



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ
ΑΠΟ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ξουραφάς Δημήτριος

Επιβλέπων: Μαμάσης Νικόλαος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ
ΑΠΟ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ**

**DETERMINATION OF HYDRAULIC PARAMETERS OF UNDERGROUND
AQUIFERS FROM TEST PUMPING**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ξουραφάς Δημήτριος

Επιβλέπων: Μαμάσης Νικόλαος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή:

Μαμάσης Νικόλαος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Μπαλτάς Ευάγγελος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ευστρατιάδης Ανδρέας, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2023

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους τους ανθρώπους που συνέβαλαν ουσιαστικά όχι μόνο στην παρούσα διπλωματική εργασία, αλλά και σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ιδιαίτερα την οικογένεια, τους φίλους, τους συναδέλφους και τους συνεργάτες μου για τη συνεχή τους υποστήριξη και ενθάρρυνση, αλλά και τον επιβλέποντα καθηγητή κο Ν.Μαμάση, Καθηγητή ΕΜΠ, για την καθοδήγηση και τη συνεργασία κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Περίληψη

Οι υδραυλικές παράμετροι ενός υδροφορέα εξαρτώνται από τη φύση των γεωλογικών σχηματισμών που απαντώνται στην περιοχή αυτού και επηρεάζουν την υδρογεωλογική συμπεριφορά του.

Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας είναι η διερεύνηση διάφορων μεθόδων για την εκτίμηση των υδραυλικών παραμέτρων του.

Η βιβλιογραφία παρέχει πληθώρα πληροφοριών σχετικά με τους υδροφορείς, την ανάπτυξη των αντλητικών μεθόδων, την εξέλιξη των φρεάτων άντλησης και των μεθόδων ανάλυσης.

Η ανάλυση βασίζεται στις μετρήσεις δοκιμαστικών αντλήσεων, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν κατά το χρονικό διάστημα Δεκεμβρίου 2013 – Ιανουαρίου 2014, στα πλαίσια του έργου Μετρό Θεσσαλονίκης Επέκταση Καλαμαριάς, από την εταιρεία ΟΤΜ Α.Τ.Ε.. Τα δεδομένα αφορούν πέντε φρέατα παρακείμενα στις θέσεις των αντίστοιχων σταθμών και με βάση αυτά υπολογίζονται οι υδραυλικές παράμετροι των υδροφορέων στις συγκεκριμένες περιοχές. Οι κυριότερες μέθοδοι ανάλυσης, των οποίων έγινε χρήση, είναι η μέθοδος Cooper – Jacob και η μέθοδος Dupuit – Thiem, ενώ οι υδραυλικές παράμετροι που εξετάστηκαν είναι η υδραυλική αγωγιμότητα (K), η μεταφορικότητα (T) και η αποθηκευτικότητα (S).

Τέλος σχολιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων τα οποία συμφωνούν με προγενέστερες επί τόπου δοκιμές και τις αντίστοιχες μελέτες στην περιοχή και τα βιβλιογραφικά δεδομένα.

Abstract

The hydraulic parameters of an aquifer depend on the nature of the geological formations that occur in its area and influence its hydrogeological behaviour.

The objective of this thesis is to investigate various methods for the estimation of the hydraulic parameters of an aquifer.

The literature provides a wealth of information on aquifers, the development of pumping methods, the evolution of pumping wells and analysis methods.

The analysis is based on the test pumping measurements, which were carried out during the period December 2013 - January 2014, in the context of the Thessaloniki Metro Extension Kalamaria project, by the company OTM S.A.

The data concern five wells adjacent to the locations of the respective stations and based on them the hydraulic parameters of the aquifer in the specific areas are calculated. The main analysis methods used are the Cooper - Jacob and Dupuit - Thiem methods, while the hydraulic parameters considered are hydraulic conductivity (K), transmissivity (T) and storativity (S).

Finally, the results of the analyses are commented on, which are in agreement with previous field tests and corresponding studies in the area and literature data.

Περιεχόμενα

Περίληψη	4
Abstract.....	5
Περιεχόμενα.....	6
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	8
1.1 Γενικά	8
1.2 Ιστορική αναδρομή αξιοποίησης υπόγειων υδάτων.....	10
1.3 Ιστορική αναδρομή αντλητικών συστημάτων	11
1.4 Ιστορική αναδρομή ανάπτυξης μεθόδων υδρογεωλογίας.....	16
Κεφάλαιο 2. Κανονιστικό Πλαίσιο.....	19
2.1 Γενικά	19
2.2 Πρότυπο δοκιμαστικών αντλήσεων ISO 22282-4:2021	20
2.2.1 Δοκιμή άντλησης και απαραίτητος εξοπλισμός.....	20
2.2.2 Προετοιμασία της δοκιμής άντλησης.	21
2.2.3 Εκτέλεση της δοκιμαστικής άντλησης και εξοπλισμός του φρέατος άντλησης	22
Κεφάλαιο 3. Στοιχεία και Μέθοδοι Αντλητικών Δοκιμών.....	28
3.1 Τύποι υδροφορέα	28
3.2 Υδραυλικά χαρακτηριστικά υδροφορέα	29
3.3 Μέθοδοι δοκιμαστικών αντλήσεων	31
3.4 Μέθοδοι ανάλυσης.....	34
3.4.1 Μέθοδος Dupuit – Thiem.....	36
3.4.2 Μέθοδος Theis (1935).....	38
3.4.3 Μέθοδος Cooper – Jacob (1946)	40
3.4.4 Μέθοδος Chow (1952).....	43

Κεφάλαιο 4. Στοιχεία Περιοχής του Έργου και Φρεάτων Άντλησης	44
4.1 Φρέατα άντλησης και πιεζόμετρα παρατήρησης	44
4.2 Γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες στην περιοχή του έργου.....	45
Κεφάλαιο 5. Άντληση με Βαθμίδες	49
Κεφάλαιο 5.1. Διαγράμματα δοκιμών άντλησης με βαθμίδες.....	50
Κεφάλαιο 5.2. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων δοκιμών άντλησης με βαθμίδες	55
Κεφάλαιο 6. Άντληση με Σταθερή Παροχή.....	56
Κεφάλαιο 6.1. Διαγράμματα δοκιμών άντλησης με σταθερή παροχή	56
Κεφάλαιο 6.2. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων δοκιμών άντλησης με σταθερή παροχή.....	68
Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα.....	71
Παράρτημα Α. Μετρήσεις δοκιμών άντλησης με βαθμίδες.....	73
Παράρτημα Β. Μετρήσεις δοκιμών άντλησης με σταθερή παροχή	78
Βιβλιογραφία.....	97

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η σημασία του νερού για τη συντήρηση και προαγωγή της ανθρώπινης ζωής είναι εμφανής σε όλη τη διάρκεια της ιστορίας του είδους. Η διαθεσιμότητα του ή αντιστρόφως η έλλειψη αυτού, καθόρισε την εξέλιξη και πολλές φορές την επιβίωση των πολιτισμών από την αρχαιότητα έως τις μέρες μας. Η αναγκαιότητά του λοιπόν είναι διαχρονικά προφανής.

