη μηκοτομή είναι περασμένη και η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα σε σχέση με τον άξονα της σήραγγας (MARINOS, P. G., NOVACK, M., BENISSI, M., STOUMPOS, G., PANTELIADOU, M., PAPOULI, D., MARINOS V., KORKARIS, K., 2007).



Σχήμα 17. Μηκοτομή με τις γεωλογικές ενότητες και τις τιμές των περατοτήτων για την επέκταση του ΜΕΤΡΟ προς Καλαμαριά (Π.Γ ΜΑΡΙΝΟΣ, Β. ΜΑΡΙΝΟΣ, Δ. ΠΑΠΟΥΛΗ, ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ 2009, α)

3.5.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ T,S, K ΑΠΟ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ

Οι δοκιμαστικές αντλήσεις διενεργούνται για την ακριβέστερη εκτίμηση των υδραυλικών παραμέτρων των γεωλογικών σχηματισμών. Πραγματοποιούνται με άντληση νερού εντός συγκεκριμένων διαστάσεων και κατασκευαστικών χαρακτηριστικών υδρογεωτρήσεων, με συγκεκριμένες παροχές ενώ ταυτόχρονα σε πιεζόμετρα που είναι εγκατεστημένα σε διάφορες αποστάσεις λαμβάνονται μετρήσεις στάθμης σύμφωνα με χρονικό πρόγραμμα. Μετά την επεξεργασία των μετρήσεων (πτώση και επαναφορά στάθμης σε σχέση πάντα με την απόσταση από το πηγάδι άντλησης) με υπολογιστικό πρόγραμμα λαμβάνονται οι τιμές των υδραυλικών παραμέτρων για κάθε σχηματισμό, καθώς και η ακτίνα επίδρασης για συγκεκριμένη παροχή, στοιχείο πολύ χρήσιμο για την χωρική ανάπτυξη των καθιζήσεων (περιπτώσεις όπου οι υπόγειες εκσκαφές γίνονται με ταυτόχρονες αντλήσεις)

Ειδικά για τις τιμές του k, αυτές μπορούν να συσχετιστούν με τις υπολογισμένες τόσο από τις σημειακές δοκιμές περατότητας όσο και από τη επαναφορά της στάθμης μετά το καθαρισμό και την ανάπτυξη των πιεζόμετρων.

Στη περίπτωση του Μετρό Θεσσαλονίκης για το βασικό έργο εκτελέστηκαν δοκιμαστικές αντλήσεις σε τρεις επιλεγμένες θέσεις κατά μήκος της χάραξης με στόχο την εκτίμηση των χρήσιμων για την κατασκευή του έργου υδραυλικών παραμέτρων T (μεταβιβαστικότητα), S (υδροχωρητικότητα), k (συντελεστής διαπερατότητας). Η επιλογή των τριών θέσεων έγινε με κριτήριο της γεωλογικές ενότητες που εντοπίζονται κατά μήκος της χάραξης. Πιο συγκεκριμένα, επιλέχθηκε ο Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός έτσι ώστε να ελεγχθεί η Ενότητα των Τεταρτογενών αποθέσεων, ο Σταθμός Πανεπιστήμιο για τον έλεγχο της Σειράς των Ερυθρών Αργίλων και ο Σταθμός Ν. Ελβετία ούτως ώστε να ελεγχθούν οι υδραυλικές παράμετροι της Ψαμμιτομαργαϊκής Σειράς.

4 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.

Τα υδρογεωλογικά προβλήματα που προέκυψαν κατά τη κατασκευή του Μετρό Θεσσαλονίκης και αναλύονται παρακάτω είναι.

A) Προβλήματα εδαφικών καθιζήσεων - μετακινήσεων που προέκυψαν από υποβιβασμό της στάθμης του ελεύθερου υδροφόρου ορίζοντα κατά τη κατασκευή και στερεοποίησης των χαλαρών εδαφικών σχηματισμών.

Τα προβλήματα αυτά εμφανίστηκαν στο δυτικό τμήμα του έργου εκεί όπου θα κατασκευαζόταν ο Επίσταθμος στη περιοχή του Νέου Σιδηροδρομικού Σταθμού, σε γεωλογικό περιβάλλον πρόσφατων τεταρτογενών αποθέσεων.

B) Προβλήματα εδαφικών καθιζήσεων - μετακινήσεων που προέκυψαν από την άνοδο του υδροφόρου ορίζοντα κατά τη κατασκευή και την υποβάθμιση των γεωτεχνικών παραμέτρων των εδαφικών σχηματισμών στις νέες συνθήκες διαβροχής.

Τα προβλήματα αυτά εμφανίστηκαν στο κεντρικό τμήμα του έργου και συγκεκριμένα στο Σταθμό που θα κατασκευαζόταν στην περιοχή της Αγίας Σοφίας επί της οδού Εγνατίας σε γεωλογικό περιβάλλον ανθρωπογενών αποθέσεων, (αρχαιολογικό στρώμα).

Γ) Κατασκευαστικά προβλήματα που σχετίζονται με την ύπαρξη αρτεσιανών υδροφόρων και υδροφόρων υπό πίεση , κατά τη διάρκεια εκτέλεσης γεωτεχνικών εργασιών (διαφράγματα , μικροπιάσσοι,) και εκσκαφών .

Το πρόβλημα στο της κατασκευής διαφραγμάτων , μικροπιάσσεων και εκσκαφών στο Σταθμό Πανεπιστήμιο.

Δ) Προβλήματα διαδοχικών καθιζήσεων – ανυψώσεων (εδάφους – κατασκευών) που προέρχονται από διαδοχικές ταπεινώσεις και επαναφορές στάθμης λόγω προσωρινών διακοπών αντλήσεων που γίνονται για τις ανάγκες της κατασκευής σε γεωλογικό περιβάλλον ελαστικών υδροφορέων.

Το πρόβλημα αυτό εμφανίστηκε στον ελαστικό υδροφορέα της ερυθράς αργίλλου στο Σταθμό Πανεπιστήμιο.

4.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

Τα πρωτογενή στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό ,τη μελέτη καθώς και για τη παρακολούθηση κατά τη διάρκεια της κατασκευής των υδρογεωλογικών προβλημάτων ήταν κυρίως , στοιχεία οργανομετρήσεων καθώς και τοπογραφικών μετρήσεων. Τόσο τα γεωτεχνικά όργανα όσο και οι τοπογραφικοί μάρτυρες παρακολούθησης χωροθετήθηκαν μετά από την εκπόνηση ειδικών μελετών γεωμηχανικής και δομητικής παρακολούθησης.

Συγκεκριμένα

Για τη περίπτωση Α τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν και τεκμηρίωσαν τα προβλήματα των εδαφικών καθιζήσεων στην περιοχή του Επίσταθμου του ΝΣΣ στο δυτικό τμήμα του έργου λόγω της πτώσης της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα ήταν μετρήσεις πιεζομετρικής στάθμης πριν καθώς και κατά τη διάρκεια της κατασκευής , μετρήσεις χωροσταθμικών μαρτύρων επί του εδάφους και χωροσταθμικών μαρτύρων επί κτηρίων κατά τη διάρκεια της κατασκευής, στοιχεία γεωλογικών χαρτογραφήσεων καθώς και στοιχεία μετρήσεων εισροών νερού κατά τη διάρκεια της κατασκευής σε υπόγειες εκσκαφές. Τέλος χρησιμοποιήθηκαν και συνδυαστικά γραφήματα πτώσης στάθμης καθίζησης σε συνάρτηση με το χρόνο, καθώς και πτώσης στάθμης εισροών σε σχέση με το χρόνο.

Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα δυο πιεζόμετρα μονού σωλήνα (stand pipe) που εγκαταστάθηκαν εντός δειγματοληπτικών γεωτρήσεων με κωδικούς ΤΑΕΡ 22 και ΤΑΕΡ 26 , μια δεξαμενή καθίζησης συλλογής υδάτων με κωδικό ΤΑΕW 0248 όπου πάρθηκαν μετρήσεις όγκου νερού , καθώς και πλήθος χωροσταθμικών ακίδων μέτρησης υψομέτρου που χρησιμοποιήθηκαν για τη σύνταξη χάρτη ισοκαθίζησης της περιοχής .Τέλος επιλέχθηκαν 3 χωροσταθμικές ακίδες μέτρησης υψομέτρου με κωδικούς ΤΑΕS 235_34 ,ΤΑΕS246_13 και ΤΑΕS 281_13 όπου αναλύθηκαν και παρουσιάστηκαν οι καμπύλες καθιζήσεων τους σε σχέση με το χρόνο.

Για τη περίπτωση Β τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν και τεκμηρίωσαν τα προβλήματα των καθιζήσεων λόγω ανυψώσεων του υδροφόρου ορίζοντα κατά τη κατασκευή, είναι στοιχεία μετρήσεων πιεζομετρικής στάθμης, στοιχεία μετρήσεων καθιζήσεων, στοιχεία από μητρώα δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, καθώς και στοιχεία μέτρησης παροχής.

Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα πιεζόμετρα μονού σωλήνα που εγκαταστάθηκαν εντός δειγματοληπτικών γεωτρήσεων με κωδικούς TDSP 22 και TDSP 25, διάγραμμα αντλήσεων (παροχή με χρόνο) από το υπόγειο του κτηρίου με κωδικό E55 καθώς και πλήθος χωροσταθμικών μαρτύρων για τη μέτρηση του υψομέτρου.

Τέλος χρησιμοποιήθηκαν συνθετικά διαγράμματα με τις μετρήσεις των καθιζήσεων, της στάθμης καθώς και των εργασιών κατασκευής σε σχέση με το χρόνο.

Για τη περίπτωση Γ τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν και τεκμηρίωσαν τα προβλήματα της υδροφορίας υπό πίεση και του αρτεσιανισμού, είναι στοιχεία μετρήσεων πιεζομετρικής στάθμης, στοιχεία μετρήσεων πίεσης του νερού των πόρων, στοιχεία μέτρησης παροχής (αρτεσιανής) από δειγματοληπτικές γεωτρήσεις κατά τη διάρκεια κατασκευής τους καθώς και στοιχεία από από μετρήσεις στάθμης σε πηγάδια άντλησης.

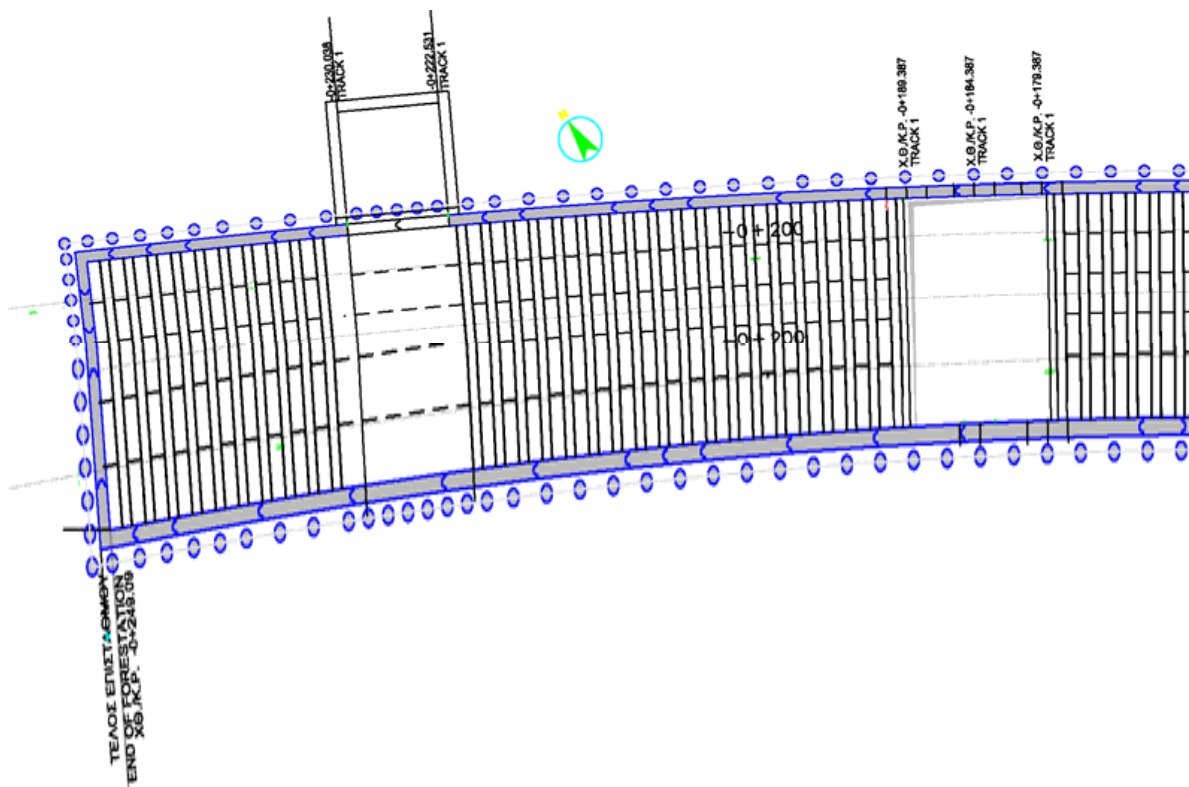
Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα πιεζόμετρα δονούμενης χορδής με κωδικούς TGSP41, TGSP 42 και TGSP 43, αυτόματες μετρήσεις στάθμης σε σένσορες που εγκαταστάθηκαν στα πηγάδια άντλησης με κωδικούς GO3, GO4 και GO7, καθώς και πλήθος χωροσταθμικών μαρτύρων για τη μέτρηση της μεταβολής του υψομέτρου.

Για τη περίπτωση Δ τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν και τεκμηρίωσαν και συσχέτισαν το ανεβοκατέβασμα της στάθμης του Υ.Ο με διαδοχικές καθιζήσεις - ανυψώσεις εδάφους κατασκευών ήταν στοιχεία μετρήσεων στάθμης από γεωτρήσεις με εγκατεστημένα πιεζόμετρα τύπου μονού σωλήνα, στοιχεία μέτρησης πίεσης του νερού των πόρων σε πιεζόμετρα τύπου δονούμενης χορδής και στοιχεία μέτρησης υψομέτρου (με ηλεκτρονικό χωροβάτη) σε χωροσταθμικές ακίδες εγκατεστημένες στο έδαφος και σε κτήρια.

4.2 ΠΤΩΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ –ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ – ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

4.2.1 ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΟΥ ΦΡΕΑΤΟΣ ΣΤΟΝ ΕΠΙΣΤΑΘΜΟ ΝΣΣ

Το βορειοδυτικό φρέαρ αποτελεί ένα όρυγμα που τοποθετείται στην αρχή της χάραξης του έργου του Μετρό Θεσσαλονίκης στα δυτικά όπου θα κατασκευαστεί ο Επίσταθμος του έργου και θα χρησιμοποιηθεί ως φρέαρ εξαερισμού.



Σχήμα 18. Οριζοντιογραφία Επίσταθμου και βορειοδυτικού φρέατος (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. , 2011, α)

Κατασκευή Βορειοδυτικού Φρέατος

Σε γενικές γραμμές στο εν λόγω τμήμα, αρχικά θα πραγματοποιηθεί η εκσκαφή και αντιστήριξη του Επίσταθμου παράλληλα με το υπόλοιπο τμήμα του και μετά την ολοκλήρωση της πλάκας πυθμένα θα ξεκινήσει η εκσκαφή και αντιστήριξη του φρέατος. Η αντιστήριξη του Επίσταθμού στην περιοχή του φρέατος θα γίνει στην νότια πλευρά από πασσάλους για τα πρώτα 7 m σε συνδυασμό με προεντεταμένα αγκύρια και από διαφράγματα για το υπόλοιπο τμήμα σε συνδυασμό με αντηρίδες και στην βόρεια πλευρά από πασσάλους σε συνδυασμό με αντηρίδες

Αρχικά, κατασκευάζονται οι οδηγοί των διαφραγματικών τοίχων και οι διαφραγματικοί τοίχοι, οι οποίοι φθάνουν μέχρι τα 26,5 m βάθος από την επιφάνεια του φυσικού εδάφους (+7,16).

Οι διαφραγματικοί τοίχοι στην βόρεια πλευρά θα κατασκευαστούν μέχρι τη στάθμη -6,72 (στάθμη θεμελίωσης του φρέατος αερισμού) και στην νότια πλευρά μέχρι τη στάθμη +0,7 (στάθμη έδρασης της πλάκας οροφής).

Έπειτα, θα κατασκευαστούν Φ80 μήκους 10,5 m πίσω από τους διαφραγματικούς πασσάλους ανά 2,5 m απόσταση. Στην νότια πλευρά του Επίσταθμού οι πάσσαλοι έχουν μήκος 10,5 m και οι πάσσαλοι στην βόρεια πλευρά έχουν μήκος 17 m.

Στη συνέχεια, ξεκινάει η εκσκαφή μέχρι τη στάθμη +5,96 (1,2 m από την επιφάνεια του φυσικού εδάφους) και τοποθετείται η πρώτη σειρά αγκυρίων στην νότια πλευρά στη στάθμη +6.46 με κλίση 25°. Το ελεύθερο μήκος των αγκυρίων θα είναι 9 m και το μήκος πάκτωσής τους θα είναι 14 m.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται σταδιακή εκσκαφή μέχρι τη στάθμη +2,42 και τοποθετείται η δεύτερη σειρά αγκυρίων στην νότια πλευρά στην στάθμη +2.92 με κλίση 25°. Στο δεύτερο επίπεδο το ελεύθερο μήκος των αγκυρίων θα είναι 8 m και το μήκος πάκτωσης θα είναι 12 m. Σε αυτή τη χρονική περίοδο τοποθετείται και πρώτη σειρά αντηρίδων στη στάθμη +4,9.

Έπειτα, συνεχίζεται η σταδιακή εκσκαφή μέχρι τη στάθμη -5,14 με διαδοχική τοποθέτηση δύο σειρών αντηρίδων στις στάθμες -0,6 (7,8 m από την επιφάνεια του φυσικού εδάφους) και -4,64 (11,8 m από την επιφάνεια του φυσικού εδάφους). Μετά την τοποθέτηση των αντηρίδων η εκσκαφή συνεχίζεται μέχρι τη στάθμη έδρασης της πλάκας θεμελίωσης (στάθμη -9,41), διαμορφώνεται η επιφάνεια έδρασης, γίνεται η

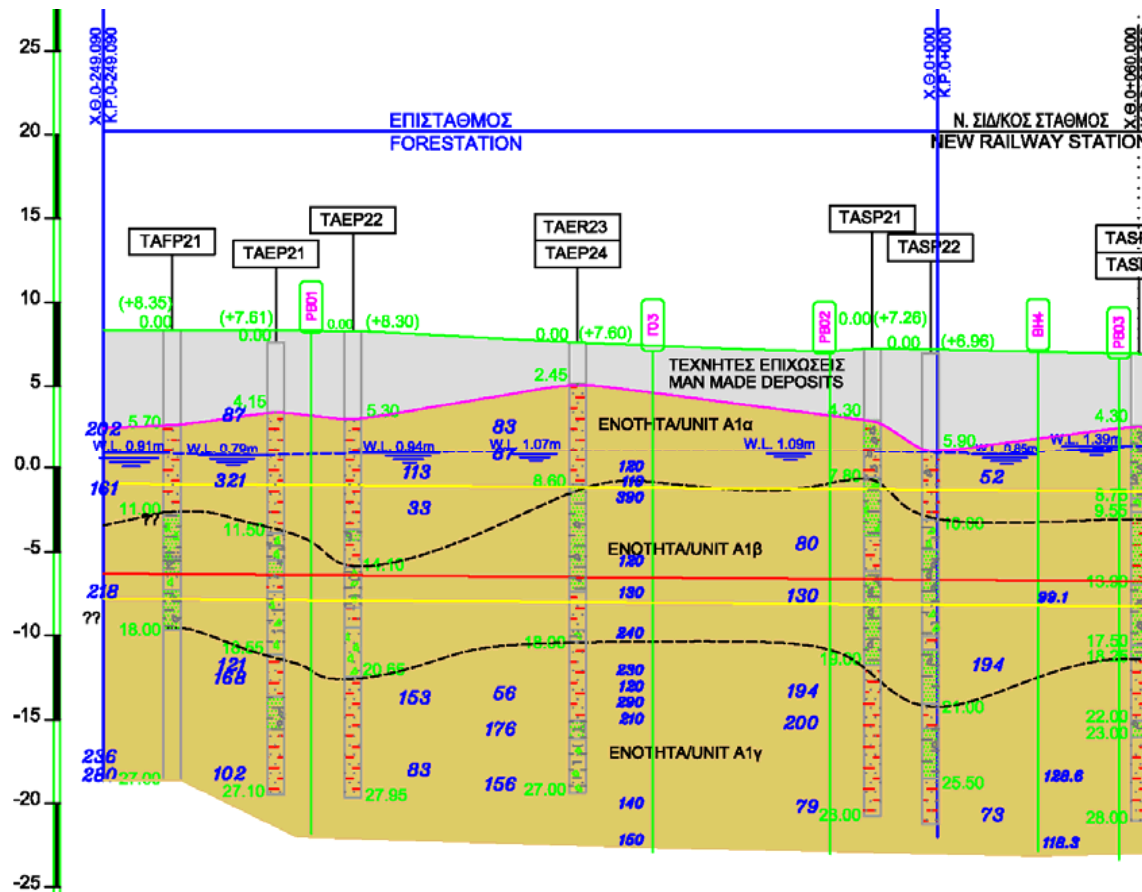
τοποθέτηση οπλισμού, η σύνδεση του με συνδέσμους επιμήκυνσης και τέλος σκυροδετείται η πλάκα θεμελίωσης. Η οροφή της πλάκα θεμελίωσης σκυροδετείται σε απόλυτο υψόμετρο -7,71 (βάθος ~15 m).

Στη συνέχεια κατασκευάζονται Φ80 στην περιοχή του φρέατος και πραγματοποιείται σταδιακή εκσκαφή του φρέατος με σταδιακή αφαίρεση των αντηρίδων και τοποθέτηση των πέντε σειρών αγκυρίων στην βόρεια πλευρά του φρέατος μέχρι τη στάθμη έδρασης του φρέατος (στάθμη -7,23, 14,4 m βάθος από την επιφάνεια του φυσικού εδάφους). Οι πέντε σειρές αγκυρίων θα τοποθετηθούν στις στάθμες +5.13, +2.53, -0.07, -2.67 και -5,27 με κλίση 25°. Το ελεύθερο μήκος των αγκυρίων του πρώτου επιπέδου θα είναι 8 m και το μήκος πάκτωσής τους θα είναι 16 m. Στο δεύτερο επίπεδο το ελεύθερο μήκος των αγκυρίων θα είναι 7 m και το μήκος πάκτωσης θα είναι 14m. Το ελεύθερο μήκος των αγκυρίων του τρίτου επιπέδου θα είναι 5,5m και το μήκος πάκτωσής τους θα είναι 13m. Στο τέταρτο επίπεδο το ελεύθερο μήκος των αγκυρίων θα είναι 5 m και το μήκος πάκτωσης θα είναι 8m. Τέλος, το ελεύθερο μήκος των αγκυρίων του πέμπτου επιπέδου θα είναι 5m και το μήκος πάκτωσής τους θα είναι 8m.

4.2.1.1 Αναμενόμενες γεωλογικές – γεωτεχνικές συνθήκες

Η εκσκαφή του Επίσταθμου αναμένεται να πραγματοποιηθεί αρχικά στις τεχνητές επιχώσεις μέχρι τα 4,5m βάθος περίπου και στη συνέχεια σε τεταρτογενείς σχηματισμούς. Συγκεκριμένα, από τα 4,5m βάθος μέχρι τα 11m η εκσκαφή αναμένεται ότι θα συναντήσει σκούρες καστανές έως καστανές μαλακές έως σταθερές και τοπικά στιφρές αμμώδεις ΑΡΓΙΛΟΥΣ (CL-CL), χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας (Γεωτεχνική ενότητα Α1α).

Στη συνέχεια και μέχρι το βάθος θεμελίωσης του Επίσταθμου εκτιμάται θα συναντηθούν χαλαρές έως μέτρια πυκνές αργιλώδεις ΑΜΜΟΥΣ με χάλικες και χαλαροί έως μέτρια πυκνοί αργιλώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ (SC) έως αργιλώδεις/ ιλυώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ (GC – GM) (Γεωτεχνική ενότητα Α1β)



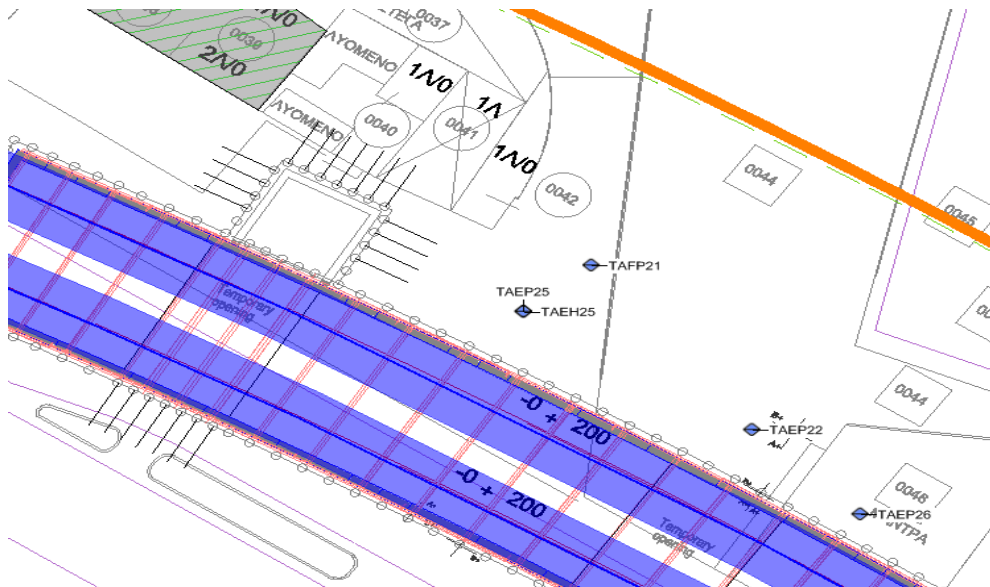
Σχήμα 19. Απόσπασμα Γεωλογικής – Γεωτεχνικής μηκοτομής πρόβλεψης
(ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2008, (β).)

Στην ευρύτερη περιοχή του φρέατος ανορύχθηκαν 4 γεωτρήσεις με συνεχή δειγματοληψία ενώ εγκαταστάθηκαν πιεζόμετρα ανοικτού τύπου για τη παρακολούθηση των μεταβολών του υδροφόρου ορίζοντα κατά τη διάρκεια των κατασκευών.

Από τις γεωτρήσεις αυτές προέκυψε η παραπάνω γεωλογική – γεωτεχνική μηκοτομή καθώς και από τις πρώτες μετρήσεις η αρχική στάθμη του ελεύθερου υδροφόρου που αναπτύσσεται εντός των χαλαρών τεταρτογενών ιζημάτων της περιοχής.

Από τις γεωτρήσεις προσδιορίστηκε ένας ενιαίος φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας με αρχική στάθμη στα m και εντός των αμμωδών αργίλων.

Από τις επιτόπου δοκιμές προσδιορίστηκαν συντελεστές διαπερατότητας ενώ από τις εργαστηριακές δοκιμές υπολογίστηκαν τα μέτρα ελαστικότητας των γεωυλικών που κυμαίνονται από έως Mpa.



Σχήμα 20. Οριζοντιογραφία της περιοχής του Β δυτικού φρέατος με τα 4 πιεζόμετρα (Χάρτης από την ΒΔ ΓΔΠ Κρονος του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)

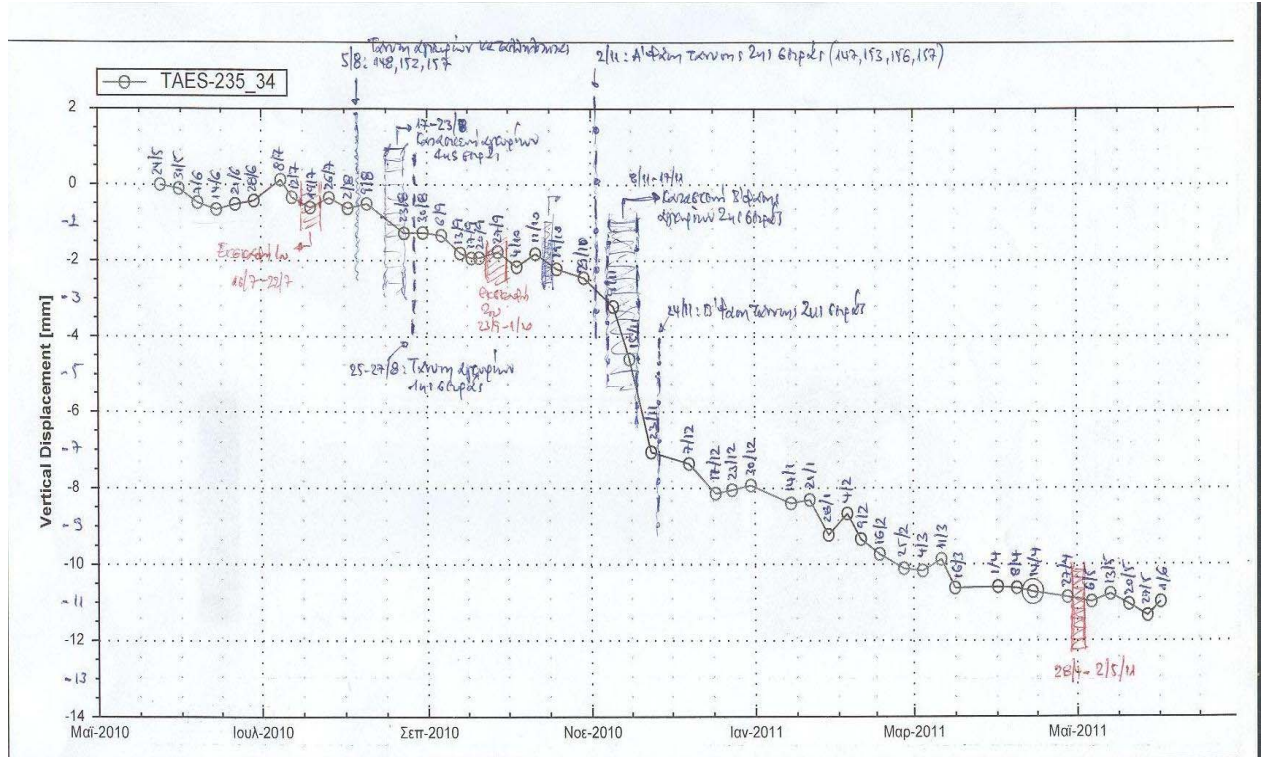
4.2.1.2 Πτώση στάθμης κατά τη διάρκεια της κατασκευής του ΒΔ φρέατος

Με την έναρξη της κατασκευής του βορειοδυτικού φρέατος με εκσκαφή παρατηρήθηκε πτώση στάθμης στα πιεζόμετρα τη στιγμή που η εκσκαφή έφτασε το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα.

Το φαινόμενο αυτό έλαβε χώρα και λόγω του γεγονότος ότι η αντιστήριξη του φρεατίου πραγματοποιήθηκε με φρεατοπασσάλους όχι αλληλοτεμνόμενους με σκοπό τη δημιουργία διαφράγματος από τη προσωρινή υποστήριξη.

Η στράγγιση επιταχύνθηκε και από τις διατρήσεις των αγκυρίων μέσω των οπών οι οποίες και λόγω της κλίσης και του μήκους τους έφταναν στα βαθύτερα και πιο χονδρόκοκα εδαφικά ιζήματα.

Στο συνθετικό διάγραμμα του σχήματος 21 φαίνεται πολύ καθαρά η επιρροή της κατασκευής της 2ης σειράς αγκυρίων στις καθιζήσεις μέσω της στράγγισης από τις οπές των αγκυρίων.



Σχήμα 21. Διάγραμμα κατακόρυφων μετακινήσεων-χρόνου, με τις κατασκευαστικές φάσεις, που δείχνει την επιρροή της διάτρησης των αγκυρίων στις μετακινήσεις μέσω της στράγγισης που προήλθε από την εισροή νερού στο φρέαρ από τις οπές των διατρημάτων

Ο υποβιβασμός της στάθμης εξελισσόταν όλο και περισσότερο μέχρι το τελικό επίπεδο περνώντας από τα διαδοχικά στάδια εκσκαφής και υποστήριξης Σχήμα 22.

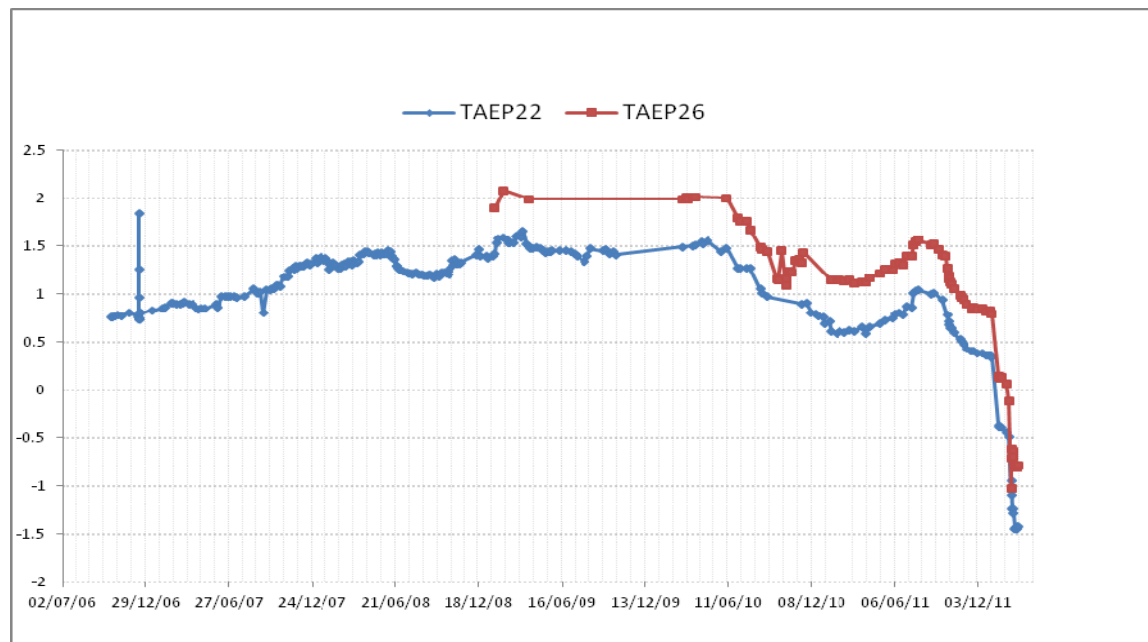
Ο ρυθμός της πτώσης στάθμης σταματούσε ή γινόταν ανύψωση προσωρινά μόνο κατά τη διάρκεια τάνυσης των αγκυρίων και της εφαρμογής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, ενώ επιταχυνόταν κατά την εκσκαφή και τη διάτρηση των οποίων των αγκυρίων.

Καθ' όλη τη διάρκεια της κατασκευής τα εισερχόμενα στο φρέαρ νερά οδηγήθηκαν μέσω δικτύου σε δεξαμενή καθίζησης πολλαπλών διαμερισμάτων όπου στην έξοδο της καταγράφονταν μετρήσεις παροχής.

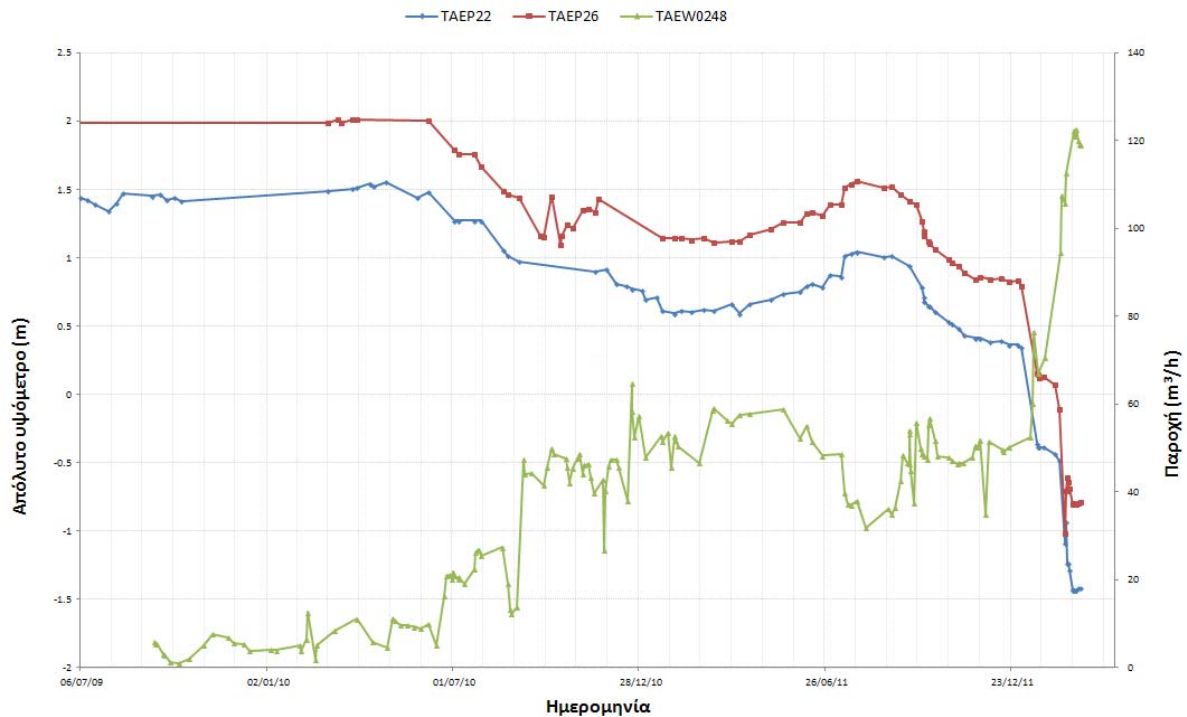
Όπως θα παρουσιαστεί σε παρακάτω σχήμα 23 η πτώση της στάθμης στα πιεζόμετρα βρισκόταν σε αναλογική σχέση με τη αύξηση της παροχής των εισροών στο υπόγειο έργο.

Η συνολική παρατηρούμενη απομείωση της στάθμης έφτασε έως και τα 3 περίπου μέτρα στα μακρινά όργανα παρατήρησης που βρίσκονταν σε απόσταση 37 και 49 μέτρα από τον ανατολικό πασσαλότοιχο του βορειοδυτικού φρέατος.

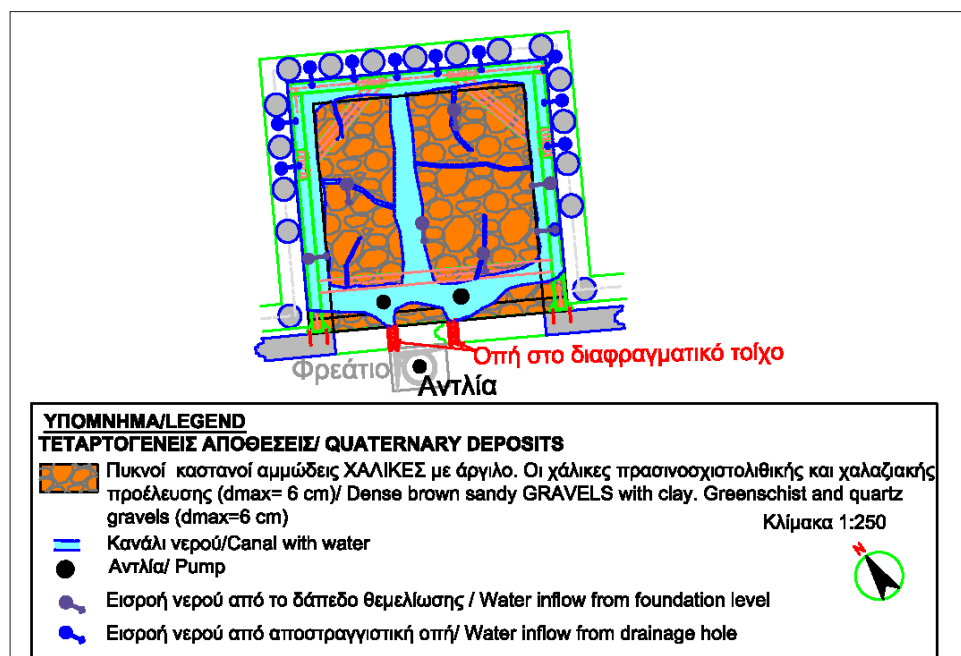
Το φρέαρ λοιπόν λειτούργησε σαν ένα πηγάδι άντλησης που δημιούργησε ένα κώνο κατάπτωσης και μια ακτίνα επίδρασης αρκετά μεγάλη όπως φαίνεται από τις μετρήσεις στα μακρινά πιεζόμετρα.



Σχήμα 22. Πτώση στάθμης στα πιεζόμετρα (Επεξεργασμένα στοιχεία από τη ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)



Σχήμα 23. Συνδυαστικό γράφημα πτώσης στάθμης και εισροών υπογείων υδάτων. Οι τιμές των παροχών έφτασαν έως και 112 m³ /h (Επεξεργασμένα στοιχεία από τη ΒΔ ΓΔΠ Kronos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)

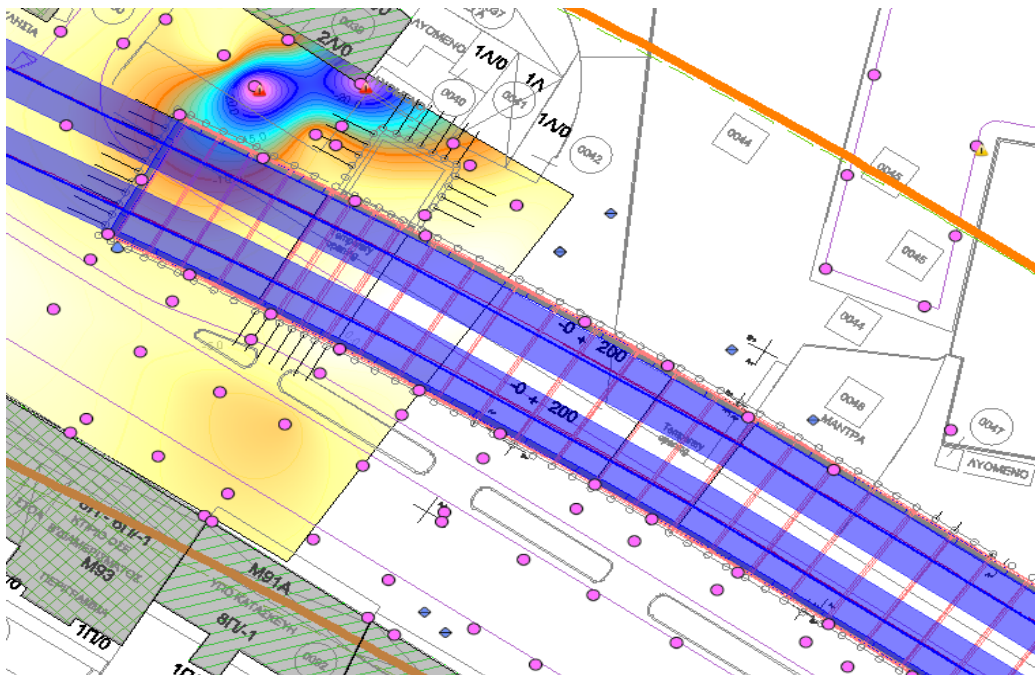


Σχήμα 24. Γεωλογική χαρτογράφηση του πυθμένα εκσκαφής που φαίνονται τα χονδρόκοκα ιζήματα καθώς και οι εισροές υδάτων στο σκάμμα (Κ/Ξ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, 2014)

4.2.1.3 Πρόγραμμα παρακολούθησης καθιζήσεων - μικρομετακινήσεων. συσχέτιση τους με τη πτώση στάθμης. συμπεράσματα

Για τη παρακολούθηση των μετακινήσεων του εδάφους γύρω από τον επίσταθμο τοποθετήθηκαν πλήθος χωροσταθμικών σημείων μέτρησης υψομέτρου ενώ στα κτήρια οι μετακινήσεις τους καταγράφηκαν τόσο από χωροσταθμικά σημεία που εγκαταστάθηκαν στα δομικά στοιχεία όσο και από τρισδιάστατους οπτικού στόχους σε όλους τους ορόφους.

Στο παρακάτω χάρτη του σχήματος 25 παρουσιάζεται χάρτης ισοκαθίζησης της περιοχής στο τέλος της κατασκευής τόσο του επιστάθμου όσο και του δυτικού φρέατος.



Σχήμα 25. Χάρτης ισοκαθιζήσεων της περιοχής του Βόρειοδυτικού φρέατος
(Χάρτης από την ΒΔ ΓΔΠ Kronos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό,
2014)

ιζήματα (χαλικώδεις άμμοι), με αποτέλεσμα της παροχέτευσης ακόμα μεγαλύτερων ποσοτήτων ύδατος προς το σκάμμα λόγω των ιδιαίτερων υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών (υψηλές τιμές T και k) των αδρομερέστερων ιζημάτων.

Έτσι η εκτόνωση της πίεσης του νερού των πόρων ήταν άμεση, καθώς και η ανάληψη των συνολικών φορτίων από το σκελετό πλέον του εδάφους, (του φορτίου που η υγρή φάση παραλάμβανε). Σχεδόν ακαριαία εξελίχθηκαν και οι καθιζήσεις στα αμμοχαλικώδη εδάφη.

Σημαντικό παράγοντα στην εξέλιξη των παραμορφώσεων αποτελούν και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους με πιο βασικό το μέτρο ελαστικότητας, καθώς και το συντελεστή στερεοποίησης, σε συνάρτηση πάντα με το επιβαλλόμενο φορτίο που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι σταθερό και είναι το βάρος των υπερκειμένων γαιών.

Οι καθιζήσεις αυτές λοιπόν δημιουργήθηκαν με τη βαθμιαία απομάκρυνση του νερού των πόρων από το έδαφος και μεταφορά της φόρτισης από το νερό στο στερεό σκελετό.

Το φαινόμενο αυτό έλαβε χώρα τόσο στα επιφανειακά λεπτόκοκκα αργιλικά εδάφη, όσο και στα βαθύτερα αδρομερέστερα αμμοχαλικώδη ιζήματα.

Στα μεν συνεκτικά η απομάκρυνση του νερού έλαβε χώρα με αργό ρυθμό λόγω της χαμηλής τιμής του ενεργού πορώδους της αργίλου, ενώ στα αμμοχαλικώδη το φαινόμενο της στράγγισης έλαβε χώρα πολύ γρήγορα.

4.2.1.4 Καθιζήσεις στερεοποίησης σε αργιλικά εδάφη

Οι καθιζήσεις στερεοποίησης οφείλονται στην αργή απομάκρυνση του νερού των πόρων και την προοδευτική μείωση του πορώδους των αργιλικών εδαφών.

Είναι επίσης δυνατή η εκτίμηση δηλαδή της χρονικής εξέλιξης της ο υπολογισμός της μετά από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα από την έναρξη της στερεοποίησης.

Ο υπολογισμός της καθίζησης στερεοποίησης γίνεται με χρήση των παραμέτρων συμπίεστότητας C_c , C_r (από τη λογαριθμική σχέση τάσης- συμπίεσης στη δοκιμή οιδημέτρου)

Μια σημαντική διάκριση μεταξύ των αργιλικών εδαφών που επηρεάζει τον υπολογισμό των καθιζήσεων είναι σε:

- Καθιζήσεις στερεοποίησης σε αργιλικά εδάφη:

(α) κανονικά στερεοποιημένες αργίλους

(β) υπερστερεοποιημένες αργίλους είναι εδάφη τα οποία δεν έχουν δεχτεί στο παρελθόν φορτία μεγαλύτερα από αυτά που τώρα δρουν πάνω τους είναι εδάφη στα οποία η κατακόρυφη ενεργός τάση που αναπτύχθηκε στο παρελθόν υπήρξε μεγαλύτερη από αυτήν που παρατηρείται σήμερα.

Άρα

Παραμόρφωση συνεκτικών εδαφών

ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ (consolidation)



Το φαινόμενο της βαθμιαίας συμπίεσης ενός συνεκτικού εδάφους με παράλληλη αργή διαφυγή του νερού των πόρων κάτω από την επίδραση εξωτερικού φορτίου κορεσμένο αργολικό έδαφος



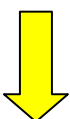
το νερό των πόρων αναλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό του φορτίου



υδατική υπερπίεση
μείωση των ενεργών τάσεων



με την πάροδο του χρόνου το νερό διαφεύγει



η πίεση πόρων μειώνεται

αυξάνει το μέρος του φορτίου που αναλαμβάνεται από τον εδαφικό σκελετό
(αύξηση ενεργών τάσεων)

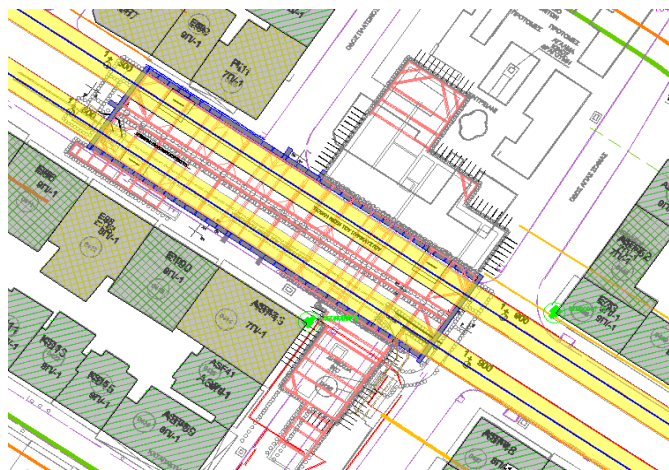
4.3 ΑΝΟΔΟΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ – ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ – ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ

4.3.1 ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓΙΑΣ ΣΟΦΙΑΣ

Ο σταθμός «Αγία Σοφία» πρόκειται να κατασκευαστεί στη περιοχή της διασταύρωσης των οδών Εγνατίας και Αγίας Σοφίας, Σχ 1. Το μήκος του σταθμού (έσω παρειά διαφραγματικών) μαζί με τα φρέατα αερισμού είναι 82.6m, το καθαρό πλάτος του είναι 19.75m και το μέγιστο βάθος του είναι 26.7m (άνω στάθμη πλάκας πυθμένα). Ο σταθμός βρίσκεται μεταξύ των χ.θ. 1+808.3 και χ.θ. 1+890.63.

Ο σταθμός Αγίας Σοφίας αρχικά θα κατασκευαστεί με τη μέθοδο εκσκαφής και κάλυψης (cut & cover) μέχρι τα περίπου 9m βάθος, ώστε να διευκολυνθούν οι αρχαιολογικές εκσκαφές, και στη συνέχεια θα σκυροδετηθούν οι δύο πρώτες πλάκες και θα κατασκευαστεί το υπόλοιπο του σταθμού με τη μέθοδο κάλυψης και εκσκαφής (cover & cut) από πάνω προς τα κάτω (top to down).

Τα περιμετρικά τοιχώματα του σταθμού θα κατασκευαστούν από διαφραγματικούς τοίχους πάχους 1m, οι οποίοι θα εξασφαλίζουν τόσο την προσωρινή όσο και τη μόνιμη αντιστήριξη του εκσκαπτόμενου ορύγματος.



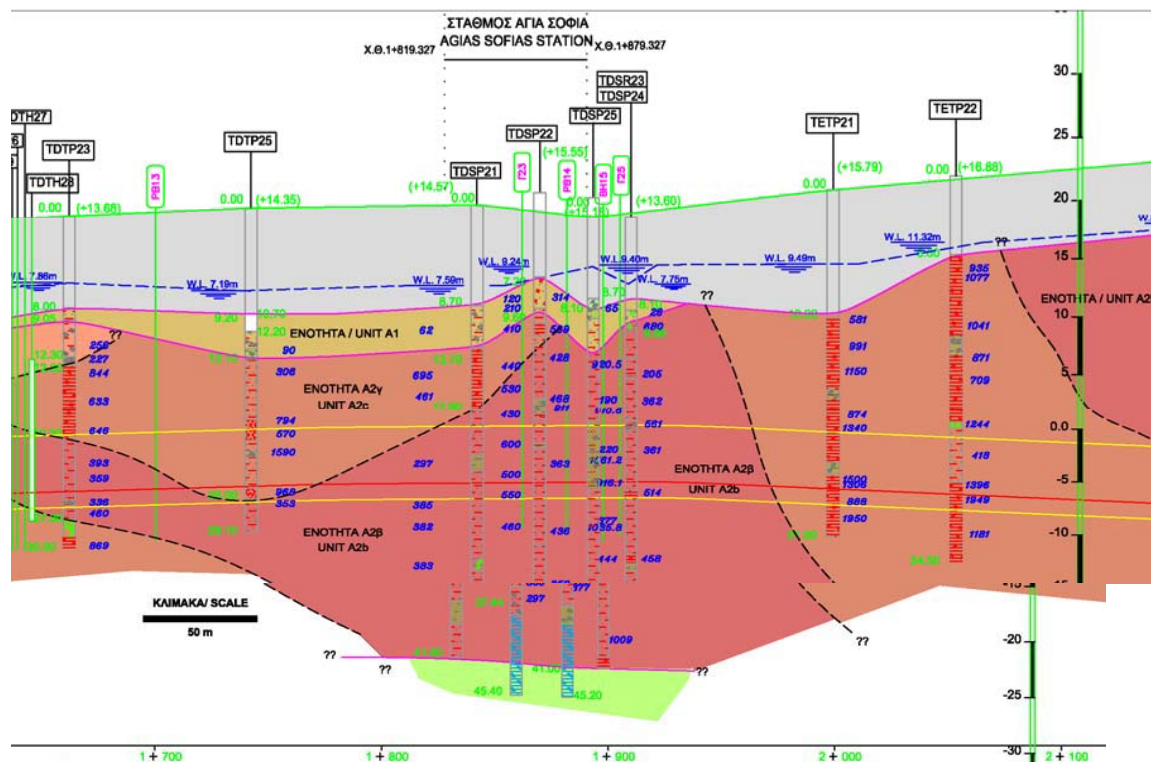
Σχήμα 28. Κάτοψη που δείχνει τη χωροθέτηση του Σταθμού Αγ. Σοφίας (Χάρτης από την ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)

Γενικά, η μεθοδολογία κατασκευής του σταθμού, περιλαμβάνει μεταξύ άλλων τμηματική εκσκαφή και τοποθέτηση μεταλλικής γέφυρας. Η μεθοδολογία αυτή επιλέχθηκε ώστε να πραγματοποιούνται απρόσκοπτα οι αρχαιολογικές εκσκαφές, να προστατευτεί η λειτουργία του αγωγού ακαθάρτων (ΚΑΑ) και να περιοριστεί στο ελάχιστο δυνατό η όχληση της κυκλοφορίας των οχημάτων της πόλης.