Κατά την αρχαιότητα σε μερικές περιοχές ήταν αρκετή η ύπαρξη ενός ποταμού για να καλυφθούν οι ανάγκες αυτές, σε άλλες περιπτώσεις η τροφοδοσία των περιοχών αυτών γινόταν με φρέατα (πηγάδια). Το θέμα αυτό της άντλησης των υδάτων αντιμετωπίστηκε με την επινόηση μηχανισμών από τους ανεπτυγμένους πολιτισμούς αρχικά και τη συστηματική εξέλιξη των μεθόδων αυτών, όσο προόδευε παράλληλα η μηχανική και η επιστήμη. Με τον τρόπο αυτό αναπτύχθηκαν τόσο αντλητικά συστήματα, όσο και η ίδια η επιστήμη της υδρογεωλογίας, όπως αυτή προσεγγίζεται από τη σκοπιά του Πολιτικού Μηχανικού στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Αντικείμενο - Σκοπός

Η μελέτη και αξιολόγηση των υπόγειων υδροφορέων αποτελεί τμήμα των τομέων Υδραυλικής και Γεωτεχνικής Μηχανικής των Πολιτικών Μηχανικών. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζονται οι δοκιμαστικές αντλήσεις, όπως αυτές πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του έργου Μετρό Θεσσαλονίκης Επέκταση Καλαμαριάς για τους σκοπούς της Συμπληρωματικής Γεωτεχνικής Έρευνας κατά το χρονικό διάστημα από τον Δεκέμβριο του 2013 έως τον Ιανουάριο του 2014 από την εταιρεία ΟΤΜ Α.Τ.Ε.. Το πρόγραμμα ερευνών περιλάμβανε την κατασκευή πέντε (5) φρεάτων άντλησης και την εκτέλεση δοκιμαστικών αντλήσεων στις περιοχές των σταθμών: Νομαρχία, Καλαμαριά, Αρετσού, Νέα Κρήνη και Μίκρα.

Σκοπός της εργασίας είναι η ανάλυση των αποτελεσμάτων των δοκιμαστικών αυτών αντλήσεων και η εκτίμηση των υδραυλικών παραμέτρων του υδροφορέα στις περιοχές των σταθμών.

Διάρθρωση της εργασίας

Το παρόν πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την «Εισαγωγή» στη Διπλωματική Εργασία. Αρχικά περιγράφεται το αντικείμενο, ο σκοπός και η δομή της εργασίας. Στη συνέχεια γίνεται μια ιστορική αναδρομή στα συστήματα αξιοποίησης υπογείων υδάτων, στην ανάπτυξη αντλητικών συστημάτων και στις μεθόδους υδρογεωλογίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο «Κανονιστικό Πλαίσιο» παρουσιάζονται τα βασικότερα στοιχεία κανονισμών, προδιαγραφών και νομοθεσίας, στα οποία εμπίπτουν οι δοκιμαστικές αντλήσεις. Γίνεται δε εκτεταμένη αναφορά στο πρότυπο ISO 2282-4:2021, καθώς αυτό περιγράφει με ακρίβεια τη διαδικασία που ακολουθείται για τη διενέργεια δοκιμαστικών αντλήσεων.

Στο τρίτο κεφάλαιο «Στοιχεία και Μέθοδοι Αντλητικών Δοκιμών» πραγματοποιείται με τη βοήθεια της βιβλιογραφίας μια προσέγγιση των βασικών εννοιών που θα αναλυθούν στα επόμενα υπολογιστικά μέρη της εργασίας. Γίνεται επίσης μια σύντομη παρουσίαση των μεθόδων διεξαγωγής δοκιμαστικών αντλήσεων και ανάλυσης των μετρήσεων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο «Στοιχεία Φρεάτων Άντλησης και Περιοχής του Έργου» δίνονται ακριβή στοιχεία των φρεάτων άντλησης στις περιοχές των σταθμών του Μετρό Θεσσαλονίκης και παρουσιάζεται το πλαίσιο υδρογεωλογικών συνθηκών στην περιοχή του έργου.

Στο πέμπτο κεφάλαιο «Άντληση με Βαθμίδες» περνάμε πλέον στη διαδικασία εκτέλεσης των δοκιμαστικών αντλήσεων, σε πρώτη φάση με βαθμίδες, με την παρουσίαση των αποτελεσμάτων και των διαγραμμάτων.

Στο έκτο κεφάλαιο «Άντληση με Σταθερή παροχή» συνεχίζεται η διαδικασία εκτέλεσης των δοκιμαστικών αντλήσεων, με σταθερή παροχή, με την παρουσίαση των αποτελεσμάτων και των διαγραμμάτων. Από τα αποτελέσματα του κεφαλαίου αυτού εξάγονται και όλα τα συμπεράσματα για τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα.

Στο έβδομο κεφάλαιο «Συμπεράσματα» γίνεται μια σύνοψη και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της Διπλωματικής Εργασίας.

Τέλος στα Παραρτήματα Α και Β παραθέτονται οι μετρήσεις των δοκιμαστικών αντλήσεων.

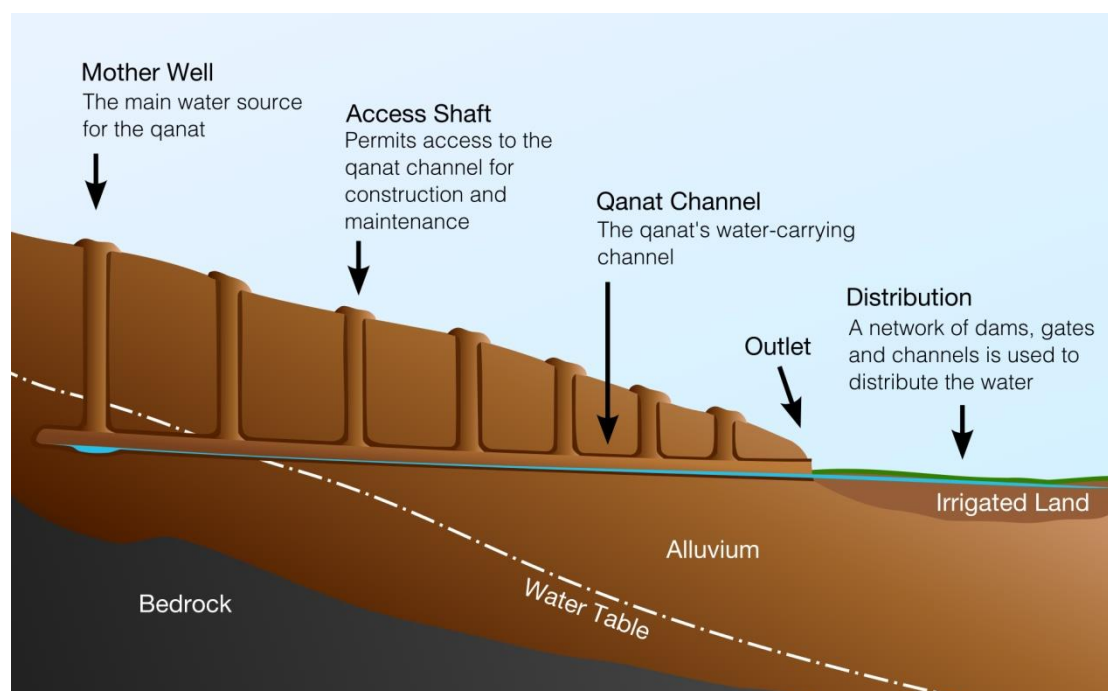
1.2 Ιστορική αναδρομή αξιοποίησης υπόγειων υδάτων

Η ανασκαφή φρεάτων (πηγαδιών) είναι ο αρχαιότερος και βασικότερος τρόπος αξιοποίησης των υπογείων υδάτων σε ολόκληρο τον κόσμο. Ως πηγάδι ορίζεται «το τεχνητό όρυγμα με σημαντικό βάθος και κυλινδρικό άνοιγμα, που χρησιμοποιείται για την άντληση νερού από το υπέδαφος (δηλ. από τον υδροφόρο ορίζοντα)» (Μπαμπινιώτης, 2002). Σε περιοχές με μικρή παρουσία υπέργειων υδάτων, τα φρέατα έχουν χρησιμοποιηθεί για την άρδευση, την ύδρευση και την παραγωγή έργου.