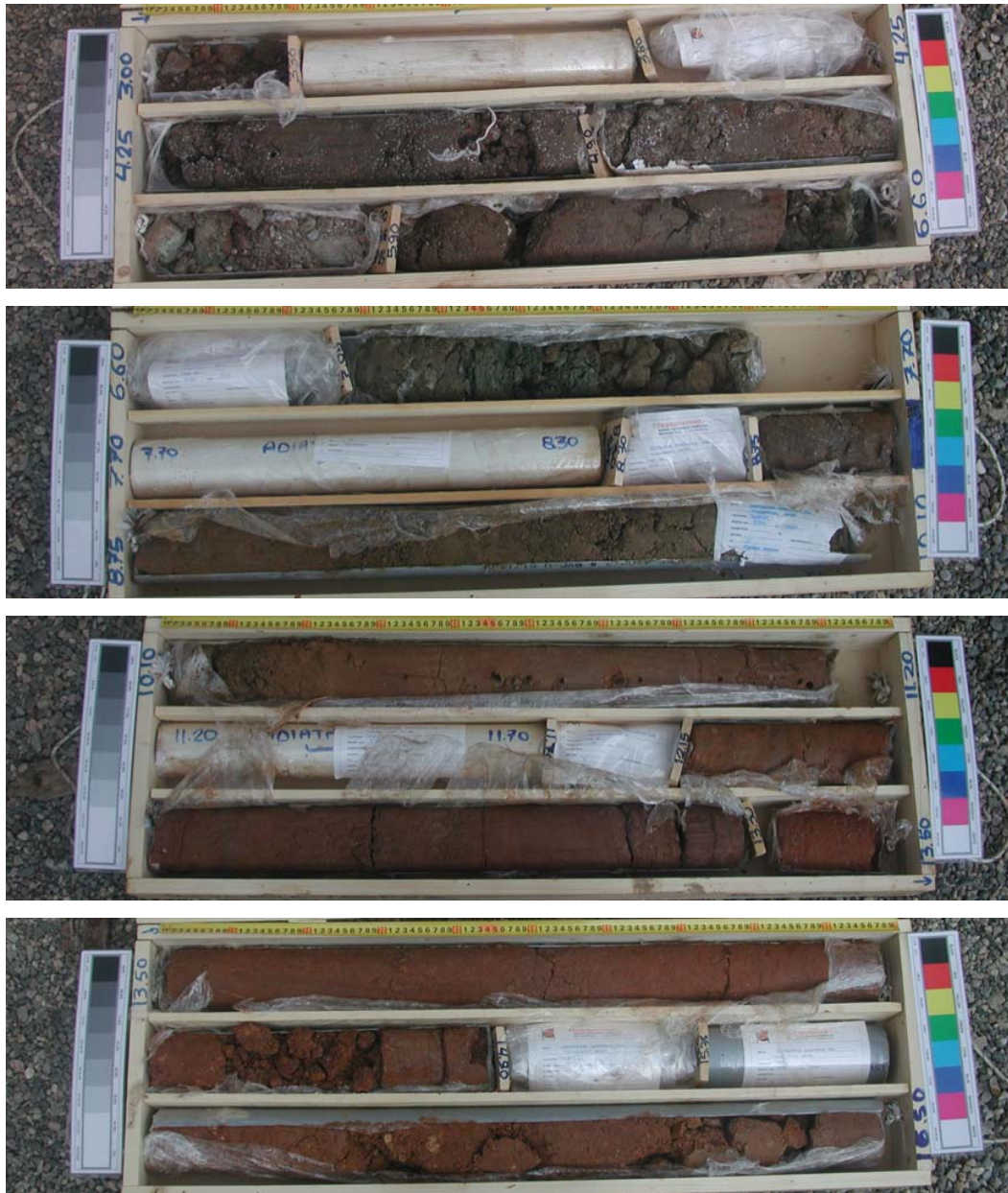
Σε γενικές γραμμές οι εργασίες κατασκευής του σταθμού μπορεί να ενταχθούν σε τέσσερις χρονικές περιόδους. Στην πρώτη περίοδο εντάσσονται οι εργασίες που πραγματοποιούνται μέχρι την τοποθέτηση της μεταλλικής γέφυρας, στη δεύτερη οι εργασίες μετά την εγκατάσταση της μεταλλικής γέφυρας (όλες οι υπόγειες εργασίες μέχρι την ολοκλήρωση της κατασκευής του σταθμού) και στην τρίτη όλες οι εργασίες για την κατασκευή των προσβάσεων και των φρεάτων αερισμού. Ο μεταλλικός φορέας της γέφυρας σε πρώτη φάση θα τοποθετηθεί στη βόρεια παρειά του σταθμού και σε δεύτερη φάση στη νότια πλευρά.

ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Κατά την εκσκαφή του σταθμού αναμένεται να συναντηθούν αρχικά τεχνητές επιχώσεις (αρχαιολογικό στρώμα) μέχρι τα 9 - 10m βάθος, έπειτα για 3m περίπου θα συναντηθεί αμμώδης άργιλος (τεταρτογενείς αποθέσεις) και τέλος από τα 11m περίπου και μέχρι το βάθος θεμελίωσης του σταθμού η εκσκαφή θα πραγματοποιηθεί στη «Σειρά Ερυθρών Αργίλων και συγκεκριμένα σε στιφρή έως πολύ στιφρή αμμώδη άργιλο.



Σχήμα 29. Απόσπασμα Γεωλογικής – Γεωτεχνικής μηκτομής πρόβλεψης. Τμήμα Α. Ν.Σιδηροδρομικός Σταθμός – Σταθμός Πανεπιστήμιο (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2008, β)

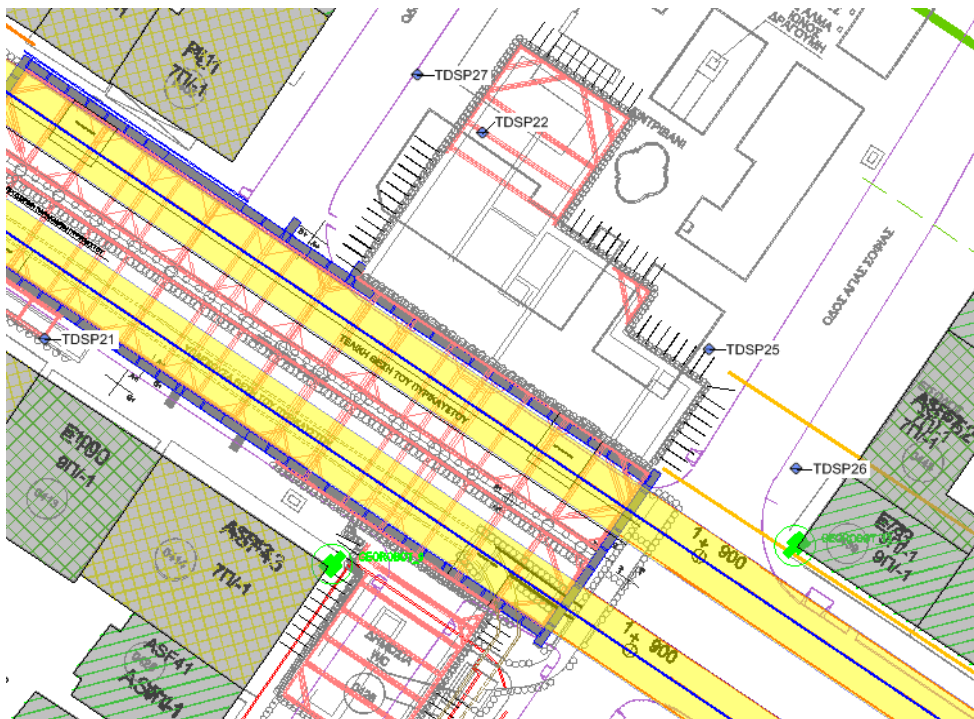


Σχήμα 30. Δειγματοληψία που εμφανίζει τη κατάσταση των γεωυλικών στη περιοχή (αρχαιολογικό στρώμα, μεταβατικό στρώμα τεταρτογενων αποθέσεων, υπόβαθρο ερυθρών αργίλων) (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2008, β)

4.3.2 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ (ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ)

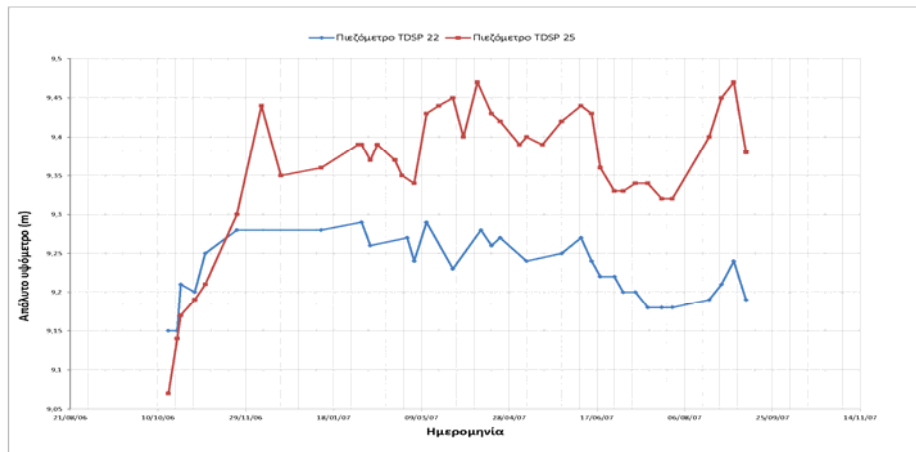
Στις γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν τοποθετήθηκαν πιεζόμετρα ανοικτού τύπου για τη παρακολούθηση της διακύμανσης της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα πριν την έναρξη της κατασκευής καθώς και για τον υπολογισμό των υδραυλικών φορτίων σχεδιασμού για τη μελέτη εφαρμογής του Σταθμού.

Οι θέσεις των πιεζομέτρων παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα 31.



Σχήμα 31. Θέσεις πιεζομέτρων παρατήρησης (Χάρτης από την ΒΔ ΓΔΠ Kronos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)

Οι αρχικές μετρήσεις στάθμης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα του σχήματος 32 , και σε συνδυασμό με τη λεπτομερή περιγραφή των πυρήνων (πίνακας2) και των μητρώων των γεωτρήσεων οριοθετούν έναν ελεύθερο υδροφόρο ορίζοντα με στάθμη στα 5,5 – 6 σχ. 5 μέτρα περίπου από την επιφάνεια του εδάφους και εντός του σχηματισμού των τεταρτογενών αποθέσεων (αρχαιολογικό στρώμα).



Σχήμα 32. Αρχικές στάθμες πιεζομέτρων (Επεξεργασμένα στοιχεία από τη ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)

Πίνακας 2. Γεωλογική περιγραφή πυρήνων δειγματοληψίας

ΒΑΘΟΣ (ΑΠΟ) <i>DEPTH (FROM)</i>	ΒΑΘΟΣ (ΕΩΣ) <i>DEPTH (TO)</i>	ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ <i>GEOLOGICAL UNIT</i>	ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ <i>GEOLOGICAL DESCRIPTION</i> ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
0,00	1,80		Προεκσκαφή
1,80	4,50	ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑ	- Πολύ μαλακή, χαμηλής πλαστικότητας, καστανότερη αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ με χάλικες. Οι χαλικές πρασινοσχιστολιθικής και χαλαζιακής προέλευσης (dmax=5cm). Παρουσία κεραμικών, ίχνη καύσης και ασβεστοκονίαμα
4,50	5,60	ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑ	- Μετρίως πυκνοί, καστανότεφοι αμμώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ. Οι χαλικές πρασινοσχιστολιθικής και χαλαζιακής προέλευσης (dmax=6cm). Παρουσία κεραμικών και ασβεστοκονίαμα
5,60	7,40	ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑ	- Πολύ μαλακή, χαμηλής πλαστικότητας, καστανότερη αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ με χάλικες. Οι χαλικές πρασινοσχιστολιθικής και χαλαζιακής προέλευσης (dmax=6cm). Παρουσία κεραμικών και ίχνη καύσης
7,40	8,30	ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	Πολύ μαλακή, χαμηλής πλαστικότητας, ανοικτή καστανή ΑΡΓΙΛΟΣ με άμμο. Παρουσία ασβεστιτικών συγκριμάτων
8,30	8,50	ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	Πυκνοί, καστανοπράσινοι αργιλώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ. Οι χαλικές πρασινοσχιστολιθικής και χαλαζιακής προέλευσης (dmax=5cm)
8,50	8,80	ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	Πολύ μαλακή, χαμηλής πλαστικότητας, ανοικτή καστανή ΑΡΓΙΛΟΣ με άμμο. Παρουσία ασβεστιτικών συγκριμάτων

8,80	9,10	ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	Πυκνοί, καστανοπράσινοι αργιλώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ. Οι χαλικές πρασινοσχιστολιθικής και χαλαζιακής προέλευσης (dmax=5cm)
9,10	14,60	ΣΕΙΡΑ ΕΡΥΘΡΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ	Πολύ στιφρή, μέσης πλαστικότητας, καστανέρυθρη ΑΡΓΙΛΟΣ με άμμο. Παρουσία ασβεστιτικών συγκριμάτων και οξείδια του μαγγανίου
14,60	15,10	ΣΕΙΡΑ ΕΡΥΘΡΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ	Πυκνή, καστανέρυθρη αργιλώδης ΑΜΜΟΣ
15,10	20,50	ΣΕΙΡΑ ΕΡΥΘΡΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ	Πολύ στιφρή, μέσης πλαστικότητας, καστανέρυθρη ΑΡΓΙΛΟΣ με άμμο κατά θέσεις. Παρουσία ασβεστιτικών συγκριμάτων και οξείδια του μαγγανίου

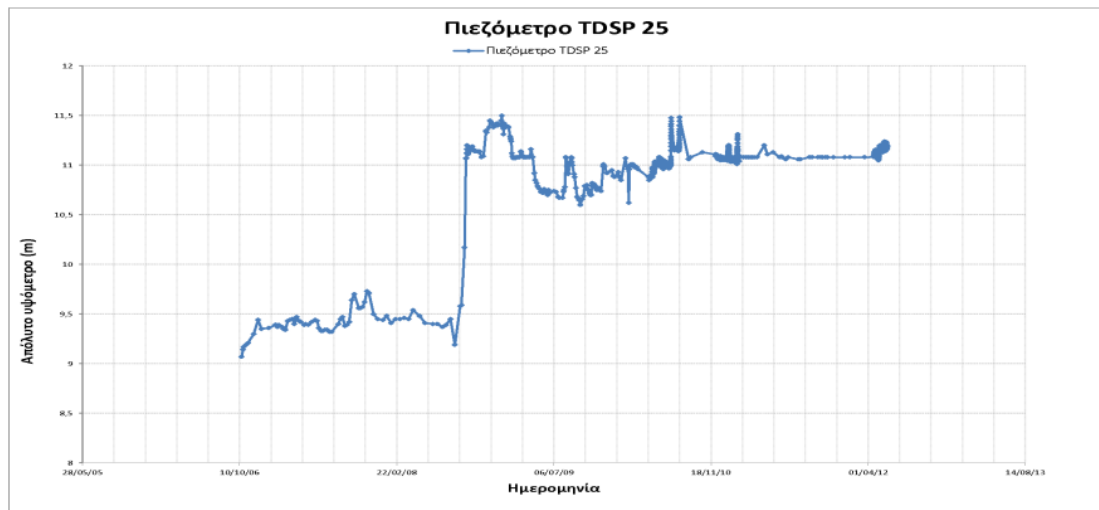
4.3.3 ΈΝΑΡΞΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΑΘΜΟΥ ΜΕ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ.

Η κατασκευή του Σταθμού ξεκίνησε με διαφραγματικούς τοίχους στη βόρεια πλευρά. Από το πρώτο κιόλας διαφραγματικό στοιχείο (πανέλο) διαπιστώθηκε στα πιεζόμετρα σημαντική ανύψωση της στάθμης (πιεζόμετρο TDSP 25) όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 33 ενώ κατά τη διάρκεια της εκσκαφής καταγράφηκαν σημαντικές απώλειες αιωρήματος μπεντονίτη που χρησιμοποιείται ως υποστηρικτικό υλικό κατά την εκσκαφή.

Η ανύψωση της στάθμης αποδόθηκε είτε σε φράξιμο (βούλωμα των εδαφικών πόρων στο αρχαιολογικό στρώμα, σε μια ευρύτερη περιοχή από τη θέση κατασκευής του πρώτου παννέλου λόγω της διαρροής του μπεντονίτη, είτε σε μπλοκάρισμα επιλεκτικής υπόγειας γραμμής ροής λόγω της ανομοιογένειας της περατότητας στο αρχαιολογικό στρώμα, είτε και σε έναν συνδυασμό των δυο αυτών παραγόντων)

Το γεγονός πάντως που έχει σημασία είναι αυτή καθαυτού η άνοδος της στάθμης η οποία και δεν είχε προβλεφθεί και τα προβλήματα που δημιούργησε στη κατασκευή του έργου.

Τα σημαντικά προβλήματα έχουν να κάνουν με α) εισροές υδάτων σε υπόγεια οικοδομών που βρίσκονται στο επίπεδο της νέας στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα , β) προβλήματα καθιζήσεων – μετακινήσεων οι οποίες προκαλούνται με έναν μηχανισμό που θα αναλυθεί παρακάτω.

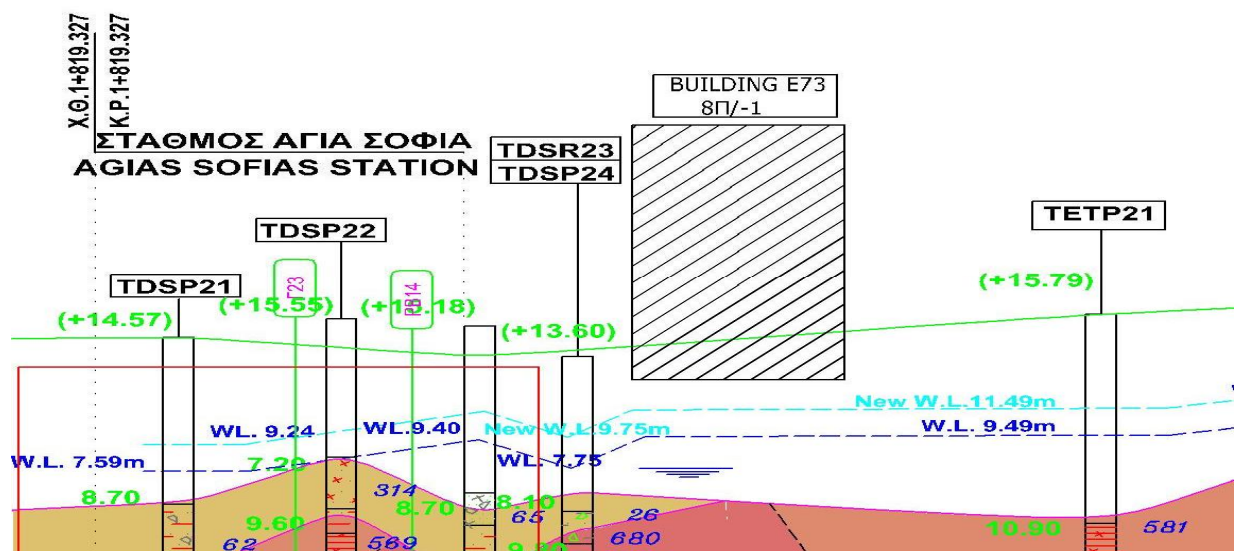


Σχήμα 33. Ανύψωση στάθμης έως και τα 2 περίπου μέτρα με την έναρξη κατασκευής των διαφραγμάτων (Επεξεργασμένα στοιχεία από τη ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)

4.3.4 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΟΔΟ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ. ΤΟ ΚΤΙΡΙΟ Ε73

Σχεδόν ακαριαία με την άνοδο της στάθμης (σχήμα 36) παρατηρήθηκαν καθιζήσεις– μετακινήσεις στο κτήριο Ε 73 που βρίσκεται στη συμβολή των οδών Εγνατίας και Αγ. Σοφίας .

Από τα παρακάτω συνθετικά διαγράμματα φαίνεται πολύ καθαρά τόσο η χρονική συσχέτιση της ανόδου της στάθμης με τη κατασκευή των διαφραγμάτων και τις απώλειες του μπεντονίτη καθώς και η χρονική συσχέτιση των καθιζήσεων στο κτήριο Ε73 με την άνοδο της στάθμης.

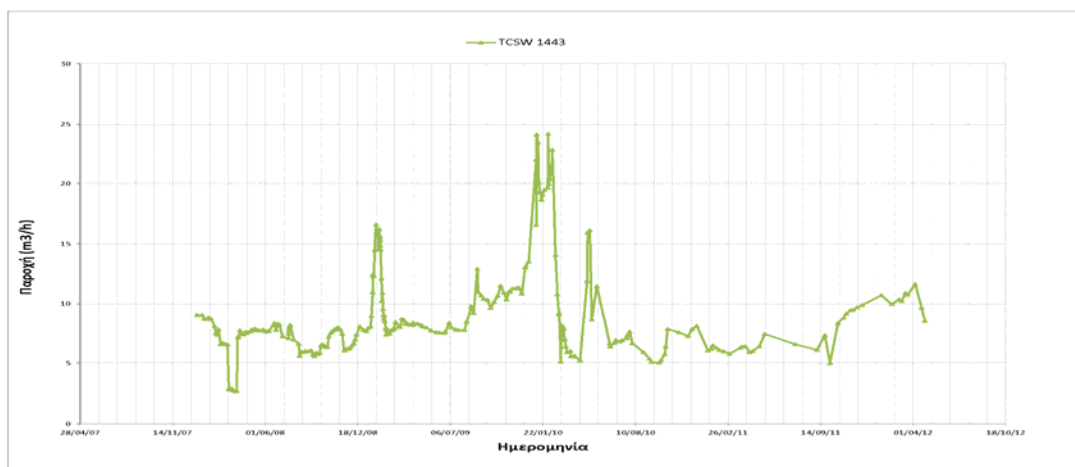


Σχήμα 34. Κατά μήκος τομή στη περιοχή του κτηρίου Ε73 που δείχνει το βάθος θεμελίωσης του κτηρίου, το γεωλογικό προφίλ και τις δυο στάθμες παλιά (πριν την έναρξη της κατασκευής) με το μπλε χρώμα και τη νέα με το γαλάζιο (ανυψωμένη κατά 2 περίπου μέτρα) και πολύ κοντά πλέον στη θεμελίωση του κτηρίου που βρίσκεται εντός του αρχαιολογικού στρώματος (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2008, β)

α) Εισροές υπογείου νερού εντός υπόγειων κατασκευών

Η μη αναμενόμενη αύξηση της στάθμης δημιούργησε αναπάντεχα προβλήματα λόγω του γεγονότος ότι η νέα διαμορφωθείσα στάθμη βρέθηκε σε υψηλότερο επίπεδο από την θεμελίωση κάποιων κτηρίων στην ευρύτερη περιοχή (σχήμα 34).

Έτσι το υπόγειο νερό μέσα από τους κατασκευαστικούς αρμούς εισήλθε στα κτήρια με αποτέλεσμα να πλημμυρίσουν τα υπόγεια και την αναγκαιότητα, τοποθέτησης αντλιών για τη προσωρινή αντιμετώπιση του προβλήματος. Σχήμα 35.



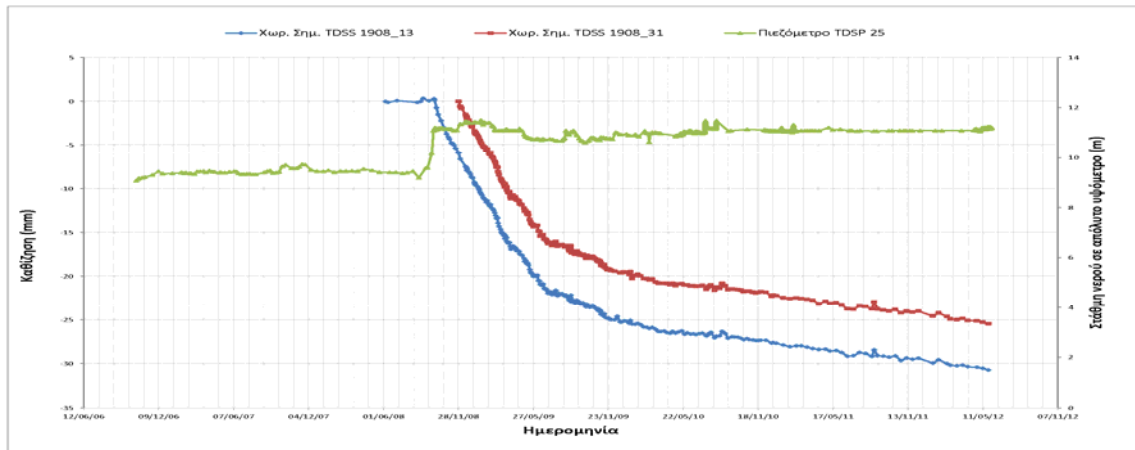
Σχήμα 35. Διάγραμμα που παρουσιάζει τις αντλήσεις του υπογείου νερού σε υπόγειο κτηρίου (Επεξεργασμένα στοιχεία από τη ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)

β) Καθιζήσεις που οφείλονται στην ανύψωση της στάθμης

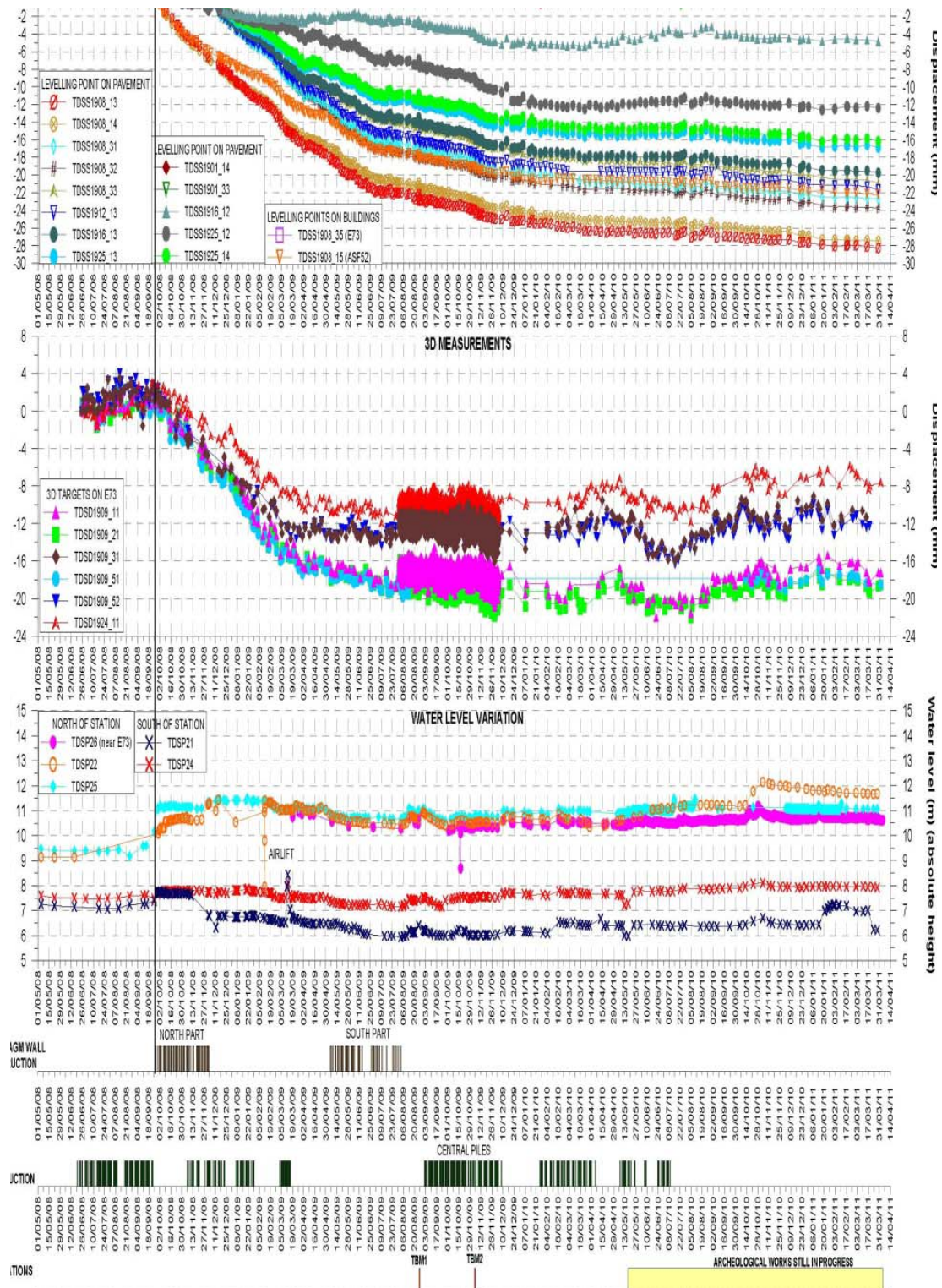
Όπως αναλυτικά παρουσιάζονται στα παρακάτω συνθετικά διαγράμματα η άνοδος της στάθμης δημιούργησε μετακινήσεις στο κτήριο E 73. Οι μετακινήσεις αυτές που καταγράφηκαν έδειξαν καθίζηση αλλά και κλίση του κτηρίου με κατεύθυνση προς την Εγνατία Οδό (προς την ελεύθερη πλευρά του κτηρίου).