Το σύστημα Qanat αποτελεί σπουδαία εφεύρεση των αρχαίων λαών της Μέσης Ανατολής (Περσία, Ιράν) για την εκμετάλλευση του υπόγειου νερού κατά την 2η και 1η χιλιετία π.Χ.. Το Qanat μπορεί να περιγραφεί ως μια μορφή υπόγειου υδραγωγείου που συλλέγει τα υπόγεια νερά και τα κατευθύνει μέσω αγωγού ήπιας κλίσης σε επιφανειακά κανάλια επιφάνειας. Ένα σύστημα Qanat αποτελείται από μια υπόγεια σήραγγα (ένα διαμήκες υπόγειο κανάλι), ένα κύριο (μητρικό) φρέαρ, ενδιάμεσα φρέατα πρόσβασης και ένα τελικό αρδευτικό κανάλι με λεκάνη συλλογής. Το παλαιότερο και μεγαλύτερο βρίσκεται στην Ιρανική πόλη Gonabad και είναι ακόμη σε λειτουργία. Έχει μήκος 45 km και ορισμένα από τα πηγάδια του έχουν βάθος 360 m. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, έχει καταγραφεί παρουσία συστημάτων Qanat στην περιοχή του σημερινού Ιράν και σε περισσότερες από 34 άλλες χώρες. Μετά τη ρωμαϊκή εποχή το Qanat γνώρισε ταχύτερη διάδοση σχεδόν σε ολόκληρο το βόρειο ημισφαίριο. Αξίζει να σημειωθεί ότι η έκταση, η πολυπλοκότητα και ο μεγάλος βαθμός διάδοσης των συστημάτων Qanat, οδήγησε στην ένταξη ορισμένων από αυτά στον Κατάλογο Παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς της UNESCO (UNESCO), μέσω του International Center for Qanats and Historic Hydraulic Structures. Στο Σχήμα 1.1 φαίνεται μια σχηματική τομή του συστήματος Qanat.

Στον Ελλαδικό χώρο κατασκευάστηκαν υδραυλικές σήραγγες για την μεταφορά των υδάτων για άρδευση και ύδρευση. Χαρακτηριστικά έργα είναι το Πεισιστράτειο Υδραγωγείο στην Αθήνα (540 – 530 π.Χ.), το Ευπαλίνειο όρυγμα της Σάμου (540 - 525 π.Χ.) και οι στοές της Στρώμης (5ος αιώνας π.Χ.), της Ολύθνου (περί το 420 π.Χ.), της Περαχώρας (περί το 300 π.Χ.), της

Αίγινας, της Σκύρου και το Αδριάνειο Υδραγωγείο των Αθηνών (2^{ος} αιώνας μ.Χ.).



Σχήμα 1.1. Σχηματική τομή συστήματος Qanat, Πηγή: (Wikipedia, 2023)

1.3 Ιστορική αναδρομή αντλητικών συστημάτων

Οι πρώτες αναφορές σε εργαλεία και μηχανισμούς ανύψωσης ύδατος βρίσκονται στην εποχή του Χαλκού (3.000– 1.200 π.Χ.). Οι Μεσοποτάμιοι ήταν υπεύθυνοι για την πρώτη “αντλία” γύρω στο 3000 π.Χ. γνωστή ως κηλώνειο (shaduf). Το κηλώνειο αποτελεί ουσιαστικά μια ενδιάμεση μέθοδο άντλησης νερού, ημι-μηχανική και ημι-χειροκίνητη. Στη μία άκρη του έφερε ξύλινο ιστό με σχοινί και δοχείο για την βύθιση στο νερό. Στην άλλη άκρη έφερε το αντίβαρο (συνήθως πέτρα). Η δοκός τοποθετημένη στην μέση ενός διχαλωτού κάθετου δοκαριού ή κρεμασμένη από σχοινί τυλιγμένο σε οριζόντιο άξονα, ζυγίζοταν. Ανάλογα τη δύναμη που εφαρμόζε ο άνθρωπος στην άκρη της (σχοινί) κατέβαινε, το δοχείο ή ο σάκος βυθιζόταν στο νερό και έπειτα, ο χειριστής άφηνε ελεύθερο το σχοινί με αποτέλεσμα ο μηχανισμός να ανεβαίνει καθώς το αντίβαρο λόγω του βάρους του κατερχόταν (Λάζος Χ., 1999). Την ίδια περίπου εποχή συναντάται αντίστοιχος μηχανισμός και στην Αίγυπτο και την Ινδία. Οι ανασκαφές της Νοτιανατολικής Κρήτης αποδεικνύουν την ύπαρξη

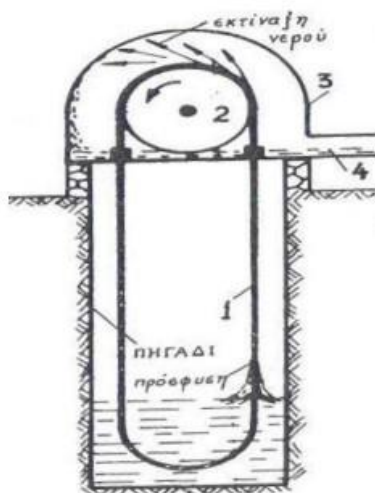
Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

παρόμοιων μηχανισμών και την άντληση από πηγές βάθους έως 15 m, χρονολογικά μεταξύ 2.100 π.Χ. και 1.600 π.Χ. (Κυριακόπουλος Γ., 2015). Στο Σχήμα 1.2 φαίνεται μια αναπαράσταση χρήσης του συστήματος shaduf στον ποταμό Νείλο.



Σχήμα 1.2. Χρήση shaduf στον ποταμό Νείλο, Πηγή: (Bazza M., 2007)

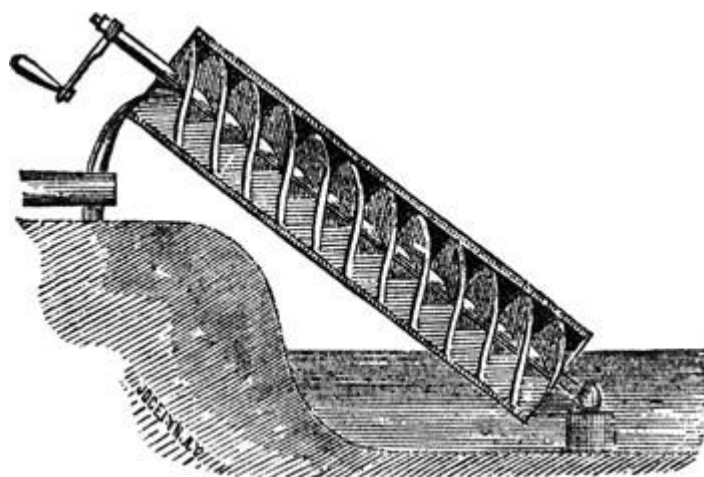
Στην Αίγυπτο το 1700 π.Χ. χρησιμοποιούσαν αντλίες με ατέρμονη αλυσίδα που ανύψωναν το νερό από βάθος μέχρι 90 m. Στο Σχήμα 1.3 φαίνεται η ατέρμονη αλυσίδα.



Σχήμα 1.3. Ατέρμονη αλυσίδα, Πηγή: (Χατζηανδρέου Γ., 2011)

Κατά την ελληνιστική περίοδο (336 – 30 π.Χ.) η σημαντικότερη εφεύρεση είναι ο κοχλίας του Αρχιμήδη (287 – 212π.χ.). Ο κοχλίας του Αρχιμήδη αποτελούταν

από έναν ξύλινο άξονα που έφερε περιελίξεις από λεπτά και εύκαμπτα κλαδιά ιτιάς ή λυγαριάς, συνδεδεμένα το ένα με το άλλο ώστε να δημιουργείται ένας ατέρμονος κοχλίας. Ο κοχλίας εφαπτόταν εσωτερικά ενός ξύλινου κυλίνδρου. Η μηχανή τοποθετούνταν με κλίση 30° στο νερό και με την περιστροφή του κοχλίου το εγκλωβισμένο νερό στις σπείρες ανυψωνόταν και έρεε από το στόμιο του ξύλινου κυλίνδρου (Δαγκίνης Ι. & Γλύκας Α., 2016). Στο Σχήμα 1.4 φαίνεται ο Κοχλίας του Αρχιμήδη.



Σχήμα 1.4. Κοχλίας του Αρχιμήδη, Πηγή: (Κοχλίας του Αρχιμήδη, 2007)

Ένας άλλος πολύ σημαντικός μηχανισμός ήταν η εμβολοφόρος αντλία του Κτησίβιου (285-222 π.Χ.). Αποτελούταν από δύο έμβολα που παλινδρομούσαν με τη βοήθεια αρθρωτών μοχλίσκων και χειρομοχλών εντός δύο κατακόρυφων δοχείων βυθισμένων στο προς άντληση νερό. Στον υπερυψωμένο πυθμένα των δοχείων βρίσκονταν οι ανεπίστροφες βαλβίδες εισαγωγής νερού. Κατά την ανοδική κίνηση του εμβόλου δημιουργείται υποπίεση και αναρρόφηση του νερού. Κατά την καθοδική κίνηση του εμβόλου το νερό καταθλίβεται στο ενδιάμεσο δοχείο που έφερε ένα στεγανό κάλυμμα τύπου αναστροφής χοάνης και τον κατευθυντήριο σωλήνα εξαγωγής του. Η εναλλασσόμενη αντίθετη κίνηση των εμβόλων προκάλούσε την συνεχή ροή νερού με πίεση (Βιτρούβιος Μ., 2009) Στο Σχήμα 1.5 φαίνεται η εμβολοφόρος αντλία του Κτησίβιου.



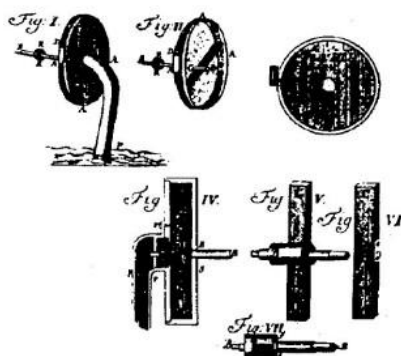
Σχήμα 1.5, Εμβολοφόρος αντλία του Κτησίβιου, Πηγή: (Κριάρης Δ., 1997)

Στους Ρωμαϊκούς χρόνους (31 π.Χ. – 324 μ.Χ.) αυτόν τον μηχανισμό με τη σειρά του ο Ήρων τον βελτίωσε δημιουργώντας έναν νέο. Την πυροσβεστική αντλία του Ήρωνος. Πρόκειται για μία δίδυμη καταθλιπτική εμβολοφόρα αντλία συνεχούς ροής νερού. Αποτελούνταν από δύο έμβολα που παλινδρομούσαν αντίθετα με τη βοήθεια ενός κοινού χειρομοχλού εντός δύο κατακόρυφων κυλινδρικών δοχείων στην δεξαμενή νερού. Οι ανεπίστροφες βαλβίδες εισαγωγής νερού βρίσκονταν στον υπερυψωμένο πυθμένα των δοχείων και οι ανεπίστροφες βαλβίδες εξαγωγής νερού βρίσκονταν στη βάση των σωλήνων εξαγωγής νερού. Οι σωλήνες συνέκλιναν σε ένα κοινό κατακόρυφο αγωγό. Ο αγωγός στο άκρο του έφερε μια περιστρεφόμενη διάταξη σωληνίσκου με ακροφύσιο που επέτρεπε την ακριβή προσβολή του στόχου. Πρόκειται για την πρώτη εμβολοφόρα αντλία της ανθρωπότητας (Μουσείο αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας, 2014). Στο Σχήμα 1.6 φαίνεται η πυροσβεστική αντλία του Ήρωνος.



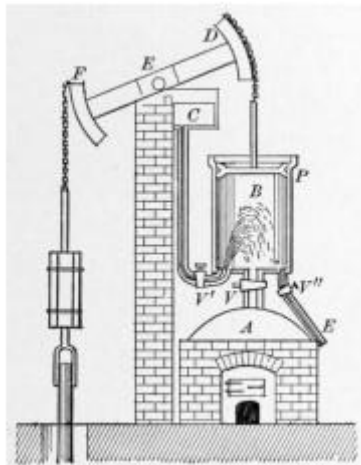
Σχήμα 1.6. Πηγή: («Πυροσβεστική αντλία», Μουσείο Αρχαίας Ελληνικής Τεχνολογίας, 2015)

Από την Ύστερη Αρχαιότητα έως και τον Μεσαίωνα έγινε για πρώτη φορά χρήση αντλιών με κατακόρυφο άξονα. Στην εποχή του Διαφωτισμού (1687) εφευρέθηκε η φυγόκεντρος αντλία από τον Γάλλο Denis Papin, ο οποίος περιέγραψε ένα τύπο αντλίας, της οποίας η αρχή λειτουργίας ήταν η ίδια με τις σημερινές φυγόκεντρος αντλίες. Στο πειραματικό μοντέλο αυτό η πτερωτή είχε δύο πλήρως ακτινικά πτερύγια και προοριζόταν για χρήση ως φυγοκεντρικός ανεμιστήρας, για τον εξαερισμό των ορυχείων. Το 1705 κατασκεύασε ο ίδιος το μοντέλο της πρώτη φυγοκέντρου αντλίας για άντληση νερού. Στο μοντέλο αυτό η πτερωτή είχε περισσότερα πτερύγια και κέλυφος. Το βασικό πρόβλημα εκείνης της εποχής ήταν η αποφυγή εισχώρησης αέρα στο εσωτερικό της αντλίας που διέκοπτε τη λειτουργία της. Ένα άλλο σημαντικό τεχνολογικό πρόβλημα ήταν το γεγονός ότι οι φυγοκεντρικές αντλίες απαιτούσαν σχετικά μεγάλες ταχύτητες περιστροφής στη άτρακτο που ήταν δύσκολο να επιτευχθεί την εποχή εκείνη μια και η ανάπτυξη αξιόπιστων ιμάντων και εδράνων έγινε αργότερα (Πολέμη Κ., 2013). Στο Σχήμα 1.7 φαίνεται η φυγοκεντρική αντλία Papin.



Σχήμα 1.7. Φυγοκεντρική αντλία Papin, Πηγή: (Esch, 1997)

Το 1712 ο Newcomen κατασκεύασε μία παλινδρομική αντλία για την άντληση νερού από ένα ορυχείο. Η κίνησή της προερχόταν από έναν ατμοκύλινδρο με συμπύκνωση ατμού που χρησιμοποιούσε την ατμοσφαιρική πίεση για εξάσκηση της απαραίτητης δύναμης στον διωστήρα (Κουντούπη Ε., 2012). Στο Σχήμα 1.8 φαίνεται η παλινδρομική αντλία Newcomen.



Σχήμα 1.8. Παλινδρομική αντλία Newcomen, Πηγή: (Κουντούπη Ε., 2012)

Το 1875 ο Osborne Reynolds κατασκεύασε την πρώτη στροβιλοαντλία που είχε σημαντικά αυξημένη απόδοση. Ο ίδιος τότε παρουσίασε και τον διαχύτη με πτερύγια. Από το 1840 άρχισαν να χρησιμοποιούνται οι ατμομηχανές για την κίνηση των αντλιών όταν ο Worthington κατασκεύασε μία παλινδρομική αντλία, της οποίας το έμβολο ήταν συνδεδεμένο απευθείας με το έμβολο της ατμομηχανής. Νέα ώθηση στην εξέλιξη των αντλιών και την επινόηση νέων τύπων έδωσε η εμφάνιση των κινητήρων εσωτερικής καύσεως (Παπαντώνης Δ., 2007).

Στη σύγχρονη πλέον εποχή οι αντλίες έχουν εξελιχθεί σε σημαντικό βαθμό και η χρήση τους είναι ευρέως διαδεδομένη σε όλο το φάσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας, με προεξέχουσα την επεξεργασία νερού και τη διαχείριση ρευστών στην απλή οικιακή χρήση, τα οχήματα, την έρευνα, τη βιομηχανία κ.ο.κ.. Οι σύγχρονες αντλίες διαχωρίζονται σε αντλίες θετικής εκτόπισης (παλινδρομικές και περιστροφικές) και σε δυναμικές (φυγοκεντρικές). (Λυγερός Α.Ι., 2005).