ΟΙ μετακινήσεις αυτές συσχετίζονται απόλυτα με την άνοδο της στάθμης (σχήμα 36, συνθετικά διαγράμματα 1 και 2 (σχήματα 37,38) και στην επόμενη παράγραφο θα γίνει μια προσπάθεια ανάλυσης και ερμηνείας του μηχανισμού που τις προκάλεσε σε σχέση με την αλλαγή των υδρογεωλογικών συνθηκών, των σταθερών επιβαλλόμενων φορτίων καθώς και της ιδιαιτερότητας του αρχαιολογικού στρώματος

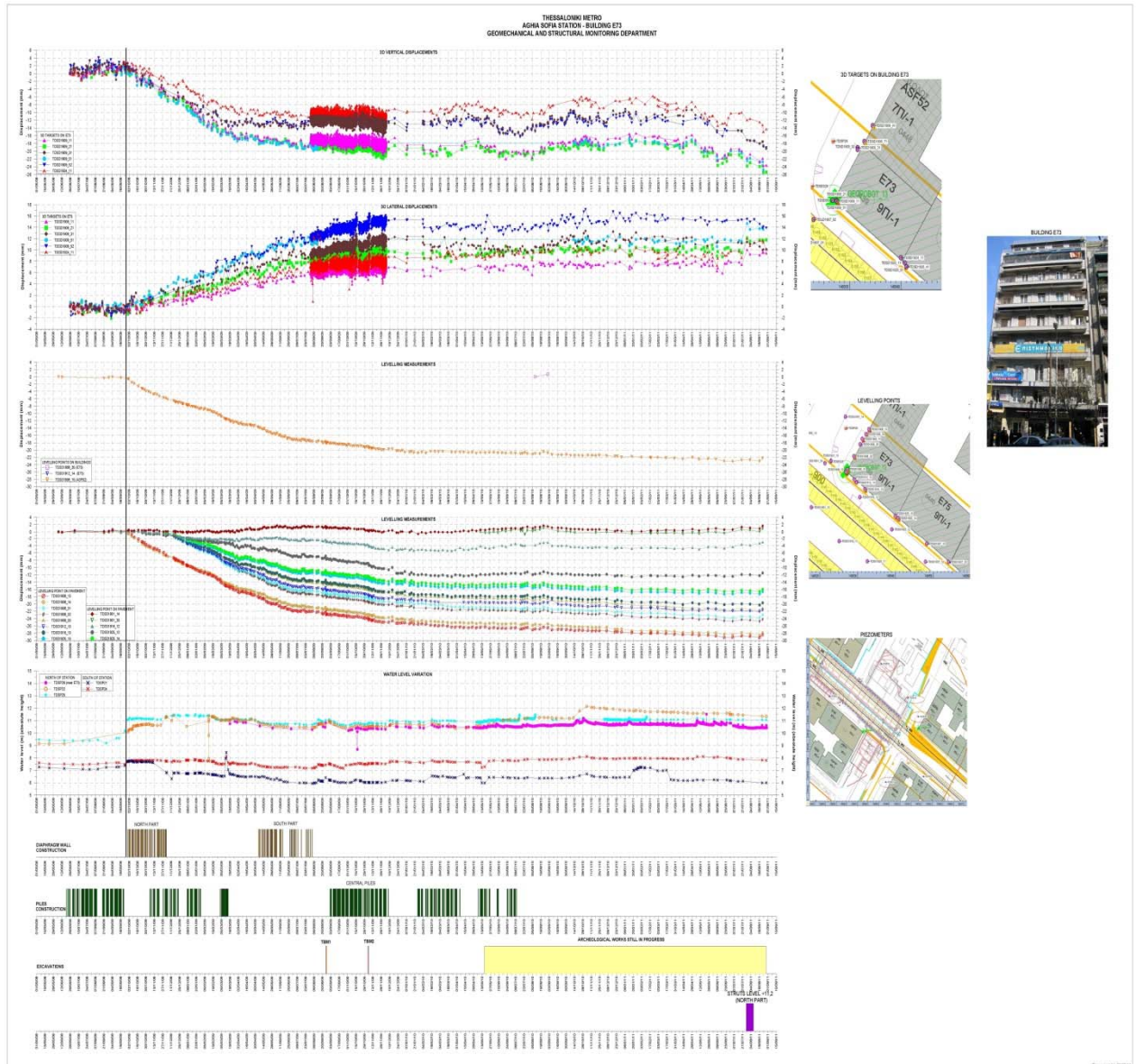
του σχηματισμού όπου εντός του επήλθαν οι αλλαγές στη στάθμη και που συνάμα αποτελεί το έδαφος θεμελίωσης του κτηρίου που υπέστη τις μετακινήσεις.



Σχήμα 36. Χρονική συσχέτιση ανόδου στάθμης – κατακόρυφων μετακινήσεων (καθιζήσεων) επί του κτιρίου E73 (Επεξεργασμένα στοιχεία από τη ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)



Σχήμα 37. Συνθετικό διάγραμμα 1: που δείχνει την άνοδο της στάθμης ακαριαία με τη κατασκευή του πρώτου διαφραγματικού πανέλου και την άμεση έναρξη των καθιζήσεων στο κτήριο Ε 73 (Τ. ΕΞΑΡΧΟΥ, Δ. ΠΑΠΟΥΛΗ, Κ/Ε ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, 2011)



Σχήμα 38. Συνθετικό διάγραμμα 2 που δείχνει τη θέση του κτηρίου E 73 σε σχέση με το Σταθμό Αγ. Σοφίας τα σημεία μέτρησης επί του κτηρίου, καθώς και επί του εδάφους που εμφανίζουν καθίζηση και κλίση προς την Εγνατία, σε άμεση συσχέτιση με την άνοδο της στάθμης στα πιεζόμετρα (Τ. ΕΞΑΡΧΟΥ, Δ. ΠΑΠΟΥΛΗ, Κ/Ε ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, 2011)

4.3.5 ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΑΝΟΔΟΥ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΣΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΚΑΙ Η ΕΝΑΡΞΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΥΠΟ ΣΤΑΘΕΡΟ ΦΟΡΤΙΟ

Από όλα τα παραπάνω στοιχεία και τα συνθετικά διαγράμματα στάθμης καθιζήσεων που συντάχθηκαν, προέκυψε ο συσχετισμός των μετακινήσεων – παραμορφώσεων με την ταυτόχρονη άνοδο της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα που πλησίασε πολύ κοντά στο επίπεδο της θεμελίωσης των κτηρίων.

Κατά τις νέες αυτές συνθήκες ,μέρος του εδάφους (αρχαιολογικού στρώματος) κάτω από τα πέδιλα θεμελίωσης των κτηρίων , βρέθηκε από την ακόρεστη κατάσταση στη κορεσμένη, με το δεδομένο ότι η άνοδος του νερού έφτασε έως και τα 2 μέτρα.

Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι υπό φυσιολογικές συνθήκες και σε συμφωνία με τη θεωρία της Εδαφομηχανικής περί Ενεργών και Ολικών τάσεων θα έπρεπε μέρος των τάσεων (υπερκείμενα φορτία εδαφών, φορτίο κτηρίου, κυκλοφοριακά φορτία) να αναληφθεί από την υγρή φάση με συνέπεια την αποφόρτιση του εδαφικού σκελετού , την ελάφρυνση δηλαδή του εδάφους και άρα τη δημιουργία ανυψώσεων.

Το φαινόμενο αυτό θα έπρεπε να λάβει χώρα στη περίπτωση που ο κορεσμός που υπέστη το συγκεκριμένο έδαφος με τη χαρακτηριστική του κοκκομετρική καμπύλη (εναλλαγές μαλακών αργίλων με άμμο και χάλικες με μέτρια πυκνούς αργιλλώδεις χάλικες) δεν θα επηρέαζε τις παραμέτρους αντοχής του, δηλαδή τη διατμητική του αντοχή και κατά συνέπεια τη συμπίεστότητά του.

Μια άλλη περίπτωση που είναι και η πιθανότερη σύμφωνα με τις μετρήσεις (αφού έχουμε καθιζήσεις), θα ήταν να μην, να παραλάμβανε η υγρή φάση μέρος των φορτίων, όμως η απομείωση της αντοχής που επέφερε η αλλαγή του ποσοστού υγρασίας του εδάφους να ήταν τέτοια που οι μετρήσεις συνολικά να εμφανίζονται ως καθιζήσεις, από την επίδραση του σταθερού φορτίου στο έδαφος θεμελίωσης με την διαφοροποιημένη πλέον διατμητική αντοχή, και συμπίεστότητα, λόγω της διαβροχής του.

Είναι δυνατόν λοιπόν πολλές φορές εδαφικές υποχωρήσεις να συμβούν , λόγω εισπίεσης ρευστού μέσα στο έδαφος ή ανυψώσεις της στάθμης του υπόγειου Υ.Ο. Για παράδειγμα σε αργιλικά ή και ασβεστιτικά εδάφη που έχουν μικρή πυκνότητα, δηλαδή υψηλό λόγο κενών, όπως οι συγκεκριμένες χαλαρές αμμώδεις άργιλλοι η προσθήκη

νερού να επιφέρει καθιζήσεις ή ακόμα και την πλήρη κατάρρευσή τους. Αυτό συμβαίνει: για τη περίπτωση των αργίλων γιατί το αργιλικό φιλμ γύρω από τους κόκκους της ιλύος με την προσθήκη του νερού λειτουργεί σαν λιπαντικό επιτρέποντας την ολίσθηση των κόκκων της ιλύος, άρα την εκδήλωση υποχωρήσεων.

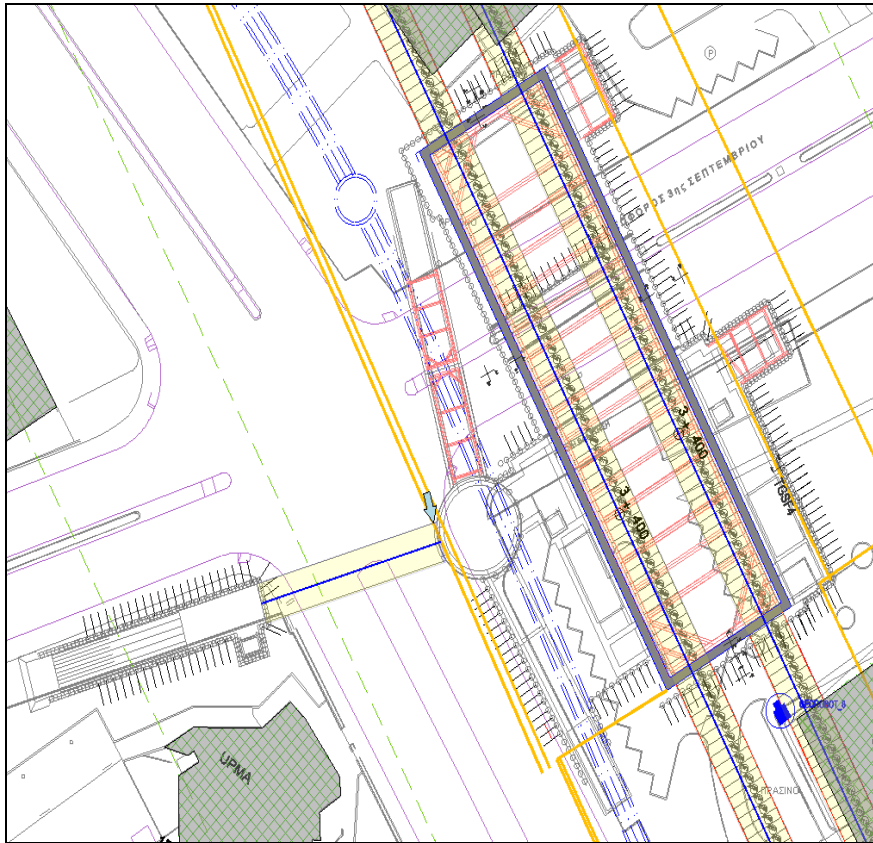
4.4 ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΛΟΓΩ ΤΟΥ ΑΡΤΕΣΙΑΝΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ ΥΔΡΟΦΟΡΙΑΣ. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ, ΚΑΤΑΝΟΗΣΗ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ, ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ

4.4.1 ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Ο Σταθμός Πανεπιστήμιο θα κατασκευασθεί στον κόμβο των οδών Εγνατίας και 3^η Σεπτεμβρίου, ο οποίος βρίσκεται μεταξύ των χ.θ. ~3+345,46 και χ.θ. ~3+422,06. του έργου του μετρό Θεσσαλονίκης, με σημείο αφετηρίας 0 χ.θ το Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό.

Το μήκος του σταθμού μαζί με τα φρέατα αερισμού είναι περίπου 76,6 και το μέγιστο βάθος εκσκαφής για την κατασκευή της πλακάς του πυθμένα είναι 35m. Η πλάκα οροφής του σταθμού βρίσκεται σε βάθος 5 m από το φυσικό έδαφος.

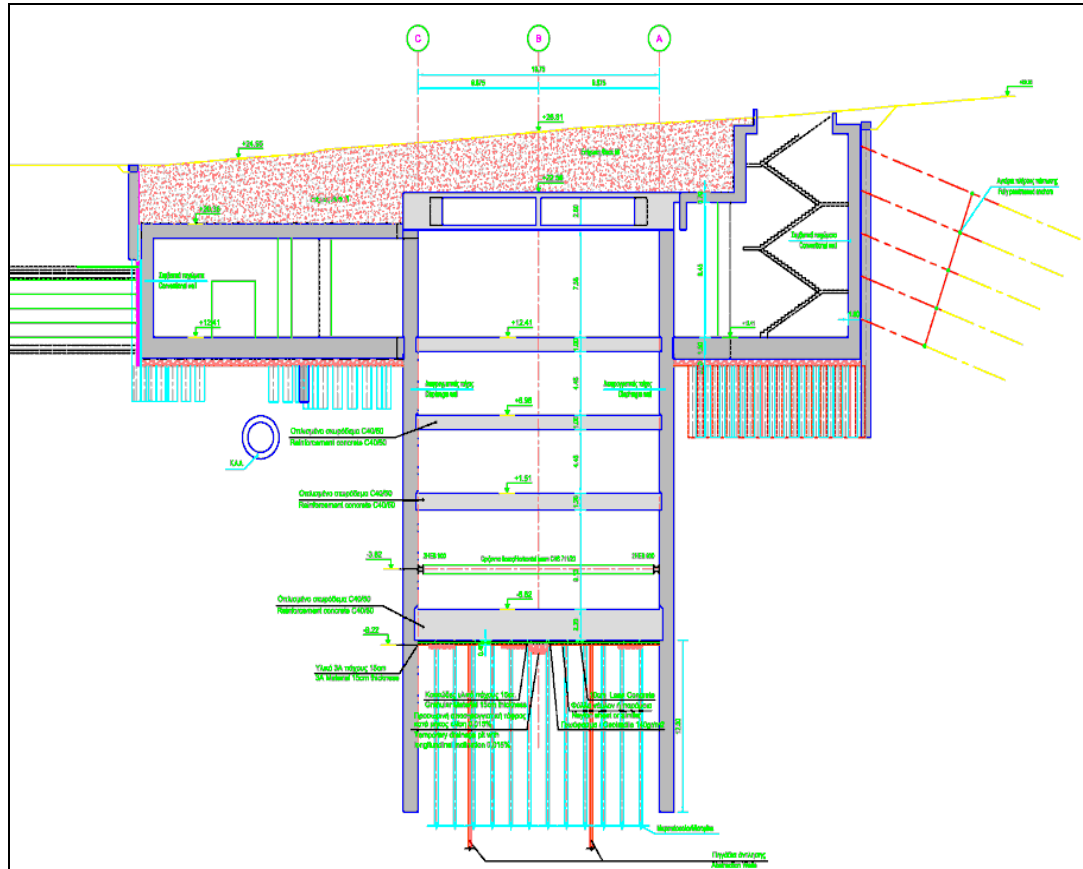
Το ελεύθερο άνοιγμα του σταθμού είναι ~19,75 m πλάτος (έσω παρειά διαφραγμάτων), το μήκος του είναι ~76,6 m (έσω παρειά διαφραγμάτων) και το μέσο βάθος του 34 m (άνω στάθμη πλάκας έδρασης).



Σχήμα 39. Κάτοψη σταθμού Πανεπιστήμιο (Χάρτης από την ΒΔ ΓΔΠ Kronos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)

Ο Σταθμός θα κατασκευαστεί με τη μέθοδο κάλυψης και εκσκαφής (cover and cut) από πάνω προς τα κάτω (top to down). Λόγω του μεγάλου ύψους υπερκειμένων πάνω από την πλάκα οροφής του σταθμού θα τοποθετηθούν στην εξωτερική παρειά των διαφραγματικών τοίχων πάσσαλοι αντιστήριξης για την αντιστήριξη του ορύγματος μέχρι το επίπεδο έδρασης της πλάκας οροφής.

Η προσωρινή αντιστήριξη του ορύγματος εκσκαφής θα γίνει με διαφραγματικούς τοίχους σε συνδυασμό με μεταλλικές αντηρίδες. Οι διαφραγματικοί, που κατασκευάζονται από επιμέρους φατνώματα, εκτός από την προσωρινή αντιστήριξη κατά τη φάση εκσκαφής θα χρησιμοποιούνται και ως μόνιμα τοιχώματα μετά το πέρας των εργασιών κατασκευής. Οι διαφραγματικοί τοίχοι θα είναι πάχους 1,2 m και το βάθος έμπηξης τους είναι 12 m από την τελική στάθμη εκσκαφής.



Σχήμα 40. Κάθετη τομή σταθμού Πανεπιστήμιο (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2009, β)

Σε γενικές γραμμές οι εργασίες κατασκευής του σταθμού διαφοροποιούνται στο δυτικό, κεντρικό και ανατολικό τμήμα του. Η κατασκευή του σταθμού θα ξεκινήσει αρχικά από το κεντρικό ανατολικό τμήμα. Παρακάτω περιγράφονται συνοπτικά οι εργασίες κατασκευής του σταθμού Πανεπιστήμιο για κάθε χρονική περίοδο:

- **Κεντρικό τμήμα – ανατολικό τμήμα**

Αρχικά, θα κατασκευαστούν οι πάσσαλοι, που θα είναι παράλληλα της λεωφόρου 3ης Σεπτεμβρίου και οι πάσσαλοι που θα τοποθετηθούν περιμετρικά στην εξωτερική παρειά των διαφραγματικών τοίχων, για την αντιστήριξη του ορύγματος μέχρι το επίπεδο έδρασης της πλάκας οροφής.

Στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί εκσκαφή μέχρι τη στάθμη +21,46 (βάθος 4 – 5m) για τη διαμόρφωση του επιπέδου εργασίας για την κατασκευή των διαφραγματικών τοίχων.

Έπειτα, θα ξεκινήσει η εκσκαφή και η προσωρινή υποστήριξη με πασσάλους του κυκλικού τμήματος των προσβάσεων, με εσωτερική διάμετρο 11 m και βάθος περί τα 13 m και τμήματος της πρόσβασης με κατεύθυνση προς βορρά

Στη συνέχεια για να επιβεβαιωθεί το αντλητικό πρόγραμμα που θα εφαρμοστεί κατά την διάρκεια της κατασκευής των διαφραγματικών τοίχων, της διάνοιξης του σταθμού και της κατασκευής των μικροπασσάλων θα εκτελεστεί μίας μεγάλης κλίμακας άντλησης από 6 πηγάδια άντλησης με ταυτόχρονη παρακολούθηση της πτώσης της πιεζομετρικής στάθμης .

Έπειτα, θα κατασκευασθούν οι οδηγοί διαφραγματικών τοίχων και οι διαφραγματικοί τοίχοι μέχρι τα 42.5 m περίπου από το επίπεδο εργασίας +21,46 .

Μετά την κατασκευή των διαφραγματικών τοίχων συνεχίζεται η εκσκαφή του σταθμού μέχρι τη στάθμη +19, 46 (βάθος 2m από το επίπεδο εργασίας), διαμορφώνεται η επιφάνεια, τοποθετείται ο οπλισμός και σκυροδετείτε η πλάκα οροφής (α.υ. +22.56).

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται τμηματική εκσκαφή και αντιστήριξη με προεντεταμένα αγκύρια μέχρι τη στάθμη +10,41 στις προσβάσεις και ολοκληρώνεται το μόνιμο έργο στις προσβάσεις μέχρι την πλάκα οροφής. Στη φάση αυτή έχει ολοκληρωθεί η κατασκευή του κυκλικού τμήματος των προσβάσεων και τμήμα της πρόσβασης με κατεύθυνση το βορρά προκειμένου να επιχωθούν ώστε να είναι δυνατή η εκτροπή της Γ' Σεπτεμβρίου που διέρχεται από τη θέση αυτή

Έπειτα, πραγματοποιείται τμηματική εκσκαφή μέσω των προσωρινών ανοιγμάτων μέχρι τη στάθμη θεμελίωσης του σταθμού. Συγκεκριμένα, πραγματοποιείται εκσκαφή μέχρι τη στάθμη +10,91 (10,55m από το επίπεδο εργασίας), διαμορφώνεται η επιφάνεια, τοποθετείται ο οπλισμός και σκυροδετείτε η πλάκα -1 (α.υ.+12.41). Οι εργασίες εκσκαφής συνεχίζουν μέχρι τη στάθμη +5,46, διαμορφώνεται η επιφάνεια, τοποθετείται ο οπλισμός και σκυροδετείτε η πλάκα -2 (α.υ. +6.96). Μετά, πραγματοποιείται εκσκαφή μέχρι τη στάθμη -0,19, διαμορφώνεται η επιφάνεια, τοποθετείται ο οπλισμός και σκυροδετείτε η πλάκα -3 (α.υ.+1.51). Οι εργασίες διάνοιξης συνεχίζουν μέχρι τη στάθμη -4.82 με την τοποθέτηση σειράς αντηρίδων σε απόλυτο υψόμετρο -3.82. Οι αντηρίδες θα είναι κυκλικής διατομής τύπου CHS711/20 και θα αφαιρεθούν μετά τη σκυροδέτηση της πλάκας θεμελίωσης του σταθμού.

Στην συνέχεια, πραγματοποιείται εκσκαφή μέχρι τη τελική στάθμη εκσκαφής, δηλαδή μέχρι το βάθος των ~30m βάθος (α.υ. -8.82), τοποθετείται ο οπλισμός, σκυροδετείτε η πλάκα θεμελίωσης (α.υ. -6.62).

Στο επίπεδο θεμελίωσης προβλέπεται κατασκευή μικροπασσάλων μήκους 22m σε κάρναβο 1.50x1.60m πριν τη σκυροδέτηση της πλάκας του πυθμένα.

Οι τελευταίες κατασκευαστικές εργασίες αυτού του τμήματος αφορούν στην κατασκευή τοίχων αντιστήριξης μορφής L επί της πλάκας οροφής του σταθμού στη θέση στην οποία εκτρέπεται η 3η Σεπτεμβρίου και εκτρέπεται η κυκλοφορία της 3ης Σεπτεμβρίου στο κεντρικό τμήμα του σταθμού.

- **Αυτικό τμήμα**

Αρχικά, θα κατασκευαστούν οι πάσσαλοι περιμετρικά στην εξωτερική παρειά των διαφραγματικών τοίχων, για την αντιστήριξη του ορύγματος μέχρι το επίπεδο έδρασης της πλάκας οροφής.

Στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί εκσκαφή μέχρι τη στάθμη +21,46 (βάθος 4–5m) για τη διαμόρφωση του επιπέδου εργασίας για την κατασκευή των διαφραγματικών τοίχων.

Στη συνέχεια για να επιβεβαιωθεί το αντλητικό πρόγραμμα που θα εφαρμοστεί κατά την διάρκεια της κατασκευής των διαφραγματικών τοίχων, της διάνοιξης του σταθμού και της κατασκευής των μικροπασσάλων θα εκτελεστεί μίας μεγάλης κλίμακας άντλησης από 6 πηγάδια άντλησης με ταυτόχρονη παρακολούθηση της πτώσης της πιεζομετρικής στάθμης

Έπειτα, θα κατασκευασθούν οι οδηγοί διαφραγματικών τοίχων και οι διαφραγματικοί τοίχοι μέχρι τα 42.5 m περίπου από το επίπεδο εργασίας +21,46 (σχ. 40).

Μετά την κατασκευή των διαφραγματικών τοίχων συνεχίζεται η εκσκαφή του σταθμού μέχρι τη στάθμη +19,46 (βάθος 2m από το επίπεδο εργασίας), διαμορφώνεται η επιφάνεια, τοποθετείται ο οπλισμός και σκυροδετείτε η πλάκα οροφής (α.υ. +22.56).

Έπειτα, πραγματοποιείται τμηματική εκσκαφή μέσω των προσωρινών ανοιγμάτων μέχρι τη στάθμη θεμελίωσης του σταθμού. Συγκεκριμένα, πραγματοποιείται εκσκαφή μέχρι τη στάθμη +10,91 (10,55m από το επίπεδο εργασίας), διαμορφώνεται η επιφάνεια, τοποθετείται ο οπλισμός και σκυροδετείτε η

πλάκα -1 (α.υ.+12.41). Οι εργασίες εκσκαφής συνεχίζουν μέχρι τη στάθμη +5,46, διαμορφώνεται η επιφάνεια, τοποθετείται ο οπλισμός και σκυροδετείτε η πλάκα -2 (α.υ.+6.96). Μετά, πραγματοποιείται εκσκαφή μέχρι τη στάθμη -0,19, διαμορφώνεται η επιφάνεια, τοποθετείται ο οπλισμός και σκυροδετείτε η πλάκα -3 (α.υ.+1.51). Οι εργασίες διάνοιξης συνεχίζουν μέχρι τη στάθμη -4.82 με την τοποθέτηση σειράς αντηρίδων σε απόλυτο υψόμετρο -3.82. Οι αντηρίδες θα είναι κυκλικής διατομής τύπου CHS711/20 και θα αφαιρεθούν μετά τη σκυροδέτηση της πλάκας θεμελίωσης του σταθμού.

Στην συνέχεια, πραγματοποιείται εκσκαφή μέχρι τη τελική στάθμη εκσκαφής, δηλαδή μέχρι το βάθος των ~30 m βάθος (α.υ. -8.82), τοποθετείται ο οπλισμός, σκυροδετείτε η πλάκα θεμελίωσης (α.υ. -6.62).

Στο επίπεδο θεμελίωσης προβλέπεται κατασκευή μικροπασσάλων μήκους 22 m σε κάρναβο 1.50x1.60m πριν τη σκυροδέτηση της πλάκας του πυθμένα.

- **Προσβάσεις - Φρέατα**

Οι προσβάσεις και τα φρέατα θα κατασκευαστούν παράλληλα με τον Σταθμό Πανεπιστήμιο. Η μέθοδος κατασκευής είναι με εκσκαφή και επανεπίχωση. Για την αντιστήριξη του ορύγματος θα τοποθετηθούν αλληλοτεμνόμενοι πάσσαλοι Φ65 ανά 0.6m. Οι πάσσαλοι αντιστηρίζονται με προεντεταμένα αγκύρια ή αντηρίδες.

Οι δυτικές προσβάσεις διασταυρώνονται στο κυκλικό φρέαρ. Στο κυκλικό φρέαρ θα τοποθετηθούν πάσσαλοι Φ65 περιμετρικά, των οποίων το βάθος έμπηξης θα είναι 2,5m και δεν θα συναντάνε τον ΚΑΑ, ο οποίος διέρχεται περί τα 3,5m κάτω από το επίπεδο εκσκαφής. Το κυκλικό φρέαρ έχει εσωτερική διάμετρο 11 m και βάθος περί τα 13 m.

Στη δυτική πλευρά του σταθμού κατασκευάζονται οι κύριες προσβάσεις. Οι προσβάσεις από την επιφάνεια προς το κυκλικό φρέαρ είναι μεταβλητού βάθους και κυμαίνονται από 1 m έως 13m

Στη βόρεια πλευρά του σταθμού θα κατασκευαστούν δύο φρέατα βάθους περί τα 18m

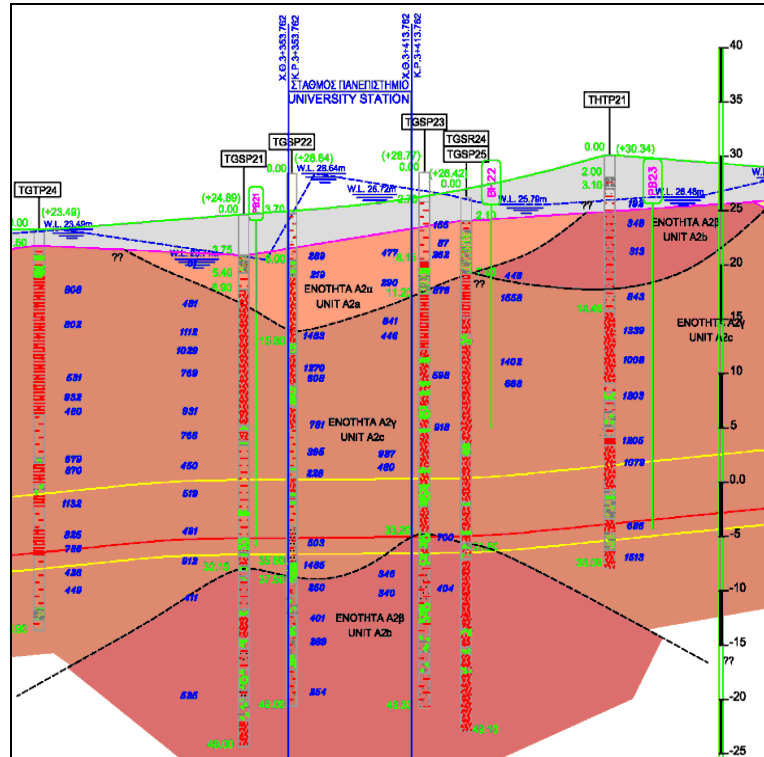
- **Σήραγγα πρόσβασης**

Η πρόσβαση που θα διέρχεται εγκάρσια της Εγνατίας Οδού θα κατασκευαστεί

με υπόγεια διάνοιξη. Η σήραγγα θα διέρχεται κάτω από την Εγνατία οδό και θα συνδέει το κυκλικό φρέαρ των προσβάσεων με την πρόσβαση που καταλήγει στην λεωφόρο της 3^{ης} Σεπτεμβρίου, στο Πανεπιστήμιο Μακεδονία. Το μήκος της σήραγγας θα είναι 29,7 m και η διάνοιξη θα γίνει με τη συμβατική μέθοδο με μέτωπο προσβολής από την πλευρά του ορύγματος.

4.4.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Στην περιοχή του Σταθμού Πανεπιστήμιο εντοπίζονται οι σχηματισμοί της Σειράς των Ερυθρών Αργίλων στις οποίες υπέρκεινται Τεχνητές Επιχώσεις. Αρχικά, η εκσκαφή του σταθμού Πανεπιστήμιο αναμένεται να πραγματοποιηθεί σε τεχνητές επιχώσεις μέχρι τα 3 m βάθος. Οι αποθέσεις αυτές αποτελούνται από σταθερές έως τοπικά στιφρές, καστανές, αμμώδεις ΑΡΓΙΛΟΥΣ (CL) με χάλικες, χαμηλής πλαστικότητας και από χαλαρές έως μέτρια πυκνές, καστανές, αργιλώδεις/ ιλυώδεις ΑΜΜΟΥΣ (SC-SM) με χάλικες (Γεωτεχνική Α2α). Οι χάλικες είναι ποικίλης σύστασης (χαλαζία, γνευσίου, σχιστολίθων), ενώ εμφανίζονται και κομμάτια κεραμικών. Στη συνέχεια και μέχρι τη στάθμη θεμελίωσης οι εργασίες εκσκαφής θα πραγματοποιηθούν σε πολύ στιφρές έως σκληρές, κυανοπράσινες και πρασινοκάστανες έως ερυθρές, αμμώδεις ΑΡΓΙΛΟΙ (CL-CI), έως πολύ ασθενείς ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΙ – ΙΛΥΟΛΙΘΟΙ, μέσης έως τοπικά χαμηλής πλαστικότητας, με ασυνεχείς ενστρώσεις πολύ πυκνών, καστανέρυθρων, αργιλωδών ΑΜΜΩΝ (SC) με χάλικες και αργιλωδών ΧΑΛΙΚΩΝ (GC) με άμμο έως καλά συγκολλημένων ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΩΝ (Γεωτεχνική ενότητα Α2γ).



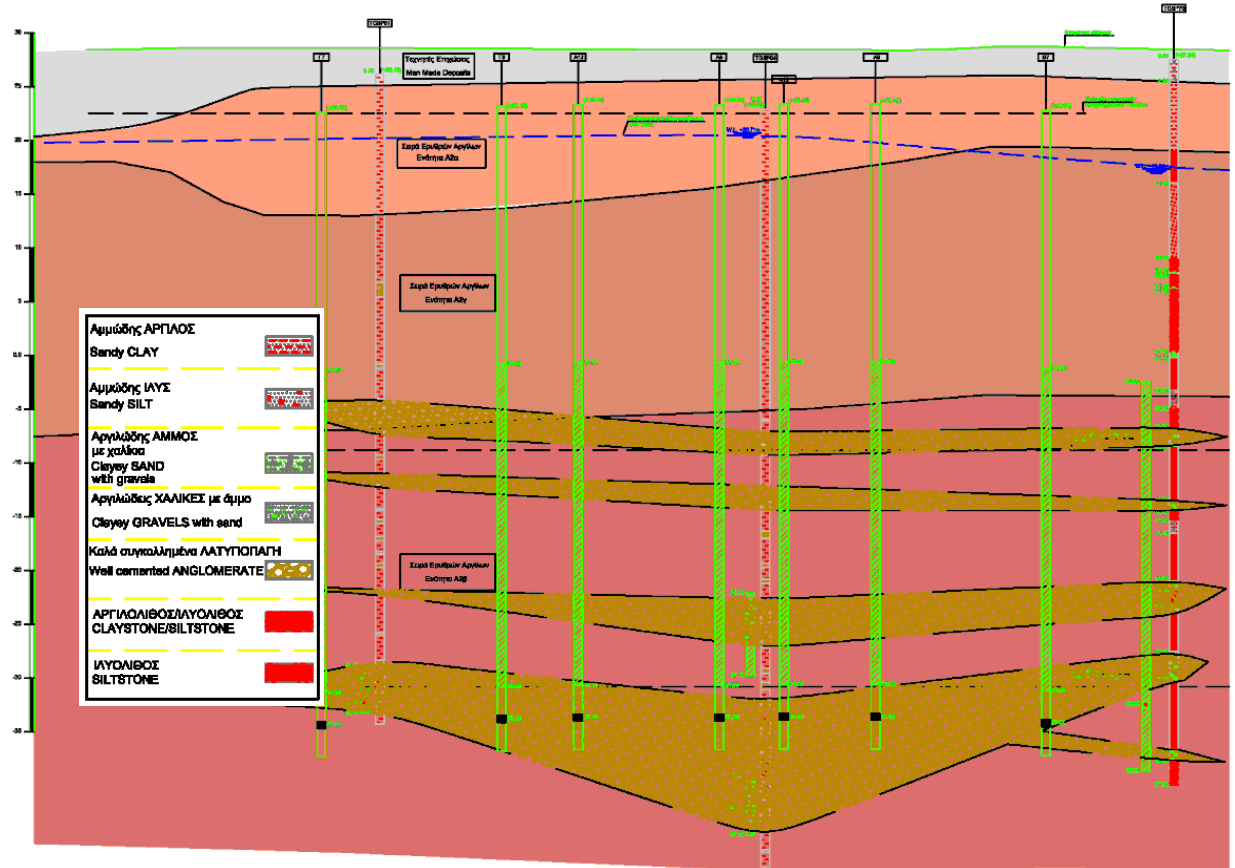
Σχήμα 41. Γεωλογική – Γεωτεχνική τομή του σταθμού Πανεπιστήμιο (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2008, β)

ΥΠΟΜΝΗΜΑ / LEGEND		
ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ GEOLOGICAL UNITS	ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ GEOTECHNICAL UNITS	ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ GEOTECHNICAL FORMATIONS
ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ MAN MADE DEPOSITS	ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ MAN MADE DEPOSITS	

ΣΕΙΡΑ ΕΡΥΘΡΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ RED CLAY SERIES	ΕΝΟΤΗΤΑ Α2 UNIT A2	Αμυλώδης ΑΡΓΙΛΟΣ έως ΑΡΓΙΛΟΣ με άμμο Sandy CLAY to CLAY with sand	
	ΕΝΟΤΗΤΑ Α2α UNIT A2a $q_u < 300 \text{ kPa}$	Αργιλώδης / ιλυώδης ΑΜΜΟΣ με χάλικες Clayey / silty SAND with gravels	
	ΕΝΟΤΗΤΑ Α2β UNIT A2b $300 < q_u < 600 \text{ kPa}$	Αργιλώδης / ιλυώδης ΧΑΛΙΚΕΣ με άμμο Clayey / silty GRAVELS with sand	
	ΕΝΟΤΗΤΑ Α2γ UNIT A2c $q_u > 600 \text{ kPa}$	ΙΛΥΟΛΙΘΟΣ SILTSTONE	
		ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΣ CLAYSTONE	
		ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΗ AGLOMERATES	

Σχήμα 42. Υπόμνημα της Γεωλογικής – Γεωτεχνικής τομή του σταθμού Πανεπιστήμιο (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2008, β)

Οι ορίζοντες αυτοί που είναι χαλαρά έως καλά συγκολλημένοι εμφανίζονται στο εσωτερικό σκληρών αργίλων και ιλυολίθων χαμηλής διαπερατότητας. Στο εσωτερικό αυτών των λατυποπαγών οριζόντων αναπτύσσονται αρτεσιανές πιέσεις που επηρεάζουν όλες τις φάσεις κατασκευής του Σταθμού Πανεπιστήμιο (κατασκευή Δ.Τ., διάνοιξη σταθμού από τα 16m και έπειτα, κατασκευή μικροπασσάλων). Αν και αυτοί οι λατυποπαγείς ορίζοντες εντοπίζονται καθόλο το βάθος των γεωτρήσεων που εκτελέστηκαν, η πυκνότητά τους αυξάνει σημαντικά από ένα βάθος 25 – 30m από το επίπεδο κατασκευής των Δ.Τ. (+22,75m) όπως φαίνονται και στο - σχήμα 43. Από αυτά τα βάθη και έπειτα εκτιμάται ότι οι εν λόγω ορίζοντες σε μεγάλο βαθμό επικοινωνούν μεταξύ τους.



Σχήμα 43. Λεπτομερής Γεωλογική τομή με τους ορίζοντες των λατυποπαγών (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2009, γ)



Σχήμα 44. Ορίζοντες λατυποπαγούς εντός των ερυθρών αργίλων στην γεώτρηση TGSP47 του σταθμού Πανεπιστήμιο (βάθος 39.2 – 42.1 m) (Κ/Ξ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, 2014)

Ενδείξεις αναφορικά με την ύπαρξη μικροαρτεσιανών φαινομένων στην περιοχή του Πανεπιστημίου υπήρχαν από τις μελέτες που έγιναν από την BOUYGUES (200050) το 1999. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι “εντοπίστηκε αρτεσιανισμός σε δυο γεωτρήσεις. Πιο ισχυρός στην PB21 (πιεζομετρικό ύψος 1m περίπου πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και παροχή αρτεσιανού περίπου 1,5m³/h) και λιγότερο ισχυρές στην PB24 (πιεζομετρικό ύψος 0,30m περίπου πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και παροχή αρτεσιανού περίπου 0,3m³/h).

Οι παραπάνω ενδείξεις επιβεβαιώθηκαν και από τις γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν στην περιοχή του Σταθμού Πανεπιστήμιο κατά την φάση της Σ.Γ.Ε, (Συμπληρωματική Γεωτεχνική Έρευνα), στις οποίες πράγματι διαπιστώθηκε η παρουσία ενός αρτεσιανού υδροφόρου στο εσωτερικό λατυποπαγών οριζόντων που εντοπίστηκαν. Κατά την φάση της αρχικής Υδρογεωλογικής Μελέτης του Έργου, δεν έγινε περαιτέρω διερεύνηση των χαρακτηριστικών του εν λόγω αρτεσιανού (βάθος ανάπτυξης, παροχές, πιέσεις), καθώς ακόμα και η δοκιμή άντλησης που εκτελέστηκε

δεν περιορίστηκε αποκλειστικά και μόνον στο εσωτερικό του συγκεκριμένου σχηματισμού.

Ως εκ τούτου εκτελέστηκε ένα νέο γεωερευνητικό πρόγραμμα με στόχο να προσδιοριστούν με ακρίβεια τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του αρτεσιανού συστήματος, ώστε να διαπιστωθεί εάν και κατά πόσο η ύπαρξή του θα επηρεάσει την κατασκευή του σταθμού.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του παραπάνω προγράμματος προκύπτει η ανάγκη για διαχείριση των πιέσεων του αρτεσιανού υδροφόρου καθώς όπως θα παρουσιαστεί στη συνέχεια επηρεάζονται όλες οι φάσεις κατασκευής του σταθμού.

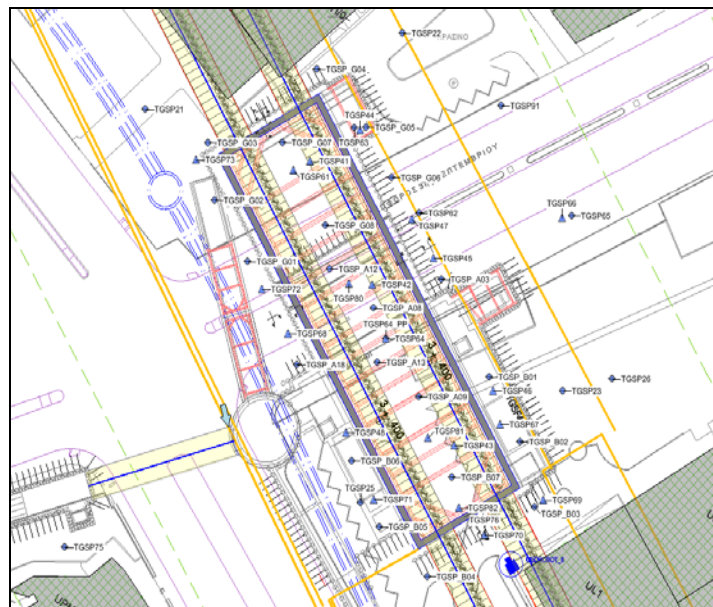
4.4.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΕΩΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΑΡΤΕΣΙΑΝΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΣΤΟ ΣΤΑΘΜΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Στα πλαίσια της περαιτέρω διερεύνησης του αρτεσιανού υδροφόρου που εντοπίστηκε στο Σταθμό Πανεπιστήμιο κατά την φάση της Σ.Γ.Ε(Συμπληρωματική Γεωτεχνική Έρευνα). εκτελέστηκε γεωερευνητικό πρόγραμμα αποτελούμενο από τρεις (3) νέες γεωτρήσεις με κωδικούς (TGSP 41, TGSP 42, TGSP 43) για την εγκατάσταση πιεζομέτρων δονούμενης χορδής.

Στόχος των γεωτρήσεων και των πιεζομέτρων δονούμενης χορδής είναι να προσδιοριστεί όσο το δυνατόν ακριβέστερα το βάθος ανάπτυξης του αρτεσιανού συστήματος καθώς και να μετρηθούν η παροχή του και οι πιέσεις του σε διάφορα βάθη.



**Σχήμα 45. Δειγματοληψία για τον ακριβή εντοπισμό του αρτεσιανού συστήματος
(Ε. ΠΕΠΠΑΣ 2014)**



**Σχήμα 46. Οριζοντιογραφία όλων των πιεζομέτρων στο Σταθμό Πανεπιστήμιο
(παλιά και νέα μετά τη διερεύνηση του αρτεσιανισμού) (Χάρτης από την ΒΔ ΓΔΠ
Kronos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)**

Η ανόρυξη όλων των γεωτρήσεων έγινε με καθαρό νερό και όχι ανακυκλούμενο ώστε να αποφευχθεί τυχόν φράξιμο των τοιχωμάτων τους και αλλοίωση των μετρούμενων παροχών. Ο τρόπος υπολογισμού της παροχής του συστήματος σε κάθε γεώτρηση παρουσιάζεται αναλυτικά στην επόμενη παράγραφο.

Όσον αφορά στα πιεζόμετρα που εγκαταστάθηκαν, πρόκειται για ηλεκτρικά πιεζόμετρα δονούμενης χορδής. Στην εκάστοτε ζώνη μέτρησης τοποθετήθηκε κατάλληλο χαλικό φίλτρο ($d_{max}=2-5\text{mm}$), ενώ πάνω και κάτω από αυτή δημιουργήθηκε τάπα από εναλλαγές μπεντονίτη και άμμου για να αποκοπεί η επικοινωνία του οργάνου με άλλα βάθη. Το τμήμα πάνω από την εκάστοτε ζώνη μέτρησης ενσωματώθηκε.

4.4.4 ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΑ ΔΟΝΟΥΜΕΝΗΣ ΧΟΡΔΗΣ (ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΑ)

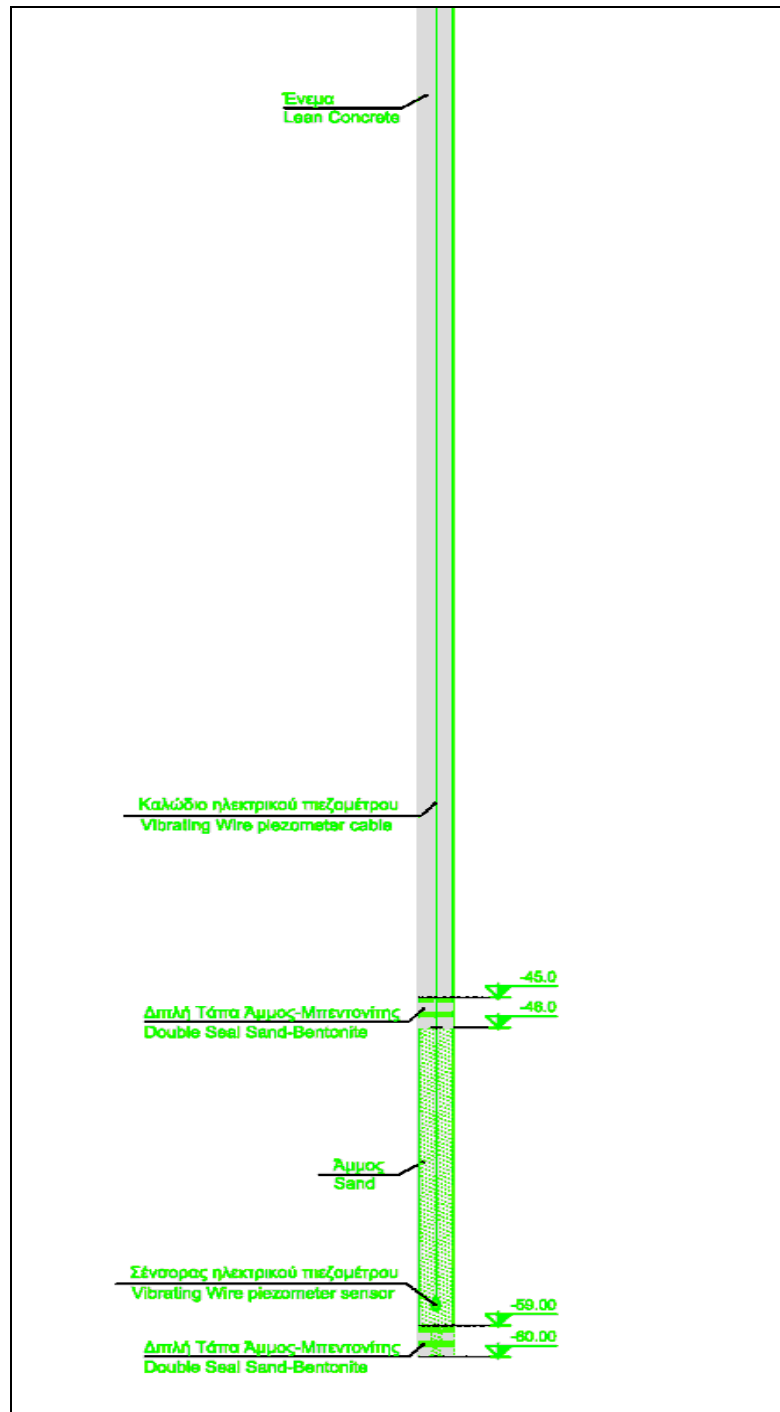
Ηλεκτρικά πιεζόμετρα τύπου δονούμενης χορδής (Vibrating wire) Σκοπός των πιεζομέτρων είναι η μέτρηση της πίεσης του υπόγειου νερού σε συγκεκριμένο βάθος. Χρησιμοποιούνται σε διάφορες κατασκευές και θεωρούνται τα πλέον κατάλληλα όργανα για μακροχρόνια παρακολούθηση της πίεσης του νερού των πόρων. Είναι αξιόπιστα, μεγάλης ακρίβειας και σχετικά χαμηλού κόστους. Τα ηλεκτρικά πιεζόμετρα διαθέτουν στο άκρο τους κατάλληλο φίλτρο για την αποφυγή φρακαρίσματος τους από λεπτόκοκκο υλικό (ιλύς) το οποίο πιθανόν να μεταφέρει το υπόγειο νερό. Τα πιεζόμετρα τοποθετούνται στο προβλεπόμενο βάθος που πρέπει να μετρηθεί η πίεση των πόρων. Υπάρχει δυνατότητα να τοποθετηθούν περισσότερα του ενός πιεζόμετρου, μέσα στην ίδια γεώτρηση και σε διαφορετικά βάθη ανάλογα με το γεωτεχνικό σχεδιασμό και τις επικρατούσες γεωλογικές συνθήκες στη κλίμακα του έργου.. Οι μετρήσεις γίνονται με φορητές συσκευές ή ενσωματώνονται εύκολα σε αυτόματο κεντρικό σύστημα συλλογής δεδομένων (όταν υπάρχει μεγάλος αριθμός οργάνων).

Υπάρχει και δυνατότητα αυτοματοποίησης τους με τη μεταφορά των δεδομένων σε κεντρικό υπολογιστή με ασύρματη ή ενσύρματη επικοινωνία.

Εγκατάσταση: Εγκαθίστανται εντός γεώτρησης στο επιθυμητό βάθος. Πριν την εγκατάσταση εάν απαιτείται πραγματοποιείται καθαρισμός της γεώτρησης. Μετά την επαλήθευση της καλής λειτουργίας του οργάνου το οποίο ελέγχεται από εντεταλμένο εκπρόσωπο της Υπηρεσίας προβαίνουμε στο κορεσμό του πορώδους φίλτρου. Ο κορεσμός του φίλτρου πραγματοποιείται με την παραμονή του φίλτρου για 24 ώρες μέσα σε νερό που βράζει για 15 λεπτά μετά τον κορεσμό του πορώδους φίλτρου. Ο τύπος του φίλτρου καθορίζεται με βάση τα περιβάλλοντα εδαφικά υλικά. Το όργανο τοποθετείται εντός σάκου γεωυφάσματος (παρουσίας νερού) με φίλτρο διαβαθμισμένης και πλυμένης άμμου. Η διάταξη αυτή τοποθετείται προσεκτικά εντός της γεώτρησης στο επιθυμητό βάθος συγκρατούμενη από το καλώδιο του πιεζόμετρου το οποίο καταλήγει έξω από την γεώτρηση στην κεφαλή του οργάνου. Ο περιβάλλον χώρος, περίπου μισό μέτρο άνω του πιεζομετρικού κύτταρου, πληρώνεται με φίλτρο άμμου. Μετά το φίλτρο άμμου κατασκευάζεται διάφραγμα (τάπα) από μπεντονίτη (pellets) για την απομόνωση του οργάνου. Ο δακτύλιος μεταξύ σωλήνα και παρειών της γεώτρησης πληρώνεται με τσιμεντένεμα. Το καλώδιο του οργάνου πρέπει να έχει μήκος τέτοιο ώστε να τοποθετείται χαλαρό (οφιοειδώς) σε όλο το μήκος του για να μην υποστεί ζημιά από πιθανή καθίζηση. Κατασκευάζεται κατάλληλη κεφαλή (η οποία θα ασφαρίζεται), σε προστατευμένη θέση όπου μεταφέρεται η άκρη του καλωδίου του οργάνου έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα λήψης μετρήσεων με φορητή συσκευή ανάγνωσης μετρήσεων. Τέλος τοποθετείται σήμανση δίπλα στην κεφαλή όπου καταγράφεται το όνομα και το βάθος του οργάνου. Σε περίπτωση όπου στο ίδιο διάστημα τοποθετούνται περισσότερα από ένα όργανα τότε στις απολήξεις των καλωδίων τοποθετούνται ευκρινείς ετικέτες με τα στοιχεία του κάθε οργάνου. Τα όργανα και τα παρελκόμενα τους θα πρέπει να είναι καινούργια και στην εργοστασιακή συσκευασία τους. Κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης θα πρέπει να ληφθούν υπόψη με μεγάλη προσοχή, οι οδηγίες του κατασκευαστή του οργάνου.



Σχήμα 47. Πιεζόμετρο δονούμενης χορδής (Ε. ΠΕΠΠΑΣ, 2014)



Σχήμα 48. Ενδεικτική τομή ανάπτυξης πιεζομέτρου δονούμενης χορδής (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2009, γ)

4.4.5 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΤΡΗΣΗ

Στόχος των γεωτρήσεων, όπως προαναφέρθηκε, είναι να διαπιστωθεί αρχικά το βάθος ανάπτυξης του αρτεσιανού υδροφόρου και να εκτιμηθεί η παροχή του και στη

συνέχεια μέσω της εγκατάστασης των πιεζομέτρων, να μετρηθούν οι πιέσεις του.

Σε κάθε γεώτρηση το βάθος οροφής του αρτεσιανού προσδιορίστηκε με μετρήσεις της στάθμης του νερού έπειτα από κάθε δειγματολειτουργία. Συγκεκριμένα, έπειτα από κάθε βουτιά, μήκους ~1.5m, γινόταν μέτρηση του ρυθμού επανόδου της στάθμης του νερού στη γεώτρηση έως ότου σταθεροποιηθεί ή για 15-20min.

Από τις μετρήσεις που έγιναν στις γεωτρήσεις, προέκυψε ότι μεταξύ του βάθους των 25m και 31m, από την κεφαλή της εκάστοτε γεώτρησης, απαντάται η οροφή του αρτεσιανού συστήματος. Στη συνέχεια παρουσιάζονται εν συντομία τα αποτελέσματα των εργασιών υπαίθρου σε τρεις ενδεικτικές γεωτρήσεις.

▲ **TGSP42:** Υψ. Κεφαλής: +22.82m – Υψ. Αρτεσιανού: -2.18m (Βάθος ~25m) Έπειτα από την βουτιά μεταξύ 25.00m – 26.50m και όντας σωληνωμένος μέχρι τα 24.50m η στάθμη του νερού στη γεώτρηση ανήλθε και ξεχείλισε από την κεφαλή της, με εκτιμωμένη παροχή στην επιφάνεια $Q \sim 60 \text{ lt / h}$. Πριν το βάθος των 25m η στάθμη του νερού στη γεώτρηση ισορροπούσε έπειτα από 15min περίπου 1m κάτω από την κεφαλή της γεώτρησης. Ο αρτεσιανισμός διαπιστώθηκε συνεχώς έως και το πέρας της γεώτρησης με την παροχή που μετρήθηκε στο τμήμα 50-53m να είναι περίπου $Q \sim 420 \text{ lt / h}$ (σωλήνωση έως τα 50m) Το βάθος που διαπιστώθηκε ο αρτεσιανός υδροφόρος επιβεβαιώνεται από την στρωματογραφία της γεώτρησης, σύμφωνα με την οποία από το βάθος των 25m και έπειτα εντοπίζονται χαλαρά συγκολλημένα λατυποπαγή και αργιλώδεις άμμοι και χάλικες σε εναλλαγές με στρώσεις μικρού πάχους χαλικοδών αργίλων / αργιολίθων..