1.4 Ιστορική αναδρομή ανάπτυξης μεθόδων υδρογεωλογίας

Η υδρογεωλογία, στη βάση της, είναι ο κλάδος εκείνος της γεωλογίας που μελετά την κυκλοφορία και την άντληση υπόγειων νερών. Η μελέτη των φαινομένων της υδρογεωλογίας επιμερίζεται σε θεωρητική και εμπειρική. Η θεωρητική προσέγγιση έχει συμβάλει στην ανάπτυξη του μαθηματικού υπόβαθρου για την κατανόηση των φαινομένων και στην διαμόρφωση ενός

ολοκληρωμένου συστήματος γνώσης και αναφοράς γύρω από το αντικείμενο. Ο εμπειρικός τρόπος από την πλευρά του βασίζεται στις αρχές της επιστήμης, δηλαδή την παρατήρηση και το πείραμα. Η συγκέντρωση δειγμάτων και πληροφοριών και η μετέπειτα αξιολόγηση και ερμηνεία τους, έχει οδηγήσει στην ουσιαστική πρόοδο και στην ανάπτυξη νέων μεθόδων, πρακτικών εφαρμογών και εργαλείων υδρογεωλογικών μελετών.

Κάνοντας μια ιστορική αναδρομή στις μεθόδους αυτές, διαπιστώνουμε ότι οι πρώτες προσπάθειες επιστημονικής παρατήρησης των φαινομένων της μετεωρολογίας και υδραυλικής ξεκινούν από τους Έλληνες διανοητές, όπως αποδεικνύεται και από σωζόμενα κείμενα (Κουτσογιάννης Δ. & Ξανθόπουλος Θ., 2016). Επιλεκτικά μπορούμε να αναφέρουμε τον Θαλή τον Μιλήσιο (640 - 546 π.Χ.) και τους Ίωνες φιλοσόφους μετά από αυτόν, οι οποίοι ανέδειξαν το νερό ως βασικό στοιχείο. Αξιοσημείωτο είναι και το έργο του Αριστοτέλη (384 - 322 π.Χ.) «Μετεωρολογικά», όπου περιγράφονται οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ αέρα και νερού, ο υδρολογικός κύκλος, η εξάτμιση του νερού και τα μετεωρολογικά φαινόμενα. Στην ύστερη αρχαιότητα σημαντική είναι η συμβολή του Θεόφραστου (371 – 287 π.Χ.), του Επίκουρου (341 – 270 π.Χ.), του Αρχιμήδη (287 – 212 π.Χ.) , ο οποίος με την ομώνυμη Αρχή θεμελίωσε την Υδροστατική, και του Ήρωνα του Αλεξανδρέα (10 – 75 μ.Χ.), ο οποίος εικάζεται ότι πραγματοποίησε από τις πρώτες υδρομετρήσεις.

Η συνέχεια των Ελλήνων φιλοσόφων απαντάται στη Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία και συνεχίζεται μέχρι και τον Μεσαίωνα όπου υπάρχει μια παύση των επιστημονικών αναζητήσεων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι μετρήσεις στάθμης του ποταμού Νείλου, τις οποίες ξεκίνησαν σε συστηματική βάση οι Ρωμαίοι τον 1^ο αιώνα μ.Χ.

Κατά την περίοδο της Αναγέννησης (14^{ος} -15^{ος} αιώνας μ.Χ.) η ορθολογική παρατήρηση επανήλθε και μαζί της και η συστηματική μελέτη. Ο μεγαλύτερος εκπρόσωπος της εποχής, ο Λεονάρντο ντα Βίντσι (1452 – 1519 μ.Χ.) ώθησε με τις μελέτες του τη μηχανική. Ακολούθησε ο Διαφωτισμός (16^{ος} -19^{ος} αιώνας μ.Χ.) κατά τη διάρκεια του οποίου καθιερώθηκε η έννοια της επιστημονικής μεθοδολογίας και του πειράματος. Τον 17^ο αιώνα διατυπώθηκαν οι γενικές διαφορικές εξισώσεις, οι οποίες στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν από όλες τις επιστήμες και ιδιαίτερα την υδραυτική. Η υδροστατική και η ρευστομηχανική εδραιώθηκαν κατά τον 18^ο αιώνα με το έργο των Μπερνούλι (1700 – 1782

μ.Χ.) και Όιλερ (1707 – 1783 μ.Χ.). Κατά τη διάρκεια του 19^{ου} αιώνα διατυπώθηκαν πολλές θεωρίες σχετικά με την εξάτμιση του νερού, τη ροή των ρευστών και την υπόγεια απορροή.

Όλη αυτή η επιστημονική άνθηση είχε σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη μεθοδολογιών, οι οποίες βρίσκουν χρήση ακόμα και στις μέρες μας. Σημείο ορόσημο αποτελεί το 1856 η διατύπωση του νόμου του Darcy για τη ροή διαπορώδους μέσου. Συνοπτικά κατά τη διάρκεια της εκατονταετίας 1850 – 1950, η υδρογεωλογία γνώρισε μεγάλη άνθηση, με πλήθος επιστημόνων να σημειώνουν σημαντική πρόοδο στην κατανόηση, θεωρητική προσέγγιση και μαθηματική περιγραφή των φαινομένων των υπόγειων ροών νερού. Ενδεικτικά αναφέρονται οι Mulvaney, Dupuit, Beardmore, Meinzer, Jacob, Theis, Hubbert, Chow, Meyer, Nash.

Στη σύγχρονη εποχή από το 1960 έως σήμερα είναι καθοριστική η συμβολή των ηλεκτρονικών υπολογιστών στην αριθμητική επίλυση υπολογιστικών μοντέλων, αλλά και την προσομοίωση συμπεριφοράς υδροσυστημάτων. Τα υδρογεωλογικά δεδομένα συλλέγονται με τη χρήση νέων τεχνολογιών και η επεξεργασία τους πραγματοποιείται μέσω προγραμμάτων.

Κεφάλαιο 2. Κανονιστικό Πλαίσιο

2.1 Γενικά

Το κανονιστικό πλαίσιο εντός του οποίου διεξάγονται οι πάσης φύσεως υδρογεωλογικές μελέτες είναι ευρύτατο, καθώς αφορά τόσο τη διαχείριση του υδάτινου πόρου όσο και τη γεωτεχνική σκοπιά των μελετών. Τα βασικότερα στοιχεία κανονισμών, προδιαγραφών και νομοθεσίας, στα οποία εμπίπτουν οι δοκιμαστικές αντλήσεις είναι τα εξής:

- Προδιαγραφές Επιτόπου Δοκιμών Εδαφομηχανικής Ε 106-86 (ΦΕΚ 955/Β/31.12.1986), § 7 Προσδιορισμός Υδατοπερατότητας του εδάφους επί τόπου του έργου με δοκιμές αντλήσεως.
- ISO 22282-4:2021, Geotechnical investigation and testing – Geo hydraulic testing, Part 4: Pumping tests.
- Νόμος 3199/2003 (ΦΕΚ 280/Α/9.12.2003) Προστασία και διαχείριση των υδάτων - Εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000.
- Τεχνικές προδιαγραφές υδρογεωλογικών μελετών με βάση τις απαιτήσεις των σχεδίων διαχείρισης της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Υπ.Εν., 2016.
- ASTM-D2434, 2022, Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Coarse-Grained Soils.
- ASTM-D5270, 2020, Standard Test Method for Determining Transmissivity and Storage Coefficient of Bounded, Nonleaky, Confined Aquifers.

Είναι προφανές ότι τα παραπάνω αποτελούν ενδεικτική και όχι αποκλειστική παράθεση της κείμενης Νομοθεσίας. Οι Προδιαγραφές Ε 106-86 (ΦΕΚ 955/Β/31.12.1986) τηρούνται απαρέγκλιτα σε όλες τις δοκιμές εδαφομηχανικής, καθώς αποτελούν ουσιώδες κατευθυντήριο νομοθέτημα. Επίσης αξίζει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στο πρότυπο ISO 22282-4:2021, το οποίο αναφέρεται, όπως λέει και ο τίτλος του, στη Γεωτεχνική έρευνα και δοκιμή – Υδρογεωλογική δοκιμή, επικεντρώνεται στις δοκιμαστικές αντλήσεις και περιγράφει με μεγάλη ακρίβεια τη διαδικασία που ακολουθείται για τη

διενέργεια αυτών. Για τον λόγο αυτό και η πρακτική εφαρμογή των δοκιμαστικών αντλήσεων, όπως πραγματοποιήθηκε για την παρούσα έρευνα, ακολουθεί το πρότυπο αυτό. Η διαδικασία περιγράφεται στις επόμενες παραγράφους αναλυτικά.