▲ **TGSP41:** Υψ. Κεφαλής: +27.01m – Υψ. Αρτεσιανού: -3.99m (Βάθος ~31m) Με ασωλήνωτο τμήμα μεταξύ 30m και 35m βάθους διαπιστώθηκε άνοδος της στάθμης του νερού στη γεώτρηση στην επιφάνεια του εδάφους με παροχή στην επιφάνεια ίση με $Q \sim 35 \text{ lt / h}$. Η παραπάνω εικόνα συνεχίστηκε έως και το πέρας της γεώτρησης με εκτιμώμενες παροχές αρτεσιανού μεταξύ 25 και 65 lt / h.

▲ **TGSP43:** Υψ. Κεφαλής: +22.72m – Υψ. Αρτεσιανού: -5.28m (Βάθος ~28m) Με ασωλήνωτο τμήμα μεταξύ 28m και 31m βάθους διαπιστώθηκε άνοδος της στάθμης του νερού στη γεώτρηση στην επιφάνεια του εδάφους έπειτα από περίπου 8min με παροχή στην επιφάνεια ίση με $Q \sim 160 \text{ lt / h}$. Η παραπάνω εικόνα συνεχίστηκε έως και το πέρας της γεώτρησης με εκτιμώμενες παροχές αρτεσιανού που στο τμήμα 37m – 40m έφτασαν τα 350 lt /h.



Σχήμα 49. Αρτεσιανισμός κατά την διάρκεια διάτρησης των πιεζόμετρων (Ε. ΠΕΠΠΑΣ, 2014)

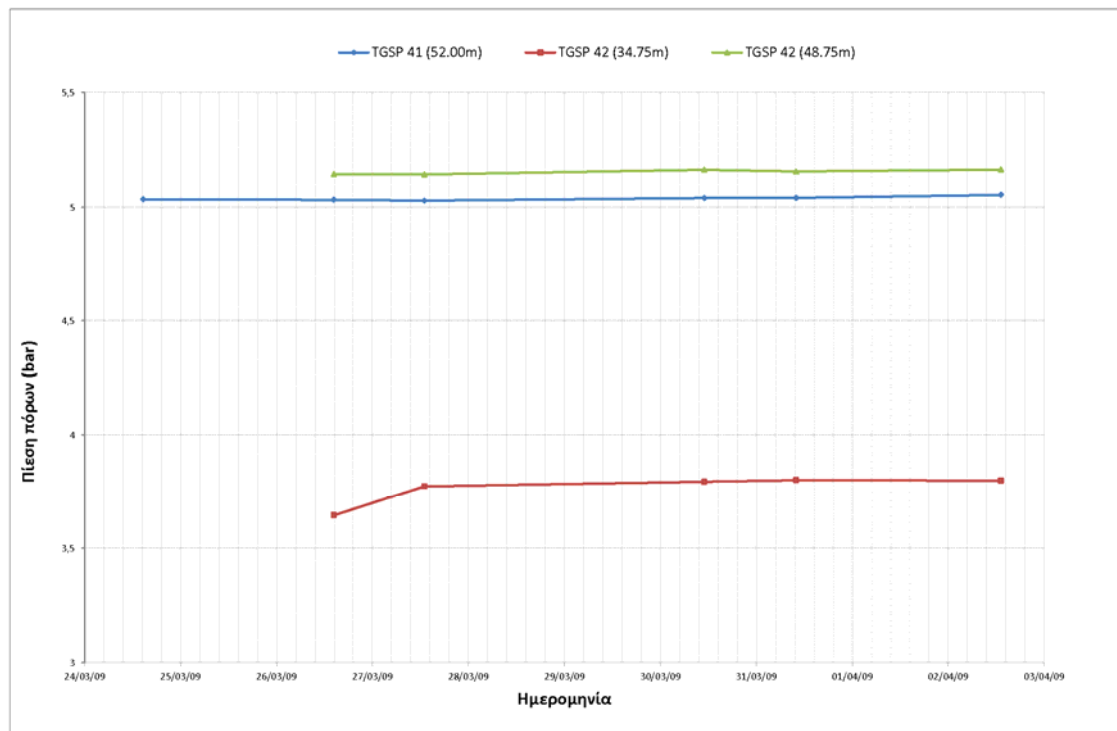


Σχήμα 50. Αρτεσιανισμός κατά την διάρκεια διάτρησης των πιεζόμετρων (Ε. ΠΕΠΠΑΣ, 2014)

4.4.6 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ

Στις γεωτρήσεις που ανορύχθηκαν εγκαταστάθηκαν πιεζόμετρα δονούμενης χορδής σε διαφορετικά βάθη, για την παρακολούθηση του δυναμικού του αρτεσιανού συστήματος, καθώς και για να διαπιστωθεί εάν οι ορίζοντες λατυποπαγών που

διακόπτονται από στρώσεις ιλυολίθων επικοινωνούν και δομούν ένα ενιαίο σύστημα σταθερής πίεσης ή όχι. Από τις μετρήσεις των πιεζομέτρων προέκυψε ότι η αρτεσιανή πίεση κυμαίνεται από 20 έως 45 kPa. Με την κανονική υδροστατική πίεση στα αντίστοιχα βάθη να κυμαίνεται από 340–480 kPa και τη μετρούμενη από τα πιεζόμετρα δονούμενης χορδής να κυμαίνεται από 380 έως 520 Kpa (σχήμα 51).



Σχήμα 51. Αρχικές μετρήσεις των εγκατεστημένων πιεζομέτρων δονούμενης χορδής (TGSP 41, TGSP 42, TGSP 43) που εγκαταστάθηκαν για τη μέτρηση της αρτεσιανής πίεσης σε bar. (1 bar = 100Kpa). Οι τιμές κυμαίνονται από 3,8 έως 5,2 bar. Στο επάνω μέρος του διαγράμματος δίπλα από το κωδικό της γεώτρησης αναγράφεται και το ακριβές βάθος εγκατάστασης του σένσορα του πιεζομέτρου δονούμενης χορδής (Επεξεργασμένα στοιχεία από τη ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)

Στις τιμές της υδροστατικής πίεσης έχει ληφθεί στάθμη φρεάτιου ορίζοντα στο απόλυτο υψόμετρο των +21,75m περίπου, σύμφωνα με στοιχεία από την Σ.Γ.Ε. (Συμπληρωματική Γεωτεχνική Έρευνα).

Σύμφωνα λοιπόν με τις παραπάνω τιμές προκύπτει μια αρτεσιανή πίεση που ξεπερνά την υδροστατική κατά περίπου 2,5 – 4,5m. Επιπλέον, σύμφωνα με τις ενδείξεις των πιεζομέτρων της γεώτρησης TGSP42 (εγκαταστάθηκαν σε

διαφορετικούς ορίζοντες λατυποπαγών που διακόπτονται από αργιολίθους και ιλυολίθους) οι λατυποπαγείς ορίζοντες που εντοπίζονται στα διάφορα βάθη, εντός της ζώνης του αρτεσιανού, επικοινωνούν μεταξύ τους καθώς παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές πίεσης.

4.4.7 ANAMENOMENA PROBLHMATA STH KATASKEUYH TOY ERFΟΥ

Τα προβλήματα που αναμένονται λόγω της παρουσίας του αρτεσιανού υδροφόρου επηρεάζουν:

α) την εκσκαφή για την κατασκευή των διαφραγματικών τοίχων του σταθμού. Αναφορικά με την κατασκευή των διαφραγματικών τοίχων τα αναμενόμενα προβλήματα αφορούν στο γεγονός ότι η πίεση που θα ασκεί ο μπεντονίτης στο βάθος ανάπτυξης του αρτεσιανού (περίπου 30m βάθος από το επίπεδο εργασίας σύμφωνα με τα πιεζόμετρα δονούμενης χορδής TGSP41,42,43) λόγω του ιδίου βάρους του θα είναι μικρότερη από την αρτεσιανή, με αποτέλεσμα τις ανεξέλεγκτες εισροές υδάτων στο σκάμμα του πανέλου. Αυτό δεν αναμένεται να επηρεάσει την ευστάθεια του σκάμματος, λόγω των υψηλών μηχανικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών, ωστόσο είναι πιθανό να προκαλέσει προβλήματα στη σκυροδέτηση του πανέλου, είτε λόγω απόπλυσης του σκυροδέματος είτε μεταβάλλοντας την περιεκτικότητά του σε νερό και τσιμέντο.

β) την ευστάθεια του πυθμένα της εκσκαφής, καθώς από το βάθος των 16m και κάτω, το βάρος των υπερκειμένων δεν επαρκεί για την αντιστάθμιση των αρτεσιανών πιέσεων με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλος κίνδυνος βίαιης ρηγμάτωσης του πυθμένα της εκσκαφής και ανεξέλεγκτης εισροής νερού ή ακόμα και ολικής αστοχίας.

γ) την κατασκευή των προβλεπόμενων μικροπασσάλων κάτω από την πλάκα του πυθμένα, δεδομένου ότι οι μικροπάσσαλοι θα πρέπει να κατασκευασθούν από ένα επίπεδο πάνω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα έτσι ώστε να μπορούν να σκυροδετηθούν χωρίς οι αρτεσιανές πιέσεις να προκαλέσουν προβλήματα ανάλογα με αυτά που αναπτύχθηκαν για την φάση σκυροδέτησης των διαφραγματικών τοίχων.

4.4.8 ΛΕΠΤΟΜΕΡΗΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

4.4.8.1 *Κατασκευή διαφραγματικών τοίχων*

Από τα πιεζόμετρα δονούμενης χορδής TGSP41, 42 και 43 προκύπτει ότι η πίεση πόρων του αρτεσιανού συστήματος περί το βάθος των 30m από το επίπεδο εργασίας, όπου αναμένεται η οροφή του, είναι περίπου 335 kPa.

Η πίεση του μπεντονίτη στο βάθος συνάντησης των αρτεσιανών είναι: $10,5 \text{ kN/m}^3 \times 30,00 \text{ m} = 315 \text{ kPa}$

Για την εξασφάλιση έναντι εισροών στο σκάμμα απαιτείται εξίσωση της πίεσης του μπεντονίτη με την εξωτερική πίεση του νερού. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε αυξάνοντας την πίεση του μπεντονίτη είτε μειώνοντας την πίεση του αρτεσιανού ορίζοντα.

Έτσι, για εξασφάλιση συντελεστή ασφαλείας ίσου με 1,05 απαιτείται η πίεση του αρτεσιανού να πέσει στο $315 / 1,05 = 300 \text{ kPa}$ άρα μείωση της αρτεσιανής πίεσης από 335 σε 300 kPa, δηλαδή πτώση της στάθμης των αρτεσιανών κατά περίπου 3,50m. Δεδομένου ότι η στάθμη του μπεντονίτη θα πρέπει να είναι πάντα τουλάχιστον 1m πάνω από την πιεζομετρική, προκύπτει τελικά η ανάγκη για μείωση της πιεζομετρικής στάθμης κατά 4.5m.

4.4.8.2 *Εκσκαφή του σταθμού*

Σύμφωνα με τις μετρήσεις από τα πιεζόμετρα δονούμενης χορδής (TGSP41, 42 και 43) που έχουν τοποθετηθεί, οι αρτεσιανές πιέσεις κυμαίνονται στο βάθος κατασκευής της τελικής πλάκας (Α.Υ. -6.62m) του Σταθμού μεταξύ 305 kPa και 345 kPa.

Το κρίσιμο βάθος κάτω από το οποίο δεν επαρκεί το βάρος των υπερκειμένων για την αντιστάθμιση των αρτεσιανών πιέσεων είναι $\gamma \times z = 345 \text{ kPa}$, όπου γ το φαινόμενο βάρος των σχηματισμών και z το απαιτούμενο πάχος των υπερκειμένων.

Συνεπώς, $z = 345 \text{ kPa} / 22 \text{ kN/m}^3 = 16 \text{ m}$

Από τα παραπάνω προκύπτει η ανάγκη για μείωση των αρτεσιανών πιέσεων από ένα βάθος 16m (Α.Υ. +6,56m) και κάτω έτσι ώστε να διασφαλίζεται η συνολική και η μερική ευστάθεια της κατασκευής με την προχώρηση των εκσκαφών

Η αντιμετώπιση των παραπάνω θεμάτων μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους. Συνοπτική αναφορά των μεθόδων αυτών καθώς και των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της κάθε μίας θα γίνει στη συνέχεια με στόχο την επιλογή της προσφορότερης για το συγκεκριμένο έργο. Πρόσφορη μέθοδος για το έργο κρίνεται μία μέθοδος η οποία: δεν οδηγεί σε πτώση της στάθμης του μόνιμου υδροφόρου ορίζοντα. Μια μέσης ή μεγαλύτερης διάρκειας πτώση της στάθμης του Υ.Υ.Ο θα οδηγούσε σε καθιζήσεις στα κτίρια του περιβάλλοντα τον Σταθμό χώρου.

- είναι δοκιμασμένη στην Ελλάδα
- είναι αποτελεσματική
- είναι ελέγξιμη
- δεν απαιτεί μεγάλο χρόνο για την εφαρμογή της .

4.4.9 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΟΥ ΑΡΤΕΣΙΑΝΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ

Οι τεχνικές οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των υπογείων υδάτων στα διάφορα έργα ανά το κόσμο είναι οι εξής:

1. Βαθιά φρέατα άντλησης για την αποτόνωση της αρτεσιανής πίεσης (deep wells)

Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται ως εξαιρετικά κατάλληλη για τον έλεγχο αρτεσιανών πιέσεων ιδιαίτως σε περιπτώσεις έργων με τις γεωτεχνικές συνθήκες που επικρατούν στον εν λόγω Σταθμό όπου ο αρτεσιανός εντοπίζεται σε βάθος κάτω από πρακτικά αδιαπέρατο στρώμα μέσα στο οποίο τερματίζεται το δάπεδο της εκσκαφής του σταθμού.

2. Ανακουφιστικά φρέατα (relief wells).

Η μέθοδος είναι παρεμφερής με την προηγούμενη (1) με την διαφορά ότι με την τεχνική αυτή δεν χρησιμοποιείται αντλία και η αποτόνωση της πίεσης γίνεται ελεύθερα. Επομένως, συγκριτικά με την προηγούμενη, απαιτείται αρκετά μεγαλύτερος αριθμός φρεάτων ο οποίος, τελικώς, δυσχεραίνει τις εργασίες εκσκαφής μέσα στο

σκάμμα και δεν φτάνει η αποτόνωση στο επιθυμητό βάθος κατά την κατασκευή των ΔΤ.

3. Ground freezing.

Πολύ καλή μέθοδος κυρίως για αδύναμα εδάφη κάτω από τον Υ.Υ.Ο, τα οποία μετατρέπονται σε αδιαπέρατα και ανθεκτικότερα (self-supporting). Η εφαρμογή της μεθόδου στους μαλακούς βράχους του Σταθμού δεν ενδείκνυται καθώς δεν μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στη δομή τους λόγω διαστολής του νερού στους πόρους και στις ασυνέχειες.

Ενεμάτωση (grouting). Η μέθοδος χρησιμοποιείται είτε για να μειώσει τη διαπερατότητα του υπεδάφους είτε για να αυξήσει την αντοχή του. Στην περίπτωση, όμως, του αρτεσιανού δεν φαίνεται να ενδείκνυται καθώς εκτιμάται μετά βεβαιότητας ότι θα αυξηθεί η πίεση στο αδιαπέρατο στρώμα της οροφής του αρτεσιανού συστήματος μετά τον εκτοπισμό του από το ένεμα. Από τις παραπάνω μεθόδους εκτιμάται ότι, για τις επικρατούσες στον Σταθμό γεωτεχνικές συνθήκες, η καταλληλότερη μέθοδος για τον έλεγχο του αρτεσιανού συστήματος και την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεών του είναι η εγκατάσταση βαθιών φρεάτων άντλησης (deep wells).

Ο αριθμός των απαιτούμενων φρεάτων, οι παροχές άντλησης ανά στάδιο κατασκευής θα επιβεβαιωθούν μετά τη διενέργεια δοκιμαστικής άντλησης και επακόλουθης επαναφοράς της στάθμης.

Προτείνεται λοιπόν η εκτέλεση μιας μεγάλης κλίμακας δοκιμαστικής άντλησης από έξι (6) βαθιά πηγάδια με ταυτόχρονη παρακολούθηση της πτώσης της πιεζομετρικής στάθμης από δεκαέξι (16) πιεζόμετρα παρατήρησης καθώς και των αναπτυσσόμενων καθιζήσεων μέσω ήδη εγκατεστημένων μαρτύρων με σκοπό την επιβεβαίωση του αντλητικού προγράμματος που προτείνεται για την ασφαλή κατασκευή του σταθμού Πανεπιστήμιο όσον αφορά στην κατασκευή των Δ.Τ., την εκσκαφή του σταθμού, καθώς και στην κατασκευή των μικροπασσάλων. Για κάθε ένα από τα 3 στάδια απαιτείται συγκεκριμένη πτώση στάθμης που αντιστοιχεί σε υπολογισμένη απομείωση των αρτεσιανών πιέσεων που επιτυγχάνεται με συγκεκριμένη παροχή άντλησης από το σύνολο των φρεάτων για κάθε στάδιο.

4.4.10 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ

Οι στόχοι της προτεινόμενης μεγάλης κλίμακας άντλησης είναι:

1. να ελεγχθεί / επιβεβαιωθεί εάν οι παροχές άντλησης που προτείνονται για την ασφαλή κατασκευή των Δ.Τ. οδηγούν πράγματι στην επιθυμητή ταπείνωση της πιεζομετρικής στάθμης (εκτιμώμενη παροχή $1.0 \div 1.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ανά πηγάδι – επιθυμητή ταπείνωση στη θέση του εκάστοτε πανέλου $4.0 \div 5.0\text{m}$)

2. να ελεγχθεί / επιβεβαιωθεί εάν οι παροχές άντλησης που προτείνονται για την εκσκαφή του σταθμού και την κατασκευή των μικροπασσάλων οδηγούν πράγματι στην επιθυμητή ταπείνωση της πιεζομετρικής στάθμης (εκτιμώμενη παροχή $3.0 \div 4.0 \text{ m}^3/\text{h}$ ανά πηγάδι – επιθυμητή ταπείνωση πιεζομετρικής στάθμης $35 \div 40\text{m}$)

3. να ελεγχθεί / επιβεβαιωθεί η μέγιστη ακτίνα επίδρασης της άντλησης κατά την διάρκεια άντλησης και από τα έξι πηγάδια με την μέγιστη απαιτούμενη παροχή ($\sim 3.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ανά πηγάδι) για την κατασκευή των μικροπασσάλων. Ο εν λόγω έλεγχος θα γίνει μέσω των πιεζομέτρων παρατήρησης που θα εγκατασταθούν έως και απόστασης 100m (εκτιμηθείσα ακτίνα επίδρασης από δοκιμαστικές αντλήσεις) από το σταθμό.

4. να γίνει μέτρηση των αναπτυσσόμενων καθιζήσεων λόγω της άντλησης με χρήση των ήδη εγκατεστημένων χωροσταθμικών οργάνων που βρίσκονται τοποθετημένα έως και απόστασης 100m ανάντι από το σταθμό.

5. σε περίπτωση που με την προβλεπόμενη παροχή άντλησης των $3.0 \div 4.0 \text{ m}^3/\text{h}$ από κάθε πηγάδι δεν επιτυγχάνεται η απαραίτητη ταπείνωση της πιεζομετρικής στάθμης, να ελεγχθεί το μέγεθος της ταπείνωσης που επιτυγχάνεται κατά την διάρκεια άντλησης με μέγιστη παροχή $6 \times 5.0 \text{ m}^3/\text{h} = 30\text{m}^3/\text{h}$. Επιπροσθέτως, μπορεί να ελεγχθεί κατά την διάρκεια τέτοιας άντλησης η διαμόρφωση ή μη συνθηκών μόνιμης ροής. Η μη διαμόρφωση συνθηκών μόνιμης ροής υποδεικνύει υπέρβαση της παροχής επανατροφοδοσίας του συστήματος από τα ανάντι.

Πηγάδια άντλησης

Στα πλαίσια της δοκιμαστικής άντλησης που προτείνεται θα ανορυχθούν τα έξι (6) πηγάδια A3, A8, A12, A13, A14 και A18. Τα εν λόγω πηγάδια θα έχουν διάμετρο 35cm και βάθος 60m από το επίπεδο εργασιών (+20.10m). Η ανάπτυξη των πηγαδιών θα γίνει σύμφωνα με τα παρακάτω στάδια:

1) τοποθέτηση διπλής τάπας άμμου – μπεντονίτη, πάχους 1m, από τα 60m έως τα 59m βάθος

2) τοποθέτηση τυφλού σωλήνα PVC 10 atm και διαμέτρου 6’’ από τα 59m έως τα 56m βάθος. Ο εν λόγω σωλήνας θα πρέπει να είναι κλειστός στο κάτω μέρος του. Το μήκος του δίνεται ενδεικτικά 3m αλλά θα εξαρτηθεί από το ύψος της αντλίας

3) τοποθέτηση διάτρητου σωλήνα PVC 10atm και διαμέτρου 6’’ με άνοιγμα σχισμών 1,50mm από τα 56m έως τα 23m βάθος.

4) τοποθέτηση τυφλού σωλήνα PVC 10atm και διαμέτρου 6’’ από τα 23m έως την επιφάνεια του εδάφους

5) τοποθέτηση κατάλληλα διαβαθμισμένου χαλικόφιλτρου (dmax: 2-5mm) από τα 59m έως τα 21m βάθος

6) τοποθέτηση διπλής τάπας άμμου – μπεντονίτη, πάχους 1m, από τα 21m έως τα 20m βάθος

7) ενεμάτωση από τα 20m βάθος έως την επιφάνεια του εδάφους

Η αντλία θα τοποθετηθεί στο βάθος των 57,5m περίπου και θα πρέπει να έχει ικανότητα άντλησης τουλάχιστον 5m³/h.

Η επιλογή του βάθους τοποθέτησης των φιλτροσωλήνων βασίστηκε σε γεωλογικά και υδρογεωλογικά στοιχεία που προέκυψαν τόσο από τις γεωτρήσεις της Σ.Γ.Ε. (TGSP21, 22, 24, 25) όσο και από τις νέες (TGSP41, 42, 43, 45, 46) που εκτελέστηκαν.

Στρωματογραφικά λοιπόν από τις παραπάνω γεωτρήσεις προκύπτει ότι καθ’ όλο το βάθος τους εντοπίζονται διαπερατοί φακοί λατυποπαγών και χαλίκων σε εναλλαγές με πολύ χαμηλής διαπερατότητας αργίλους και ιλυολίθους, δημιουργώντας εν δυνάμει συνθήκες ανάπτυξης αρτεσιανών πιέσεων.

Ωστόσο, κατά την ανόρυξη των παραπάνω γεωτρήσεων διαπιστώθηκε ότι το βάθος από το οποίο οι φακοί των λατυποπαγών και των χαλίκων υδροφορούν και βρίσκονται υπό πίεση (άνοδος νερού στην επιφάνεια του εδάφους) κυμαίνεται περί το

απόλυτο υψόμετρο των -5.00m. Σε μικρότερα βάθη οι λατυποπαγείς φακοί είτε δεν υδροφορούν είτε βρίσκονται υπό καθεστώς χαμηλών πιέσεων με αποτέλεσμα την γρήγορη εκτόνωσή τους μετά την διάτρησή τους από τις γεωτρήσεις. Παρόλα αυτά συναξιολογώντας και την έντονη ανομοιογένεια που παρουσιάζει στρωματογραφικά και υδρογεωλογικά η περιοχή, που έχει ως αποτέλεσμα να μην είναι απόλυτα ξεκάθαρος ο τρόπος επικοινωνίας των εν λόγω φακών, τα φίλτρα των υδρογεωτρήσεων προτείνεται να ξεκινήσουν από μικρότερο βάθος (απόλυτο υψόμετρο -0.20m), ώστε να διασφαλιστεί ότι θα αποτονωθούν οι πιέσεις των κυριοτέρων, από άποψης πάχους και έκτασης, λατυποπαγών οριζόντων. Σημαντικό ρόλο στην απόφαση για αύξηση του μήκους των φίλτρων των υδρογεωτρήσεων κατέχει και το γεγονός ότι από τα έως τώρα στοιχεία δεν φαίνεται να αναπτύσσεται κάποιος μόνιμος φρεάτιος ορίζοντας σε μικρότερα βάθη, παρά μόνον κάποιες τοπικές επικρεμάμενες υδροφορίες. Επισημαίνεται ότι μετά την διάτρηση και συμπλήρωση των παραπάνω πηγαδιών (σωλήνωση, τσιμέντωση, τοποθέτηση φιλτροσωλήνα και κατάλληλης διαβάθμισης χαλικοφίλτρου, τοποθέτηση αντλίας) θα πραγματοποιηθεί ανάπτυξη τους (καθαρισμός) για την απομάκρυνση των αιωρούμενων λεπτοκόκκων και της ακάθαρτης στήλης νερού καθώς και για την καταστροφή του πλακούντα που θα έχει δημιουργηθεί στα τοιχώματα της γεώτρησης. Η ανάπτυξη θα πραγματοποιηθεί με την διαδικασία του air lift



Σχήμα 52. Τοποθέτηση φιλτροσωλήνων σε υδρογεώτρηση στο σταθμό Πανεπιστήμιο (Ε. ΠΕΠΠΑΣ, 2014)

4.4.10.1 Πιεζόμετρα παρατήρησης

Για την παρακολούθηση της πιεζομετρικής στάθμης και του τυχόν αναπτυσσόμενου φρεάτιου ορίζοντα (δεν υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ανάπτυξης φρεάτιου υδροφόρου παρά μόνον κάποιων επικρεμάμενων οριζόντων) κατά την διάρκεια των αντλήσεων, θα κατασκευαστούν τα δέκα (10) πιεζόμετρα TGSP44, 47, 48, 49, 51, 53, 65, 59, 61 και 64 που επίσης σημειώνονται στο σχέδιο, ενώ θα χρησιμοποιηθούν και τα ήδη εγκατεστημένα TGSP23, 41, 42, 43, 45 και 46.

Από το σύνολο των πιεζομέτρων, τα TGSP23, 41, 42, 43, 45 και 46 καθώς και τα TGSP44, 47, 48, 61 και 64 που θα κατασκευαστούν, θα παρακολουθούν αποκλειστικά την πιεζομετρική στάθμη του υπό πίεση συστήματος. Όσον αφορά στις γεωτρήσεις TGSP49, 51, 53, 65 και 59 σε αυτές είτε θα εγκατασταθούν διπλά πιεζόμετρα ώστε να

γίνεται ταυτόχρονη παρακολούθηση της πιεζομετρικής στάθμης και του τυχόν αναπτυσσόμενου φρεάτιου ορίζοντα (δεν υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ανάπτυξης φρεάτιου υδροφόρου παρά μόνον κάποιων επικρεμάμενων οριζόντων), είτε θα ανορυχθεί καταστροφικά δίπλα στο καθένα (απόσταση έως 2m) ρηχότερη γεώτρηση, στην οποία θα τοποθετηθεί πιεζόμετρο ανοιχτού τύπου για την παρακολούθηση τυχόν επιφανειακών οριζόντων, αφήνοντας τα διπλανά βαθύτερα να παρακολουθούν την πιεζομετρική στάθμη με τη χρήση πιεζομέτρων δονούμενης χορδής.

Ενδεικτικά αναφέρεται ο σχεδιασμός ενός πιεζομέτρου δονούμενης χορδής που εγκαθίσταται σε μια γεώτρησης βάθους 60m (π.χ. TGSP47):

- 1) τοποθέτηση διπλής τάπας άμμου – μπεντονίτη, πάχους 1m, από τα 60m έως τα 59m βάθος
- 2) εγκατάσταση σένσορα πιεζομέτρου σε βάθος 58m (ενδεικτικό βάθος)
- 3) τοποθέτηση άμμου από τα 59m έως τα 49m βάθος (ζώνη μέτρησης πιεζομέτρου το μήκος της οποίας θα καθορίζεται κάθε φορά από τα βάθη ανάπτυξης των λατυποπαγών και χαλικοδών οριζόντων)
- 4) τοποθέτηση διπλής τάπας άμμου – μπεντονίτη, πάχους 1m, από τα 49m έως τα 48m βάθος
- 5) ενεμάτωση από τα 48m βάθος έως την επιφάνεια του εδάφους

Όσον αφορά στον σχεδιασμό πιεζομέτρων ανοιχτού τύπου αυτός θα γίνεται σύμφωνα με τα παρακάτω. Το παράδειγμα αναφέρεται σε γεώτρηση 20m:

- 1) τοποθέτηση διπλής τάπας άμμου – μπεντονίτη, πάχους 1.00m, από τα 20m έως τα 19m βάθος
- 2) τοποθέτηση τυφλού σωλήνα PVC 6atm και διαμέτρου Φ50 από τα 19m έως τα 18m βάθος. Ο εν λόγω σωλήνας θα πρέπει να είναι κλειστός στο κάτω μέρος του.
- 3) τοποθέτηση διάτρητου σωλήνα PVC 6atm και διαμέτρου Φ50 από τα 18m έως τα 4m βάθος.
- 4) τοποθέτηση τυφλού σωλήνα PVC 6atm και διαμέτρου Φ50 από τα 4m έως την επιφάνεια του εδάφους
- 5) τοποθέτηση κατάλληλα διαβαθμισμένου χαλικόφιλτρου (d_{max} : 2-5mm) από τα 19m έως τα 3m βάθος
- 6) τοποθέτηση διπλής τάπας άμμου – μπεντονίτη, πάχους 1m, από τα 3m έως τα 2m βάθος

7) ενεμάτωση από τα 2m βάθος έως την επιφάνεια του εδάφους

4.4.10.2 Μεθοδολογία δοκιμαστικής άντλησης

Η δοκιμαστική άντληση θα εκτελεστεί σε δύο ή εάν απαιτείται σε τρεις φάσεις, με την παροχή άντλησης να διαφοροποιείται από την μία φάση στην άλλη, ώστε, όπως προαναφέρθηκε, να ελεγχθεί η απόκριση του υπό πίεση συστήματος στην άντληση κατά τις διάφορες φάσεις κατασκευής του σταθμού. Στην πρώτη φάση θα ελεγχθεί η συμπεριφορά των υπό πίεση στρωμάτων υπό καθεστώς χαμηλών παροχών άντλησης ίσων με αυτών που πρόκειται να εφαρμοστούν στα πλαίσια κατασκευής των Δ.Τ. Στην δεύτερη φάση οι παροχές θα αυξηθούν σημαντικά ώστε να γίνει έλεγχος υπό καθεστώς άντλησης για την ασφαλή διάνοιξη του σταθμού και κατασκευή των μικροπασσάλων. Προτείνεται η β' φάση να εκτελεστεί μετά την κατασκευή των διαφραγματικών τοίχων ώστε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να προσομοιώνουν επακριβώς τις συνθήκες που θα επικρατούν κατά την διάνοιξη του σταθμού και την κατασκευή των μικροπασσάλων. Εκτιμάται μετά βεβαιότητας ότι η ύπαρξη των διαφραγματικών τοίχων θα διακόψει την επικοινωνία σημαντικού αριθμού λατυποπαγών οριζόντων, μειώνοντας συνεπώς τις απαιτούμενες παροχές άντλησης για την απαραίτητη ταπείνωση της πιεζομετρικής στάθμης. Η εκτέλεση της δοκιμής δίχως την παρουσία των τοίχων εκτιμάται ότι θα οδηγήσει σε μεγαλύτερες παροχές άντλησης από αυτές που θα μπορούν να εφαρμοστούν τελικά κατά την διάνοιξη του σταθμού. Εάν κατά την διάρκεια της β' φάσης δεν επιτευχθεί η απαραίτητη ταπείνωση της πιεζομετρικής στάθμης, τότε μόνον θα ακολουθήσει τρίτη φάση άντλησης με την μέγιστη δυνατή παροχή του αντλητικού συγκροτήματος, ώστε να γίνει έλεγχος της μείωσης των πιέσεων που επιτυγχάνεται. Αναλυτικά στοιχεία για όλες τις φάσεις άντλησης θα δοθούν στη συνέχεια. Σε κάθε μία από τις τρεις παραπάνω φάσεις η διάρκεια της άντλησης θα είναι 48h. Καθ' όλη την διάρκεια των αντλήσεων θα παρακολουθείται η λειτουργία των αντλιών (κάθε μία ξεχωριστά), όσον αφορά στον αντλούμενο όγκο νερού, ενώ στο τέλος κάθε φάσης άντλησης θα καταγράφεται ο ολικός όγκος νερού που αντλήθηκε από όλο το αντλητικό συγκρότημα. Κατά την διάρκεια των αντλήσεων θα λαμβάνονται μετρήσεις της πιεζομετρικής στάθμης και εάν αναπτύσσεται και της φρεατικής στάθμης .

Με το πέρας των 48h η άντληση θα διακόπτεται και θα λαμβάνονται για 24h μετρήσεις επαναφοράς της στάθμης σύμφωνα με τα χρονικά διαστήματα που δόθηκαν στον Πίνακα 2. Όσον αφορά στην παρακολούθηση των τυχόν αναπτυσσόμενων καθιζήσεων, θα λαμβάνονται έξι (6) συνολικά μετρήσεις ανά φάση άντλησης, δηλαδή δύο (2) ανά 24h (πρωινή – απογευματινή), των κατακόρυφων μετακινήσεων από τα χωροσταθμικά όργανα.. Η έναρξη των ημερήσιων μετρήσεων θα γίνει μία (1) ημέρα πριν την έναρξη της δοκιμαστικής άντλησης . Οι μετρήσεις θα συνεχιστούν έως και εννιά (9) μέρες μετά το τέλος της β' φάσης της δοκιμής.

Ως όριο επιφυλακής των καθιζήσεων κατά την διάρκεια του συνολικού προγράμματος των δοκιμαστικών αντλήσεων θεωρούνται τα 4mm. Το παραπάνω όριο τίθεται λαμβάνοντας υπόψη, όπως παρουσιάστηκε και στο τεύχος της μεθοδολογίας διαχείρισης των αρτεσιανών πιέσεων για το σταθμό Πανεπιστήμιο, ότι το μέγιστο μέγεθος των καθιζήσεων δεν ξεπερνάει τα 6mm (δυσμενής εκτίμηση θεωρώντας ότι οι αντλήσεις θα συνεχίζονται στο $t=\infty$ και ότι στα 20m απόσταση από το σκάμμα θα συμβεί πτώση πιεζομετρικής στάθμης κατά 10m).

4.4.10.3 Φάσεις δοκιμαστικής άντλησης

Α' φάση άντλησης

Στην πρώτη φάση θα πραγματοποιηθεί ταυτόχρονη άντληση και από τα έξι (6) πηγάδια με παροχή $Q = 1.5 \text{ m}^3/\text{h}$ από κάθε πηγάδι, δηλαδή με μια συνολική παροχή $Q_{\text{ολ}}=9.0 \text{ m}^3/\text{h}$. Με τον τρόπο αυτό θα προσομοιωθούν οι συνθήκες όπου σκυροδετείται κάποιο εκ των βόρειων πανέλων και ταυτόχρονα πραγματοποιείται εκσκαφή για κάποιο εκ των νότιων. Σε κάθε περίπτωση, ωστόσο, δεδομένου ότι σχεδόν πάντα θα υπάρχουν περισσότερα του ενός ανοιχτά πανέλα (κάποια υπό σκυροδέτηση και κάποιο υπό διάνοιξη), θα γίνεται χρήση έξι πηγαδιών άντλησης, ώστε να επιτυγχάνεται η απαιτούμενη ταπείνωση της πιεζομετρικής στάθμης, ομοιόμορφα, σε ευρύτερη έκταση. Ο στόχος είναι να ελεγχθεί εάν με την εν λόγω παροχή άντλησης και την χρήση και των έξι πηγαδιών επιτυγχάνεται η απαραίτητη για την κατασκευή των Δ.Τ. ταπείνωση της πιεζομετρικής στάθμης των 4–5m στις θέσεις των πιεζομέτρων TGSP47 και TGSP48. Οι ενδείξεις της πίεσης πόρων και των δύο αυτών πιεζομέτρων θα πρέπει να εμφανίσουν μείωση κατά τουλάχιστον 40 – 50 kPa.

Β' φάση άντλησης

Στην δεύτερη φάση θα πραγματοποιηθεί ταυτόχρονη άντληση και από τα έξι (6) πηγάδια με παροχή $Q = 3.5 \text{ m}^3/\text{h}$ από κάθε πηγάδι, δηλαδή με μια συνολική παροχή $Q_{\text{ολ}} = 21.0 \text{ m}^3/\text{h}$. Ο στόχος είναι να ελεγχθεί εάν με την εν λόγω παροχή άντλησης επιτυγχάνεται η απαραίτητη, για την ασφαλή διάνοιξη του σταθμού και κατασκευή των μικροπασσάλων, ταπείνωση της πιεζομετρικής στάθμης των 35–40m. Ο έλεγχος επίτευξης της παραπάνω ταπείνωσης θα γίνει στη θέση του πιεζομέτρου TGSP42, το οποίο βρίσκεται περίπου στο κέντρο του συστήματος των πηγαδιών από τα οποία θα πραγματοποιείται άντληση. Το εν λόγω πιεζόμετρο, το οποίο αυτή τη στιγμή δείχνει πιέσεις πόρων σε βάθη 34.75m και 48.75m της τάξης των 378 kPa και 516 kPa αντίστοιχα, θα πρέπει να εμφανίσει μειωμένες τιμές πίεσης κατά τουλάχιστον 340 kPa.

Γ' φάση άντλησης

Εάν κατά την β' φάση δεν επιτευχθεί τελικά ταπείνωση της πιεζομετρικής στάθμης στην θέση του πιεζομέτρου TGSP42 κατά τουλάχιστον 340 kPa, τότε θα ακολουθήσει τρίτη φάση, στην οποία θα πραγματοποιηθεί άντληση και από τα έξι (6) πηγάδια με παροχή $Q = 5.0 \text{ m}^3/\text{h}$ από κάθε πηγάδι, δηλαδή με μια συνολική παροχή $Q_{\text{ολ}} = 30.0 \text{ m}^3/\text{h}$.

Πρωταρχικός στόχος της γ' φάσης είναι να διαπιστωθεί η ταπείνωση της πιεζομετρικής στάθμης που επιτυγχάνεται στην θέση του πιεζομέτρου TGSP42. Επιπροσθέτως, μπορεί να ελεγχθεί εάν θα διαμορφωθούν συνθήκες μόνιμης ροής, γεγονός που θα σημαίνει ότι δεν θα έχει ξεπεραστεί η παροχή επανατροφοδοσίας του υπό πίεση συστήματος, καθώς και να ελεγχθεί η αύξηση/επέκταση της ακτίνας επίδρασης, υπό καθεστώς παροχής άντλησης $5 \text{ m}^3/\text{h}$ από κάθε πηγάδι. Επισημαίνεται ότι σε καμία φάση κατασκευής του σταθμού η συνολική παροχή άντλησης δεν θα ξεπεράσει τα $30 \text{ m}^3/\text{h}$, λόγω τμηματικής διάνοιξης και κατασκευής των μικροπασσάλων.

4.4.11 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ – **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Ο στόχος της α' φάσης της δοκιμαστικής άντλησης ήταν “να ελεγχθεί εάν με την εν λόγω παροχή άντλησης και την χρήση και των έξι πηγαδιών επιτυγχάνεται η απαραίτητη για την κατασκευή των Δ.Τ. ταπείνωση της πιεζομετρικής στάθμης των 4–5m στις θέσεις των πιεζομέτρων TGSP47 και TGSP48. Οι ενδείξεις της πίεσης και των δύο αυτών πιεζομέτρων θα πρέπει να εμφανίσουν μείωση κατά τουλάχιστον 40–50kPa.

Δεδομένου ότι η πτώση των πιέσεων που επιτεύχθηκε στις θέσεις των πιεζομέτρων TGSP47 και 48 με μια παροχή άντλησης περί τα 0,90 m³/h είναι 58kPa και 40kPa αντίστοιχα, προκύπτει ότι η διάταξη άντλησης που σχεδιάστηκε είναι η βέλτιστη, καθώς πράγματι οδηγεί επιτυχώς στις απαιτούμενες ταπεινώσεις τις πιεζομετρικής στάθμης, όπως αυτές ορίστηκαν κατά την α' φάση άντλησης.

Αναφορικά με τις κατακόρυφες μετακινήσεις που καταγράφηκαν, οι μετρήσεις παρουσίασαν μια συστηματική διακύμανση $\pm 2\text{mm}$, η οποία αφενός βρίσκεται στο όριο ακρίβειας του οργάνου, αφετέρου είναι μάλλον επηρεασμένη από θερμοκρασιακές μεταβολές και δεν οφείλεται σε πραγματική μετακίνηση. Πρακτικά λοιπόν οι μετακινήσεις που καταγράφηκαν ήταν μηδενικές

Όσον αφορά στην ακτίνα επίδρασης της άντλησης, μεταβολές της πίεσης μετρήθηκαν έως και απόστασης 60m από το αντλητικό συγκρότημα

Ωστόσο, η πτώση της πίεσης δεν παρουσίασε ομαλή κατανομή, αλλά ανομοιόμορφη. Αυτό αποδίδεται στην ανομοιογένεια και την ανισοτροπία που παρουσιάζουν οι λατυποπαγείς και χαλικώδεις φακοί μέσα από τους οποίους γίνεται η κυκλοφορία του νερού.

Ως εκ τούτου φαίνεται ότι η ακτίνα επίδρασης του συστήματος καθορίζεται κατά κύριο λόγο από την επικοινωνία, το πάχος και την αρχική πίεση των λατυποπαγών και χαλικωδών οριζόντων. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι το πιεζόμετρο TGSP63 το οποίο βρίσκεται σε απόσταση 25m από το πηγάδι A12 έδειξε παρόμοια πτώση πιεζομετρικής στάθμης (2.3m) με το πιεζόμετρο TGSP52 το οποίο βρίσκεται σε απόσταση 60m από το πηγάδι A3 (1.6m). Συνεπώς, δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι η

ενεργός ακτίνα επίδρασης της άντλησης είναι 60m, καθώς εκτιμάται μετά βεβαιότητας ότι σε μικρότερες αποστάσεις θα υπάρχουν ορίζοντες που δεν θα έχουν παρουσιάσει μεταβολή την πίεσή τους.

Αναφορικά με τις ταπεινώσεις της πιεζομετρικής στάθμης που μετρήθηκαν εντός των υδρογεωτρήσεων πρέπει να σχολιαστεί το γεγονός ότι ενώ η παροχή άντλησης από όλα τα πηγάδια ήταν η ίδια (~0.90 m³/h), οι ταπεινώσεις ήταν διαφορετικές.

Συγκεκριμένα, τα πηγάδια A12, 13 και 18 παρουσίασαν μια μέση πτώση στάθμης περί τα 11m σε αντίθεση με τα A3, A8 και A9 που παρουσίασαν μεγαλύτερες πτώσεις μεταξύ 13 και 15m. Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι τα πηγάδια A12, 13 και 18 βρίσκονται πιθανότατα εντός ενός συστήματος υπό πίεση οριζόντων υψηλότερης πίεσης συγκριτικά με τα άλλα πηγάδια. Χαρακτηριστικά αναφέρεται, ότι κατά την ανόρυξη της γεώτρησης TGSP48, που βρίσκεται στην περιοχή των πηγαδιών A12, 13 και 18, μετρήθηκε αρτεσιανισμός με παροχή >1.5 m³/h, ενώ και στην γεώτρηση BH22 του 1999 αναφέρεται ότι μετρήθηκε αρτεσιανισμός της ίδιας παροχής. Από την άλλη στις υπόλοιπες γεωτρήσεις ανάντι του σκάμματος οι αρτεσιανές παροχές δεν ξεπέρασαν τα 0.5 m³/h, γεγονός που πιθανότατα αιτιολογεί τις διαφορετικές ταπεινώσεις που επιτεύχθηκαν στα παραπάνω πηγάδια.

Το γεγονός ότι η απαιτούμενη ταπείνωση της πιεζομετρικής στάθμης των 4 – 5m στις θέσεις των 22 υπό κατασκευή πανέλων επιτεύχθηκε με παροχή ίση με 0.90 m³/h, υποδεικνύει ότι η διαπερατότητα (10-4 cm/sec) και το ισοδύναμο πάχος (20m) των υπό πίεση οριζόντων που είχαν εκτιμηθεί είναι μάλλον ρεαλιστικά.

**4.4.12 ΕΝΑΡΞΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΜΕ
ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΒΑΘΕΙΩΝ ΠΗΓΑΔΙΩΝ
ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΩΝΟΣΗ ΤΩΝ ΤΔΡΑΥΛΙΚΩΝ
ΠΙΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΗ – ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥΣ**



Σχήμα 53. Εκσκαφή διαφραγματικού με υδροφρέζα (Ε. ΠΕΠΠΑΣ, 2014)



Σχήμα 54. Τοποθέτηση οπλισμού διαφραγματικού πανέλου (Ε. ΠΕΠΠΑΣ, 2014)



Σχήμα 55. Σκυροδέτηση διαφραγματικού πανέλου (Ε. ΠΕΠΠΑΣ, 2014)

4.4.12.1 Αλληλουχία κατασκευής πανέλων διαφραγματικού τοίχου

Η κατασκευαστική (χρονικά) αλληλουχία των πανέλων διαφραγματικού τοίχου έχει ως εξής:

ΟΑ' Φάση: Κατασκευή των 22 πανέλων βόρειας και νότιας πλευράς (11 +11) μεταξύ των αξόνων 4 και 9.

ΟΒ' Φάση: Κατασκευή 29 πανέλων (10 βόρεια, 10 νότια και 9 μετωπικά) από τον άξονα 9 έως το τέλος του σταθμού.

ΟΓ' Φάση: Κατασκευή 29 πανέλων (10 βόρεια, 10 νότια και 9 μετωπικά) από την αρχή του σταθμού μέχρι τον άξονα 4.

Η κατασκευή των διαφραγμάτων απαιτεί τη μείωση της πιεζομετρικής στάθμης κατά περίπου 6m.

Η αποτελεσματικότητα της άντλησης ως μεθόδου διαχείρισης των αρτεσιανών πιέσεων ελέγχθηκε μέσω της δοκιμαστικής άντλησης που εκτελέστηκε από τα έξι πηγάδια A3, A8, A9, A12, A13 και A18 . Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εν λόγω δοκιμής, η άντληση από τα παραπάνω πηγάδια με μια παροχή $Q = 0.90 \text{ m}^3/\text{h}$ ανά πηγάδι, δηλαδή με μια συνολική παροχή $Q_{\text{ολ}} = 5.40 \text{ m}^3/\text{h}$, για τα έξι βαθιά πηγάδια, πράγματι οδηγεί επιτυχώς στην επιθυμητή ταπείνωση της πιεζομετρικής στάθμης των υπό πίεση χαλικωδών και λατυποπαγών οριζόντων κατά 3 έως 6m. Τα ίδια συμπεράσματα προκύπτουν και στην παρούσα φάση που εκτελούνται οι αντλήσεις από τα ίδια πηγάδια για την κατασκευή των 22 πανέλων της Α' φάσης.

Στη Β' φάση κατασκευής των πανέλων θα πραγματοποιηθεί ταυτόχρονη συνεχής άντληση από τα οχτώ (8) βαθιά πηγάδια B1 έως B7 και A9.

Στη Γ' φάση κατασκευής πανέλων για την κατασκευή των υπόλοιπων 29 πανέλων θα πραγματοποιηθεί ταυτόχρονη συνεχής άντληση από τα οχτώ (8) βαθιά πηγάδια Γ1 έως Γ8 .

4.4.12.2 Στάδια κατασκευής εγχυτων διαφραγματικών τοίχων

Τα στάδια κατασκευής των διαφραγματικών τοίχων είναι τα εξής:

- Κατασκευή οδηγών διαφραγμάτων (guide walls)
- Αφαίρεση εδαφικού υλικού, με χρήση αιωρήματος μπεντονίτη (εκσκαφή)

- Τοποθέτηση Οπλισμού
- Έγχυση σκυροδέματος – άντληση μπετονίτη

Μετά την κατασκευή των οδηγών τοίχων, που αποτελούνται από δίδυμους, παράλληλους τοίχους από σκυρόδεμα C20/25, που βρίσκονται και στις δύο πλευρές της προβλεπόμενης θέσης του διαφραγματικού τοίχου και η ανώτατη στάθμη τους είναι, στην περίπτωση του Σταθμού Πανεπιστήμιο 1,20m πάνω από την τελική στάθμη του διαφραγματικού τοίχου, ξεκινάνε οι εργασίες των διαφραγματικών. Τα πρωτεύοντα πανέλα του Σταθμού Συντριβάνι έχουν διαστάσεις 1,00m*2,60m*35,00m, ενώ τα δευτερεύοντα 1,00m*2,80m*35,00m. Γενικά η αλληλουχία των εργασιών έχει ως εξής:

- Προεκσκαφή διαστάσεων 1,05μ(απόσταση μεταξύ παράλληλων οδηγών τοίχων) *2,80μ με βάθος 3,50μ από τη στέψη των οδηγών
- Εκσκαφή πανέλου με υδροφρέζα και ταυτόχρονη έγχυση αιωρήματος μπετονίτη εκσκαφής στο σκάμμα και απομάκρυνση προϊόντων εκσκαφής (σχήμα 53).
- Απάμωση αιωρήματος μπετονίτη εκσκαφής και αντικατάσταση με νέο μπετονίτη σκυροδέτησης
- Τοποθέτηση κλωβού οπλισμού στο σκάμμα (σχήμα 54).
- Σκυροδέτηση και ταυτόχρονη άντληση του αιωρήματος μπετονίτη σκυροδέτησης (σχήμα 55).

Προεκσκαφή:

Οι εργασίες της προεκσκαφής γίνονται απαραίτητως με την παρουσία ενός τουλάχιστον από το προσωπικό της αρχαιολογικής υπηρεσίας. Στην προεκσκαφή πρωτεύοντος πανέλου σε γαιώδες έδαφος χρησιμοποιείται τροχοφόρο JCB με αρπάγη, ενώ σε δευτερεύον πανέλο όπου είναι απαραίτητη η καθαίρεση σκυροδέματος πάχους 15cm ή 45cm (αναλόγως της θέσης του πανέλου) από τα πλαϊνά πρωτεύοντα πανέλα, γίνεται και χρήση της σφύρας. Το βάθος εκσκαφής για τη σωστή μετέπειτα εγκατάσταση της υδροφρέζας είναι 3,5m από τη στέψη των οδηγών τοίχων και η διαδικασία διαρκεί περίπου 2 ώρες σε πρωτεύον πανέλο και 3 έως και 5 ώρες για δευτερεύον, ανάλογα με το πάχος του σκυροδέματος των πλαϊνών πανέλων που καθαιρείται. Στις εργασίες συμμετέχει και ένας ακόμα εργάτης του Αναδόχου, ο

οποίος υποδεικνύει τις κινήσεις στο χειριστή του JCB και μετράει τις διαστάσεις του σκάμματος. Ο τοπογράφος μηχανικός του Αναδόχου έχει ήδη χαράξει τις διαστάσεις του πανέλου υπό εκσκαφή με ορατά σημάδια πάνω στους οδηγούς τοίχους. Οι διαστάσεις εκσκαφής σε πρωτεύον πανέλο είναι $2,5\text{m} \times 1,00\text{m} \times 3,50\text{m}$, άρα ο όγκος των προϊόντων εκσκαφής είναι $8,75\text{m}^3$.

Εκσκαφή πανέλου με υδροφρέζα:

Η εκσκαφή γίνεται με υδροφρέζα αναρτώμενη σε γερανό τύπου BAUER BG40, η οποία τοποθετείται σε συγκεκριμένη θέση σε σχέση με τις διαστάσεις και τη θέση του πανέλου. Η διαδικασία της τοποθέτησης γίνεται από έναν εργάτη σε συνεργασία με τον χειριστή της φρέζας και διαρκεί περίπου 45 λεπτά. Κατά τη διάρκεια της εκσκαφής, για να επιτευχθεί η ευστάθεια των τοιχωμάτων του σκάμματος, γίνεται έγχυση αιωρήματος μπεντονίτη εκσκαφής, μία διαδικασία που θα αναλυθεί στην επόμενη παράγραφο. Το βάθος εκσκαφής είναι περίπου 35m από τη στέψη των οδηγών, ενώ οι ακριβείς διαστάσεις εκσκαφής (που είναι οι ακριβείς διαστάσεις του πανέλου) καθώς και οι αποκλίσεις ελέγχονται με μεγάλη ακρίβεια από τον υπολογιστή που είναι εγκατεστημένος στο χειριστήριο της φρέζας. Τα προϊόντα εκσκαφής μαζί με αιώρημα μπεντονίτη, μεταφέρονται από τις αντλίες της φρέζας στις εγκαταστάσεις του μπεντονίτη στο εργοταξιακό χώρο της Διπλής Διασταύρωσης του Συντριβανίου, όπου και διαχωρίζονται. Καθ' όλη τη διάρκεια της εκσκαφής, ένας εργάτης ελέγχει τις αντλίες, τη ροή του αιωρήματος μπεντονίτη στο σκάμμα και το βάθος εκσκαφής και ένας μηχανικός επιβλέπει όλη τη διαδικασία. Η διάρκεια της εκσκαφής ενός πρωτεύοντος πανέλου είναι περίπου 4,5 ώρες και ενός δευτερεύοντος κυμαίνεται από 6,5 έως 9,5 ώρες ανάλογα με το πάχος του σκυροδέματος των πλαϊνών πανέλων που καθαιρείται. Στα δευτερεύοντα πάνελα έχει παρατηρηθεί εκτεταμένη φθορά στις οδοντώσεις της φρέζας, οι οποίες τροχίζονται ή αντικαθιστώντας επιτόπου, καθυστερώντας τη διαδικασία της εκσκαφής κατά 2ώρες περίπου ανά αλλαγή.