2.2 Πρότυπο δοκιμαστικών αντλήσεων ISO 22282-4:2021

Οι δοκιμαστικές αντλήσεις πραγματοποιούνται κυρίως για δύο λόγους, αρχικά για να δοθούν πληροφορίες σχετικά με την δυναμικότητα, τη λειτουργία και την απόδοση μιας συγκεκριμένη γεώτρησης, καθώς και για να δοθούν πληροφορίες για την συμπεριφορά και την δυναμικότητα του υδροφόρου ή του συστήματος των υδροφόρων που τροφοδοτούν μια γεώτρηση ή ένα πεδίο γεωτρήσεων. Από την επεξεργασία των στοιχείων της δοκιμαστικής άντλησης, προσδιορίζονται αφενός οι υδραυλικές παράμετροι του υδροφορέα στην τοπική περιοχή όπου γίνεται η δοκιμαστική άντληση και αφετέρου παράμετροι που έχουν σχέση με την γεώτρηση.

Οι δοκιμαστικές αντλήσεις πραγματοποιούνται μετά το πέρας κατασκευής της γεώτρησης, και συγκεκριμένα μετά το τέλος της φάσης της αναπτύξεως. Είναι προτιμότερο να πραγματοποιούνται στο τέλος της ξηράς περιόδου και αυτό διότι τα αποτελέσματα και οι προβλέψεις που θα γίνουν την εποχή εκείνη είναι συντηρητικές και αποφεύγονται μεγάλα λάθη και υπερεκτιμήσεις. Οι υδραυλικές σταθερές δεν μεταβάλλονται, μετατοπίζεται όμως η θέση της υδροστατικής στάθμης, της στάθμης της άντλησης, καθώς και ο ρυθμός εμπλουτισμού του υδροφόρου από άλλα υδατικά στρώματα (Andreadis I. & Morforoulos Z., 1993).

Ακολουθεί μια συνοπτική περιγραφή της διαδικασίας διενέργειας δοκιμαστικών αντλήσεων με βάση το πρότυπο ISO 22282-4:2021 (ISO 22282-4, 2021).

2.2.1 Δοκιμή άντλησης και απαραίτητος εξοπλισμός

Σκοπός της δοκιμής άντλησης είναι η άντληση του υπόγειου νερού από ένα πηγάδι (το δοκιμαστικό φρέαρ), καθώς και η μέτρηση της αντλούμενης παροχής και της στάθμης του νερού στο φρεάτιο δοκιμής, και στα πιεζόμετρα της παρακείμενης γεώτρησης, πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την άντληση, σε συνάρτηση με το χρόνο. Δοκιμές άντλησης εκτελούνται σε υδροφορείς των οποίων η διαπερατότητα είναι τέτοια ώστε η άντληση από ένα πηγάδι να

μπορεί να προκαλέσει μείωση του πιεζομετρικού ύψους εντός ωρών ή ημερών ανάλογα με τις εδαφικές συνθήκες και το σκοπό. Οι δοκιμές άντλησης γίνονται για την αξιολόγηση των υδροδυναμικών παραμέτρων ενός υδροφορέα. Από αυτές υπολογίζονται η υδραυλική αγωγιμότητα, μεταφορικότητα και η αποθηκευτικότητα του υδροφόρου ορίζοντα, ο ρυθμός και η ακτίνα επιρροής της άντλησης, η απόκριση του καταβιβασμού του υδροφόρου ορίζοντα κατά την άντληση, αλλά και η απόκριση της ανάκτησης του υδροφόρου ορίζοντα μετά την άντληση.

Η εκτέλεση της δοκιμής άντλησης απαιτεί τον ακόλουθο εξοπλισμό και τα ακόλουθα όργανα:

- α) Ένα δοκιμαστικό φρέαρ και τα πιεζόμετρα παρατήρησης.
- β) Μια αντλία και τις σχετικές σωληνώσεις ικανές να αντλούν από το δοκιμαστικό φρέαρ. Οι αντλίες πρέπει να είναι εξοπλισμένες με σωλήνα εκροής κατάλληλου μήκους, ώστε το νερό από την αντλία να εκρέει σε αρκετή απόσταση ώστε να μην επηρεάζει την περιοχή δοκιμής. Η δυναμικότητα της αντλίας πρέπει να επαρκεί για την εξαγωγή από το φρέαρ παροχής ποσότητας τουλάχιστον ίσης με εκείνη που εκτιμάται ότι θα επιτύχει το μέγιστο προβλεπόμενο καταβιβασμό της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα.
- γ) Ένα σύστημα ρύθμισης και μέτρησης της εκροής (m^3/s). Οι συσκευές για τη μέτρηση του ρυθμού εκροής πρέπει να είναι κατάλληλα βαθμονομημένες και να είναι ακριβείς για ένα εύρος ρυθμών ροής που αναμένονται κατά τη διάρκεια της δοκιμής.
- δ) Ένα σύστημα μέτρησης της στάθμης του νερού στο φρέαρ δοκιμής και στα πιεζόμετρα. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η τύρβη στο φρεάτιο δοκιμής που προκαλείται από την άντληση και οι συσκευές πρέπει να είναι ικανές να μετρούν τη στάθμη του νερού σε όλο το εύρος των καταβιβασμών της στάθμης που αναμένονται κατά τη διάρκεια της δοκιμής.
- ε) Και μία συσκευή μέτρησης και/ή καταγραφής χρόνου, με ένδειξη σε δευτερόλεπτα.

2.2.2 Προετοιμασία της δοκιμής άντλησης.

Κατά την προετοιμασία μιας δοκιμής άντλησης, υπάρχουν ορισμένα πράγματα που πρέπει να διερευνηθούν και να ληφθούν υπόψη εκ των προτέρων, όπως οι βασικές πληροφορίες σχετικά με το έδαφος, τις συνθήκες των υπόγειων

υδάτων και τον απαιτούμενο καταβιβασμό της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα. Επίσης απαιτείται ο ρυθμός εκροής κατά τη διάρκεια της δοκιμής, το σημείο απόρριψης του αντλούμενου νερού, η θέση του σε σχέση με το φρέατο δοκιμής και τέλος η διάρκεια της δοκιμής.

Για τον προσδιορισμό του ρυθμού εκροής για τη δοκιμή άντλησης, ο ρυθμός της εκροής πρέπει να εκτιμηθεί εκ των προτέρων για να εξασφαλιστεί ότι το δοκιμαστικό φρέαρ μπορεί να δώσει αρκετό νερό, ώστε να είναι δυνατή η επιλογή αντλίας κατάλληλης δυναμικότητας. Έτσι εξασφαλίζεται ότι η απόρριψη μπορεί να γίνει στο συμφωνημένο σημείο διάθεσης. Ο ρυθμός εκροής μπορεί να υπολογιστεί με μία ή περισσότερες από τις ακόλουθες μεθόδους:

- με βάση το σκοπό της δοκιμής και την εμπειρία των τοπικών συνθηκών,
- με θεωρητική εκτίμηση της χωρητικότητας του φρέατος,
- με ανάλυση των πληροφοριών από την προκαταρκτική φάση άντλησης.

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει ένα δίκτυο αποχέτευσης, έτσι ώστε το νερό που αντλείται να διοχετεύεται, τότε πρέπει να αποτίθεται σε επαρκή απόσταση από το δοκιμαστικό φρέαρ, ώστε να μην έχει σημαντικό αντίκτυπο στην παρατήρηση του καταβιβασμού του υδροφόρου ορίζοντα.