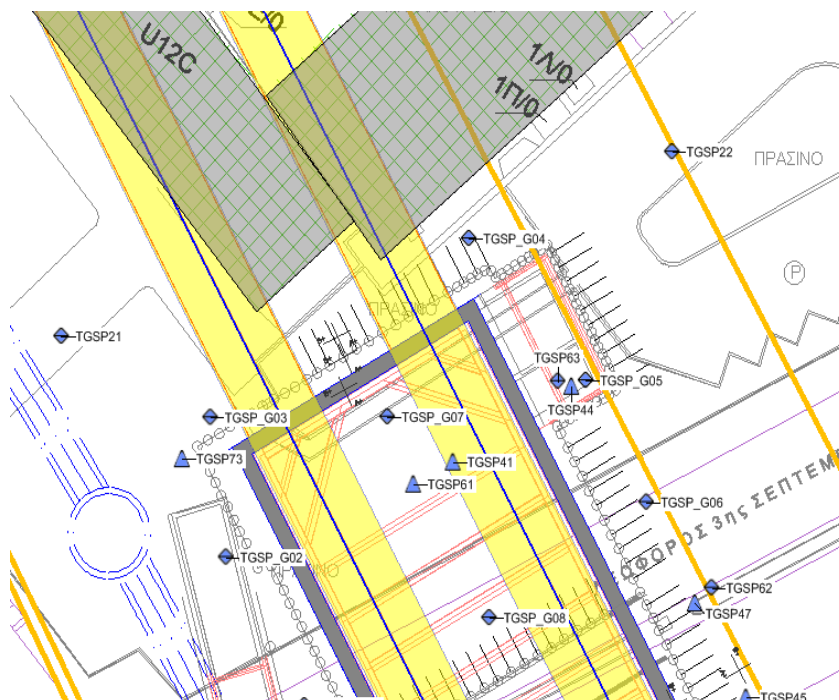
Αιώρημα μπεντονίτη:

Η συνολική ποσότητα αιωρήματος μπεντονίτη που χρησιμοποιείται κατά την εκσκαφή είναι περίπου 100m^3 , αποτελείται από ανακυκλωμένο, απαμωμένο και καθαρισμένο μίγμα μπεντονίτη που προέρχεται συνήθως από προηγούμενες

σκυροδετήσεις. Το μίγμα αυτό ελέγχεται για τις ιδιότητές του σύμφωνα με το από δείγμα που πέρνεται από την αντλία που αδειάζει στο σκάμμα

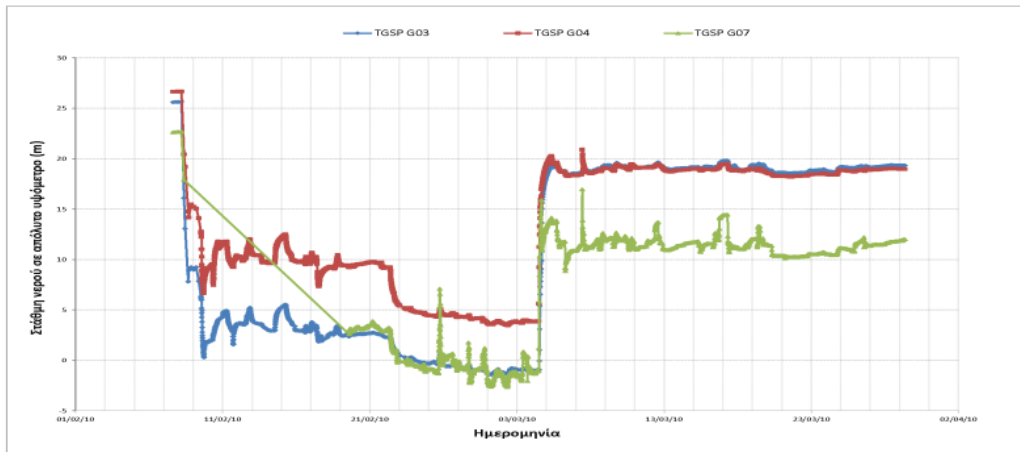
4.4.13 ΕΝΑΡΞΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΜΕ **ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ – ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ** **ΑΝΤΛΗΣΕΩΝ, ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ. Ο** **ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΤΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΕΡΥΘΡΕΣ** **ΑΡΓΙΛΟΥΣ**

Στο παρακάτω σχέδιο παρουσιάζεται σε κάτοψη το δυτικό τμήμα του σταθμού (πλησίον του κτηρίου των Μηχανολόγων Μηχ. του ΑΠΘ) όπου ξεκίνησαν να κατασκευάζονται τα διαφραγματικά στοιχεία.

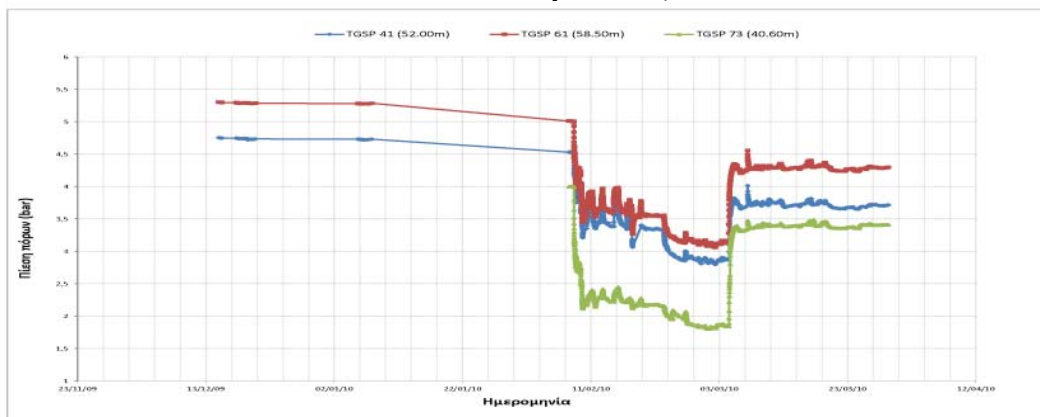


Σχήμα 56. Στη κάτοψη φαίνονται τα πηγάδια άντλησης TGSP_G03, TGSP_G04, TGSP_G07 που χρησιμοποιήθηκαν για τη κατασκευή των δυτικών μετωπικών διαφραγμάτων, καθώς και το σύνολο των γειτονικών πιεζομέτρων παρατήρησης που χρησιμοποιήθηκαν για τη παρακολούθηση κατά τη διάρκεια της κατασκευής της πτώσης στάθμης και της απαιτούμενης απογείωσης των υδραυλικών πιέσεων (Χάρτης από την ΒΔ ΓΔΠ Kronos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)

Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η πτώση της στάθμης εντός των πηγαδιών άντλησης κατά τη διάρκεια της άντλησης και η επαναφορά της στάθμης και η εκ νέου σταθεροποίηση της μετά το τέλος της κατασκευής όπου διεκόπη η άντληση.



Σχήμα 57. Πτώση της στάθμης εντός των πηγαδιών άντλησης κατά τη διάρκεια της άντλησης, και επαναφορά μετά το τέλος της λειτουργίας των αντλιών (Επεξεργασμένα στοιχεία από τη ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)



Σχήμα 58. Απομείωση της πίεσης στα πιεζόμετρα παρατήρησης κατά τη διάρκεια της άντλησης κατά τη κατασκευή των δυτικών μετωπικών τοίχων (Επεξεργασμένα στοιχεία από τη ΒΔ ΓΔΠ Κρονos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)

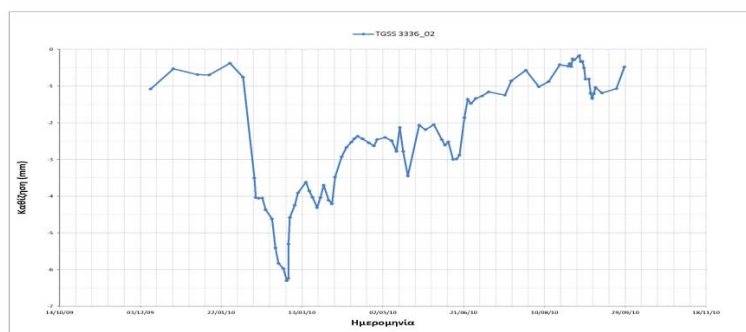
Παρατηρούμε την άμεση χρονική απόκριση της μείωσης της πίεσης στα πιεζόμετρα δονούμενης χορδής που αντιστοιχεί και σε ελάττωση της ισοδύναμης αρτεσιανής στάθμης, με τη μείωση της στάθμης εντός των πηγαδιών κατά την άντληση, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνει τις μεγάλες τιμές των υδραυλικών

παραμέτρων T και k που είχαν υπολογιστεί στην αρχική υδρογεωλογική μελέτη, για το σχηματισμό των ερυθρών αργίλων.

Οι τιμές της πίεσης πόρων πολύ γρήγορα έπιασαν τις οριακές τιμές που απαιτούσε η μελέτη και για αυτό το ζητούμενο πλέον και το κρίσιμο σημείο στη διαχείριση του όλου συστήματος άντλησης από το σύνολο των φρεάτων ήταν η ισορροπία και σταθεροποίηση των τιμών της πίεσης με το καλιμπράρισμα και τη λεπτομερή ρύθμιση των παροχών στα 0,8 m³ / h με απώτερο στόχο όπως θα αναλυθεί παρακάτω διεξοδικά τον έλεγχο των καθιζήσεων.

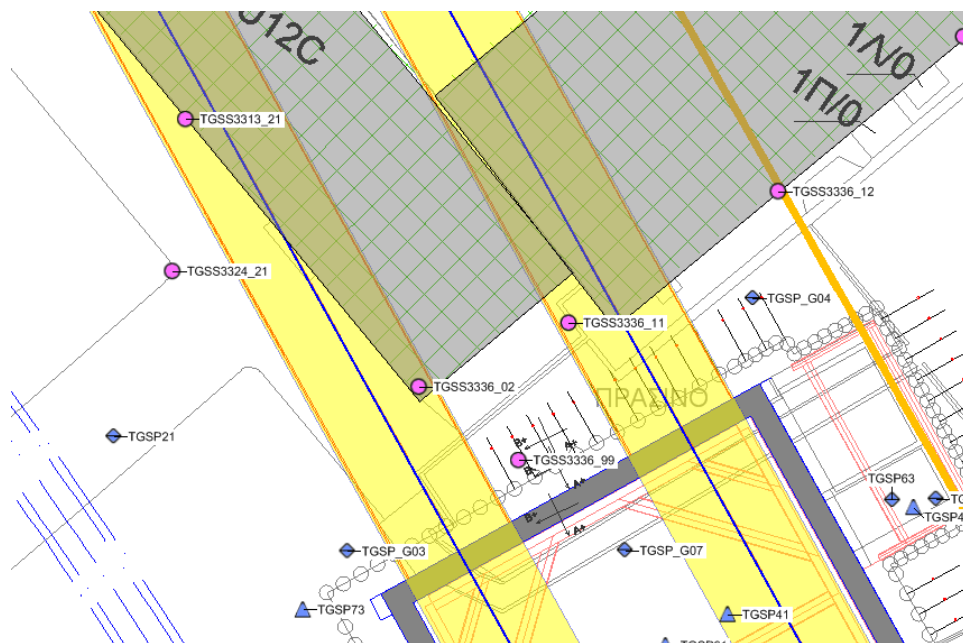
4.5 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΜΙΚΡΟΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΥΣΧΤΕΤΙΣΗ ΜΕ ΤΗ ΠΤΩΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ ΤΗΣ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ(ΕΡΥΘΡΩΝ ΑΡΓΙΛΛΩΝ)

Κατά τη διάρκεια της κατασκευής των διαφραγματικών στοιχείων εκτός από τη real time αυτόματης καταγραφής της πτώσης στάθμης στα πιεζόμετρα δονούμενης χορδής καθώς και της αυτόματης καταγραφής της στάθμης εντός των πηγαδιών άντλησης, εγκαταστάθηκε και υλοποιήθηκε ένα πλήρες και ολοκληρωμένο πρόγραμμα γεωδομητικής παρακολούθησης τόσο με αυτόματες μετρήσεις (σε τρεις διαστάσεις των μικρομετακινήσεων των κτηρίων) όσο και χειροκίνητων μετρήσεων απόλυτης μεταβολής υψομέτρου στο έδαφος αλλά και στα κτήρια σε δομικά στοιχεία, ενώ εγκαταστάθηκαν και γεωτεχνικά όργανα σε γεωτρήσεις για τη καταγραφή οριζόντιων και κατακόρυφων μικρομετακινήσεων του εδάφους στα διάφορα βάθη κατά τη διάρκεια κατασκευής των διαφραγματικών πανέλων



Σχήμα 59. Μετρούμενες κατακόρυφων μετακινήσεων (Επεξεργασμένα στοιχεία από τη ΒΔ ΓΔΠ Kronos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)

Χαρακτηριστική καμπύλη καθίζησης σε χωροσταθμικό μάρτυρα εγκατεστημένο σε δομικό στοιχείο του κτηρίου Μηχ. Μηχανικών του ΑΠΘ που δείχνει τις μικρομετακινήσεις έως και 6,5 περίπου mm κατά τη διάρκεια του υποβιβασμού της στάθμης από την άντληση και την άμεση επαναφορά του (ανερχόμενο τμήμα της καμπύλης) με το τέλος της άντλησης και της επανόδου της στάθμης γεγονός που αποδίδεται στην ελαστικότητα του αργιλικού υδροφορέα .



Σχήμα 60. Χωροσταθμικοί μάρτυρες (με το ροζ κύκλο) για τη παρακολούθηση των μικρομετακινήσεων στα γειτονικά κτίρια (Χάρτης από την ΒΔ ΓΔΠ Kronos του Μετρό Θεσσαλονίκης, Αττικό Μετρό, 2014)

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το έντονο φαινόμενο της αστικοποίησης τα τελευταία χρόνια έχει πάρει τεράστιες διαστάσεις με αποτέλεσμα η ανάπτυξη των υπογείων έργων στο αστικό περιβάλλον και η εκμετάλλευση του υπεδάφους , να αποτελεί ίσως τη μοναδική διέξοδο στο πρόβλημα της δημιουργίας των μεγαπόλεων.

Η κατασκευή τέτοιων υπογείων έργων εμπεριέχει μεγάλη αβεβαιότητα και υψηλό ρίσκο (που επιβάλλεται να αναλάβει ο κατασκευαστής) εξαιτίας δυο συγκεκριμένων παραγόντων , αφενός πρώτον λόγω της αλληλεπίδρασης εδάφους , νερού και υπογείου έργου και αφετέρου δεύτερον, εξαιτίας της ύπαρξης των υφιστάμενων κατασκευών – υποδομών που χωροθετούνται άνωθεν του υπογείου έργου στη ζώνη επιρροής αυτού.

Αυτοί οι παράγοντες προσδιορίζουν το σχετικό κίνδυνο για τη κατασκευή του υπογείου έργου και επιβάλλεται να μελετηθούν , ποιοτικοποιηθούν και ποσοτικοποιηθούν έτσι ώστε στην αρχική φάση των μελετών να αναγνωριστούν όλοι οι πιθανοί κίνδυνοι κατά τη φάση της κατασκευής αλλά και λειτουργίας του έργου και να προσδιοριστούν οι κατασκευαστικές λύσεις στα σημεία όπου αναμένονται σημαντικές δυσκολίες και προβλήματα.

Σχετικά με το υπόγειο νερό και την αλληλεπίδραση του με το έδαφος και το ίδιο το έργο επιβάλλεται να διερευνηθούν πλήρως οι υδρογεωλογικές συνθήκες κατά μήκος της χάραξης . Αυτό γίνεται με ειδικές υδρογεωλογικές έρευνες στο πεδίο , καθώς και με ειδικές εργασίες και μελέτες στο γραφείο. Έτσι συντάσσεται η υδρογεωλογική μελέτη του υπογείου έργου. Συνάσσονται μηκοτομές με τη διακύμανση της στάθμης κατά μήκος , υπολογίζονται με μετρήσεις οι πιθανές διακυμάνσεις της στάθμης , υπολογίζονται το εύρος και τα όρια των διαφορετικών υδρογεωλογικών ενοτήτων, οι τύποι των υδροφόρων στρωμάτων (ελεύθεροι , υπό πίεση επικεκρεμάμενοι υδροφόροι, καρστικοί υδροφόροι κλπ.) , υπολογίζονται οι τιμές των υδραυλικών παραμέτρων για κάθε υδροφόρο σύστημα $k T s$, και το πάχος b των υδροφόρων στρωμάτων. Έτσι συντάσσεται τελικά το υδρογεωλογικό μοντέλο

του έργου και εντοπίζονται οι πιθανές θέσεις ειδικών υδρογεωλογικών συνθηκών όπου αναμένονται ιδιαίτερες δυσκολίες κατά τη κατασκευή όπως (καθιζήσεις , αιφνίδιες εισροές νερού , ερπυσμοί , θραύσεις εδαφών ,διογκώσεις ,επιφανειακές ανυψώσεις , μόνιμες εισροές εντός του υπογείου έργου κλπ.).

Με βάση το υδρογεωλογικό μοντέλο του υπογείου έργου και αφού γίνουν κατανοητές οι υδρογεωλογικές συνθήκες πριν, κατά τη διάρκεια αλλά και μετά τη κατασκευή και λαμβάνοντας υπόψιν τις όποιες διαφοροποιήσεις, διαμορφώνονται οι σχετικές με το υπόγειο νερό βασικές αρχές σχεδιασμού του έργου πχ (κατασκευή υπό αστράγγιστες ή στραγγισμένες συνθήκες) και επιλέγονται ανάλογες μέθοδοι κατασκευής σταθμών και σιράγγων με τη χρησιμοποίηση ανάλογων τεχνικών (διαφράγματα, τσιμεντενέσεις) και μηχανημάτων (μετροπόντικες TBM EPB , ανοικτού τύπου) κλπ.

Έτσι βάσει ειδικών μελετών ελέγχεται η συμπεριφορά του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και ελαχιστοποιούνται οι όποιες πιθανότητα αστοχιών ή και ανεπιθύμητων παραμορφώσεων που προέρχονται από τη διατάραξη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα εξαιτίας της κατασκευής του έργου.

Σε γενικές γραμμές το αποτέλεσμα είναι το αναμενόμενο και η επιρροή των υπογείων εργασιών στον Υ.Ο επομένως και στην επιφάνεια είναι μηδαμινή , όμως σε πολλά σημεία όπου είτε αναμένονται ειδικές γεωλογικές-υδρογεωλογικές συνθήκες, είτε λόγω της αναγκαίας κατασκευής σε ορισμένα μεμονωμένα σημεία κατασκευών με συμβατικές μεθόδους πχ (φρέατα ,συνδετήριες σήραγγες) , είτε λόγω της δυσκολίας που εμπεριέχει η πλήρης διερεύνηση όλων των προβλημάτων, σε ένα έργο τέτοιας κλίμακας,, δημιουργούνται μη αναμενόμενες απρόβλεπτες καταστάσεις (ταπεινώσεις, ανυψώσεις Υ.Ο, συνάντηση σχηματισμών υπό πίεση κλπ.,) που επιφέρουν διαφοροποιήσεις στον υδροφόρο ορίζοντα, δυσκολεύοντας έτσι τη κατασκευή του έργου και με τελικό αποτέλεσμα εμφάνιση ανεπιθύμητων παραμορφώσεων στο έδαφος και πιθανόν στο αστικό δομημένο περιβάλλον (συγκλίσεις καθιζήσεις), που πρέπει να αντιμετωπιστούν πλέον κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

Τέτοια προβλήματα που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια της κατασκευής του Μετρώ Θεσσαλονίκης και αναλύθηκαν στη παρούσα εργασία είναι.

Ανεπιθύμητες καθιζήσεις παραμορφώσεις εξαιτίας της στερεοποίησης των επιφανειακών στρωμάτων από τη πτώση στάθμης του .Υ.Ο που προκύπτει από τη κατασκευή σταθμών με συμβατικές μεθόδους cut and cover ,και όρυξης σηράγγων με τη κλασική αυστριακή μέθοδο NATM υπό στραγγιζόμενες συνθήκες.

Ως παράδειγμα αναφέρθηκε και αναλύθηκε η κατασκευή του φρέατος Επιστάθμου σε γεωλογικό περιβάλλον πρόσφατων τεταρτογενών αποθέσεων.

Το φρέαρ κατασκευάστηκε με συμβατικές μεθόδους δηλαδή με αγκυρωμένους πασσάλους και αποστραγγιστικές οπές που υποβίβασαν τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα έως και 13 μέτρα περίπου στα κοντινά στο φρέαρ πιεζόμετρα παρατήρησης.

Αυτός ο υποβιβασμός είχε ως συνέπεια τη στερεοποίηση των εδαφικών λεπτόκοκκων σχηματισμών (τεταρτογενείς αποθέσεις) με αποτέλεσμα την ανάπτυξη καθιζήσεων στην επιφάνεια και τα γειτονικά κτήρια που έφτασαν έως και τα 35 mm περίπου.

Ανεπιθύμητες καθιζήσεις παραμορφώσεις εξαιτίας της ανόδου της στάθμης του Υ.Ο και της υποβάθμισης των γεωτεχνικών παραμέτρων των χαλαρών εδαφών στη νέα κατάσταση διαβροχής. Ως παράδειγμα αναφέρθηκε η κατασκευή του Σταθμού της Αγ. Σοφίας, σε χαλαρές ανθρωπογενείς αποθέσεις εντός του αρχαιολογικού στρώματος.

Η κατασκευή των διαφραγματικών πανέλων στη βόρεια πλευρά του σταθμού σχεδόν κάθετα στη διεύθυνση των γραμμών ροής του υπόγειου νερού έδωσαν άμεσες ανυψώσεις στάθμης στην ανάντι πλευρά που κυμάνθηκαν από 2 έως και 2,5 μέτρα περίπου.

Η νέα στάθμη αυτή που άγγιξε οριακά το υψόμετρο της θεμελίωσης των κτηρίων υποβάθμιζε την αντοχή του εδάφους θεμελίωσης στις νέες συνθήκες διαβροχής υποβαθμίζοντας ουσιαστικά τις γεωτεχνικές παραμέτρους αντοχής των.

Με δεδομένο το σταθερό φορτίο εμφανίστηκαν παραμορφώσεις στο έδαφος και καθιζήσεις στα κτήρια που άγγιξαν τα 50 mm .

Προβλήματα κατά την εκσκαφή ,την κατασκευή των διαφραγματικών τοίχων και των μικροπασσάλων εξαιτίας της υπό πίεση υδροφορίας και του φαινομένου του αρτεσιανισμού. Ως παράδειγμα αναφέρθηκε η κατασκευή του Σταθμού Πανεπιστήμιο, σε γεωλογικό περιβάλλον ,κροκαλοπαγών – λατυποπαγών που εναλλάσσονται εντός σκληρών ερυθρών αργίλων

Οι υψηλές τιμές της πίεσης των αρτεσιανών υδροφόρων δημιούργησαν προβλήματα στην ευστάθεια των εκσκαφών του σταθμού ,στις σκυροδετήσεις των διαφραγματικών πανέλων καθώς και στις ενεματώσεις των μικροπασσάλων θεμελίωσης.

Το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε με συστηματικές αντλήσεις που ταπείνωσαν τις αρτεσιανές πιέσεις κατά τη κατασκευή.

Προβλήματα περιοδικών ανοδικών – καθοδικών κινήσεων του Υ.Ο που προκαλούν αντίστοιχα περιοδικές ανυψώσεις- καθιζήσεις στο έδαφος λόγω της διακοπής και της επανέναρξης της λειτουργίας των αντλήσεων σε ελαστικούς σχηματισμούς , στον ίδια περιοχή (Πανεπιστήμιο) σε περιβάλλον νεογενών αποθέσεων σκληρών ερυθρών αργίλων.

6 ΜΕΛΕΤΕΣ

ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. (2007) (α) *«Μελέτη κατασκευή και θέση σε λειτουργία του Μετρό Θεσσαλονίκης. Προδιαγραφές Μελετών και Επιδόσεων Έργων ΠΜ Συμβατικά Τεύχη»* .

ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. (2007) (β) *«Μετρό Θεσσαλονίκης «Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός –Σταθμός Ν. Ελβετία και Αμαξοστάσιο Πυλαίας» . Συνθήκες κατά μήκος της χάραξης. Έκθεση Γραφείου»*. ΟΜΕΤΕ ΕΔΑΦΟΣΤΑΤΙΚΗ Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ

ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. (2008) (α). *«Μετρό Θεσσαλονίκης «Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός –Σταθμός Ν. Ελβετία και Αμαξοστάσιο Πυλαίας» . Υδρογεωλογική Μελέτη»*. ΟΜΕΤΕ ΕΔΑΦΟΣΤΑΤΙΚΗ Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ

ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. (2008) (β). *«Μετρό Θεσσαλονίκης «Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός –Σταθμός Ν. Ελβετία και Αμαξοστάσιο Πυλαίας» . Έκθεση Αξιολόγησης Συμπληρωματικής Γεωτεχνικής Έρευνας»*. ΟΜΕΤΕ ΕΔΑΦΟΣΤΑΤΙΚΗ Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ

ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. (2009) (α). *«Γεωλογικές και Γεωτεχνικές Έρευνες και Μελέτες Νέων Επεκτάσεων του Μετρό Θεσσαλονίκης. Φάση 2: Γεωλογική Έρευνα και Μελέτη Επέκταση Καλαμαριάς – Αμαξοστάσιο Καλαμαριάς. Υδρογεωλογική Μελέτη»*. Σύμπραξη ΟΤΜ ΑΤΕ – Σωτηρόπουλος & Συνεργάτες ΑΤΕ, Γεωτεχνολογική ΑΤΕ, Π.Γ Μαρίνος, Β. Μαρίνος, Δ. Παπούλη

ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. (2009) (β). *«Μετρό Θεσσαλονίκης «Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός –Σταθμός Ν. Ελβετία και Αμαξοστάσιο Πυλαίας» . Μελέτη Εφαρμογής Γεωμηχανικής και Δομητικής Παρακολούθησης. Σταθμός Πανεπιστήμιο»*. Κ/Ξ ΑΙΑΣΑ Κατασκευής Μετρό Θεσσαλονίκης, Τ. Εξάρχου & Δ. Παπούλη

ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. (2009) (γ). *«Μετρό Θεσσαλονίκης «Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός –Σταθμός Ν. Ελβετία και Αμαξοστάσιο Πυλαίας».* Παρουσίαση αποτελεσμάτων γεωερευνητικών εργασιών για τη διερεύνηση του αρτεσιανού υδροφόρου στο σταθμό Πανεπιστήμιο. ΟΜΕΤΕ ΕΔΑΦΟΣΤΑΤΙΚΗ Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ

ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. (2011) (α). *«Μετρό Θεσσαλονίκης «Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός –Σταθμός Ν. Ελβετία και Αμαξοστάσιο Πυλαίας» . Μελέτη Εφαρμογής Γεωμηχανικής και Δομητικής Παρακολούθησης. Επίσταθμος ΝΣΣ».* Κ/Ξ ΑΙΑΣΑ Κατασκευής Μετρό Θεσσαλονίκης, Τ. Εξάρχου & Δ. Παπούλη

ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. (2011) (β). *«Μετρό Θεσσαλονίκης «Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός –Σταθμός Ν. Ελβετία και Αμαξοστάσιο Πυλαίας» . Μελέτη Εφαρμογής Γεωμηχανικής και Δομητικής Παρακολούθησης. Σταθμός Αγία Σοφία».* Κ/Ξ ΑΙΑΣΑ Κατασκευής Μετρό Θεσσαλονίκης, Τ. Εξάρχου & Δ. Παπούλη

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΚΡΑΣΣΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Γ., ΤΑΜΒΑΚΗΣ Λ., (2011). *«Εκτίμηση κινδύνου στην Επέκταση της Γραμμής 2 του Μετρό των Αθηνών «Άγιος Αντώνιος-Περιστέρι».* Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών. Τομέας Μεταλλευτικής

MARINOS, P. G., NOVACK, M., BENISSI, M., STOUMPOS, G., PANTELIADOU, M., PAPOULI, D., MARINOS V., KORKARIS, K. (2007). *“Evaluation of Ground Information with Respect to EPB Tunnelling for the Thessaloniki Metro, Greece”.* Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας XXXVII. Πρακτικά 11^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα 2007

MARINOS, P. G., NOVACK, M., BENISSI, M., STOUMPOS, G., PANTELIADOU, M., PAPOULI, D., MARINOS V., KORKARIS, K. (2008). *“Ground Information and*

Selection of TBM for the Thessaloniki Metro, Greece". Journal "Environmental & Engineering Geoscience" February 2008; XIV, 1: 17 - 30

ΜΑΥΡΙΚΟΣ Α. (2006), «Υπολογισμός της αξίας του υπογείου χώρου: η περίπτωση των υπογείων αποθηκευτικών χώρων στην Αττική». Διδακτορική Διατριβή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών. Τομέας Μεταλλευτικής

ΜΕΡΤΗΡΗ Ε. (2008), «Υδρογεωλογικές συνθήκες σε τμήμα της Επέκτασης του Μετρό Νίκαια - Πειραιάς αλληλεπίδραση σήραγγας – υπόγειων νερών». Μεταπτυχιακή Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Διεπιστημονικό-Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών. «Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων.

ΝΑΣΟΥΛΗΣ Δ., (2002), «Υπόγεια Νερά και Υπόγεια Έργα». Μεταπτυχιακή εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών. Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Σχεδιασμό και Κατασκευή Υπογείων Έργων»

ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

www.ametro.gr

www.selitunnel.com

ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Βάση Δεδομένων Γεωμηχανικής και Δομητικής Παρακολούθησης του Μετρό Θεσσαλονίκης – Kronos Database