2.2.3 Εκτέλεση της δοκιμαστικής άντλησης και εξοπλισμός του φρέατος άντλησης

Σχεδιασμός του δοκιμαστικού φρέατος

Το δοκιμαστικό φρέαρ πρέπει να διεισδύει κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στα στρώματα που μας ενδιαφέρουν και τουλάχιστον στο κορεσμένο τμήμα του υδροφόρου ορίζοντα, σε βάθος τουλάχιστον 25 φορές τη διάμετρο του φιλτροσωλήνα. Η γεώτρηση πρέπει να έχει επαρκή διάμετρο για να μπορούν να τοποθετηθούν τα απαραίτητα υλικά φίλτρου και με φιλτροσωλήνα κατάλληλων διαστάσεων έτσι ώστε να είναι δυνατόν να τοποθετηθεί ο εξοπλισμός άντλησης ο οποίος πρέπει να είναι επαρκούς δυναμικότητας για την επίτευξη του απαιτούμενου ρυθμού εκροής. Ο φιλτροσωλήνας θα έχει επαρκή χωρητικότητα ώστε να εξασφαλίζεται ότι μπορεί να επιτευχθεί ο απαιτούμενος ρυθμός εκροής, να περιβάλλεται από κατάλληλο υλικό φίλτρου ώστε να διασφαλίζεται ότι το νερό απόρριψης

περιέχει αποδεκτά χαμηλή περιεκτικότητα σε ιζήματα, ώστε να αποφεύγεται ο κίνδυνος βλάβης της αντλίας και καθίζησης του εδάφους, ως αποτέλεσμα της απομάκρυνσης λεπτών σωματιδίων από το έδαφος. Όταν το φρεάτιο κατασκευάζεται σε συμπαγή βράχο, μπορεί να είναι δυνατή η κατασκευή δοκιμαστικού φρέατος χωρίς την ανάγκη χρησιμοποίησης υλικού φίλτρου. Το υλικό φίλτρου πρέπει να είναι ένα πολύ διαπερατό κοκκώδες υλικό με στενά ελεγχόμενο μέγεθος σωματιδίων και να αποτελείται από κόκκους αδρανών ορυκτών συμβατών με τη χημεία του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα (π.χ. χαλαζία, αστρίους). Σε κοκκώδη εδάφη, η καμπύλη διαβάθμισης του φίλτρου πρέπει να ικανοποιεί την παρακάτω διπλή ανισότητα:

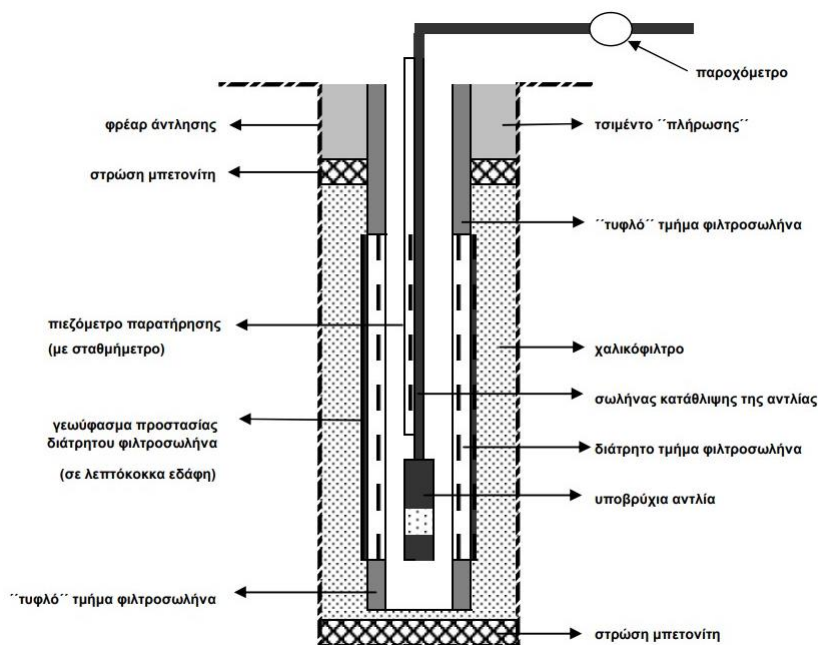
$$5 * d_{15 \text{ soil}} < d_{15 \text{ filter}} < 5 * d_{85 \text{ soil}}$$

όπου d_N δηλώνει το χαρακτηριστικό μέγεθος του φίλτρου ή του εδάφους στη θέση του, έτσι ώστε η μάζα του εδαφικού κλάσματος που διέρχεται από κόσκινο με τετραγωνικό πλέγμα πλευράς d αντιπροσωπεύει το $N\%$ της συνολικής μάζας του υλικού. Σε λεπτόκοκκα εδάφη το διάτρητο τμήμα του φιλτροσωλήνα είναι εφοδιασμένο με γεωυφασμάτινο πλέγμα σχεδιασμένο να λειτουργεί ως φίλτρο, του οποίου ο σκοπός είναι να γεμίσει τον δακτυλιοειδή χώρο μεταξύ του εξωτερικού τμήματος του φιλτροσωλήνα και του τοιχώματος της γεώτρησης, με φίλτρο κατάλληλου υλικού, υψηλής υδραυλικής αγωγιμότητας, όπως χονδροειδή άμμο ή λεπτό χαλίκι, με συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας τουλάχιστον 100 φορές μεγαλύτερο από αυτόν του εδάφους ή του πετρώματος που εξετάζεται. Το πάχος του δακτυλιοειδούς χώρου για το φίλτρο πρέπει να είναι τουλάχιστον 50 mm. Η εσωτερική διάμετρος του φρέατος δοκιμής επιλέγεται ανάλογα με το σκοπό. Στο Σχήμα 2.1 φαίνεται ένα χαρακτηριστικό φρέαρ άντλησης.

Διαδικασία εγκατάστασης

Το φρεάτιο δοκιμής πρέπει να κατασκευάζεται με παρόμοιο τρόπο όπως τα πιεζόμετρα. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίδεται στο γεωύφασμα προστασίας του διάτρητου φιλτροσωλήνα του φρέατος. Πιο συγκεκριμένα, πρέπει να κατεβαίνει στη γεώτρηση μέχρι το καθορισμένο επίπεδο και να εγκαθίσταται κεντρικά στο φρέαρ, με την κορυφή και τον πυθμένα του γεωυφάσματος να βρίσκονται στο επίπεδο σχεδιασμού. Ύστερα, πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα

έτσι ώστε οι ενώσεις του γεωφάσματος και της σωλήνωσης να μην παρουσιάζουν διαρροή. Τέλος, το υλικό φίλτρου τοποθετείται στο δακτυλιοειδές διάστημα μεταξύ του γεωφάσματος και της προσωρινής σωλήνωσης (ή του τοιχώματος της γεώτρησης). Η τοποθέτηση του γίνεται σταδιακά και προσεκτικά για να μειωθεί ο κίνδυνος απόφραξης του δακτυλιοειδούς χώρου και κατά προτίμηση μέσω ενός σωλήνα Tremie. Ο σωλήνας Tremie είναι ένας στεγανός σωλήνας, εσωτερικής διαμέτρου περίπου 250 mm, με κωνική χοάνη στο άνω άκρο του, το οποίο βρίσκεται πάνω από τη στάθμη του νερού. Συνήθως φέρει ένα χαλαρό πώμα ή μια βαλβίδα στο κάτω άκρο. Εάν είναι απαραίτητο, θα υπάρξει στεγανοποίηση με υλικό χαμηλής υδραυλικής αγωγιμότητας, όπως ο μπεντονίτης. Αυτό θα γίνει στον δακτυλιοειδή χώρο μεταξύ του τοιχώματος της γεώτρησης και του περιβλήματος του φρέατος αμέσως πάνω από το υλικό φίλτρο. Ο σκοπός της σφράγισης είναι να αποτρέψει τη διείσδυση επιφανειακών υδάτων ή υδάτων από άλλους υδροφορείς μέσα στο φρέαρ. Στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζεται η τομή ενός χαρακτηριστικού φρέατος άντλησης,



Σχήμα 2.1. Φρέαρ άντλησης σε τομή, Πηγή: (OTM, 2014)

Προετοιμασία του φρέατος

Πριν από τη δοκιμή άντλησης απομακρύνονται από το φρέαρ τυχόν υπολείμματα από την γεώτρηση και «κινητά» εδαφικά σωματίδια που θα μπορούσαν να παρασυρθούν από τη ροή του νερού στο φρέαρ. Τέτοια σωματίδια θα μπορούσαν να φράξουν το φίλτρο και να προκαλέσουν βλάβη στην αντλία της δοκιμής. Αυτό μπορεί να γίνει με airlifting (εισπίεση με αέρα), με άντληση, ή με εισπίεση νερού μέσα στον φιλτροσωλήνα. Η αντλία θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μην καταστρέφεται από την παρουσία σωματιδίων στο νερό. Εάν χρησιμοποιείται η μέθοδος airlifting, πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε να αποφεύγεται η διοχέτευση αέρα στο έδαφος, καθώς οι φυσαλίδες αέρα στο έδαφος μπορούν να επηρεάσουν την υδραυλική αγωγιμότητα.

Προετοιμασία εγκατάστασης πιεζομέτρων

Οι πιεζομετρικοί σωλήνες εγκαθίστανται σε τέτοιο βάθος ώστε να μπορεί να παρατηρηθεί και να καταγραφεί επαρκώς η επίδραση του φρέατος δοκιμής. Όπου είναι δυνατόν, το πιεζόμετρο που βρίσκεται πλησιέστερα στο φρεάτιο δοκιμής τοποθετείται στο ίδιο βάθος με τον πυθμένα του. Πριν από την έναρξη της δοκιμής, τα πιεζόμετρα καθαρίζονται. Η στάθμη του νερού στα πιεζόμετρα, μετράται για μια περίοδο πριν και μετά τη δοκιμή, ώστε να διαπιστωθούν τυχόν φυσικές μεταβολές της στάθμης του υπόγειου νερού. Ο χρόνος απόκρισής τους ελέγχεται παρακολουθώντας την άνοδο του νερού στο σωλήνα του πιεζομέτρου. Η περίοδος παρακολούθησης εξαρτάται από τη φύση του υδροφόρου ορίζοντα και το σκοπό της δοκιμής άντλησης.

Εκτέλεση της δοκιμής άντλησης.

Η δοκιμή περιλαμβάνει έως και 4 στάδια:

- Φάση 1η, παρακολούθηση της αδιατάρακτης στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα πριν από την άντληση.
- Φάση 2η, προκαταρκτική άντληση για τον προσδιορισμό της παροχής της δοκιμής άντλησης.
- Φάση 3η, δοκιμή άντλησης.
- Φάση 4η, παρακολούθηση της αποκατάστασης της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα μετά τη δοκιμή άντλησης.

Φάση 1η

Πριν από την έναρξη της φάσης της δοκιμής άντλησης, παρακολουθείται η στάθμη του νερού στο φρέαρ δοκιμής και στα πιεζόμετρα για τον προσδιορισμό της στάθμης των υπόγειων υδάτων. Συνήθως η φάση αυτή διαρκεί μια έως δέκα ημέρες.

Φάση 2η

Πριν από την κύρια δοκιμή άντλησης πρέπει να πραγματοποιηθεί μια σύντομη περίοδος άντλησης για να δοκιμαστεί ο εξοπλισμός. Η κατάλληλη διάρκεια για τη δοκιμή του εξοπλισμού κυμαίνεται μεταξύ 15 λεπτών και 2 ωρών. Κατά τη διάρκεια της προκαταρκτικής φάσης άντλησης πρέπει να ελέγχεται η ορθή λειτουργία των αντλιών, των συστημάτων ελέγχου, των βαλβίδων, των συσκευών μέτρησης της παροχής και των συσκευών μέτρησης της στάθμης του νερού. Οι σωληνώσεις εκροής πρέπει να ελέγχονται για διαρροές. Πριν από την έναρξη της δοκιμής άντλησης πρέπει να λαμβάνονται όλα τα διορθωτικά μέτρα που κρίνονται αναγκαία. Για δοκιμές άντλησης μεγάλης κλίμακας ή πολύπλοκες δοκιμές άντλησης, η προκαταρκτική φάση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή πληροφοριών σχετικά με τον ρυθμό παροχής και τον καταβιβασμό της στάθμης.

Φάση 3η

Η δοκιμή άντλησης αρχίζει αφού σταθεροποιηθεί το επίπεδο της στάθμης του νερού στο φρέαρ δοκιμής και στα πιεζόμετρα μετά την προκαταρκτική φάση άντλησης. Η δοκιμή άντλησης μπορεί να περιλαμβάνει δοκιμή μεταβλητού ρυθμού. Αυτός ο τύπος δοκιμής περιλαμβάνει σταδιακή άντληση, είτε αυξανόμενη είτε μειούμενη, μέχρι τη μέγιστη χωρητικότητα του φρέατος δοκιμής ή την μέγιστη ικανότητα της αντλίας. Μια δοκιμή μεταβλητού ρυθμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βοηθήσει στον προσδιορισμό του ρυθμού παροχής για μια δοκιμή σταθερού ρυθμού. Αυτός ο τύπος δοκιμής περιλαμβάνει άντληση στο φρέαρ δοκιμής με σταθερό ρυθμό για όλη τη διάρκεια της δοκιμής. Εάν η δοκιμή άντλησης περιλαμβάνει δοκιμή μεταβλητού ρυθμού ακολουθούμενη από δοκιμή σταθερού ρυθμού, τότε μπορεί να υπάρξει περίοδος παρακολούθησης μεταξύ των δύο δοκιμών. Στην περίπτωση αυτή, η περίοδος μεταξύ του τέλους της δοκιμής μεταβλητού

ρυθμού και της έναρξης της δοκιμής σταθερού ρυθμού πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να επιτραπεί η σταθεροποίηση της στάθμης του νερού. Κάθε φορά που μεταβάλλεται η παροχή, η μεταβολή του ρυθμού άντλησης πρέπει να πραγματοποιείται ταχέως. Κατά την έναρξη της δοκιμής άντλησης, ο ρυθμός παροχής πρέπει να σταθεροποιείται εντός 2 λεπτών από την έναρξη της άντλησης. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής άντλησης πρέπει να γίνονται μετρήσεις της στάθμης του νερού σύμφωνα με τις απαιτήσεις της δοκιμής και των εδαφικών συνθηκών. Γενικά, οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται συχνότερα κατά την έναρξη της δοκιμής άντλησης ή όταν η παροχή έχει αλλάξει κατά τη διάρκεια δοκιμής μεταβλητού ρυθμού ή όταν η στάθμη του νερού ενδέχεται να μεταβάλλεται γρήγορα. Κατά τα μεταγενέστερα στάδια μιας δοκιμής άντλησης, όταν τα επίπεδα του νερού μεταβάλλονται πιο αργά, οι μετρήσεις μπορούν να λαμβάνονται λιγότερο συχνά.

Τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των μετρήσεων καθορίζονται από το σκοπό της δοκιμής και τις εδαφικές συνθήκες.

Φάση 4η

Όταν σταματήσει η άντληση στο τέλος της φάσης άντλησης, αρχίζει η παρακολούθηση. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, καταγράφονται οι στάθμες νερού στο φρέαρ και στα πιεζόμετρα. Ξεκινώντας από την αρχή της φάσης μετά την άντληση, τα διαστήματα μεταξύ των μετρήσεων πρέπει να είναι τα ίδια με εκείνα της φάσης άντλησης.

Η διάρκεια και αυτής της φάσης εξαρτάται από το σκοπό της δοκιμής και τις τοπικές συνθήκες.

Όταν οι μετρήσεις είναι λιγότερο συχνές, ο εξοπλισμός άντλησης μπορεί να καταργηθεί διατηρώντας τον εξοπλισμό παρακολούθησης σε λειτουργία, υπό την προϋπόθεση ότι η παρακολούθηση δεν διαταράσσεται.

Κεφάλαιο 3. Στοιχεία και Μέθοδοι Αντλητικών Δοκιμών

3.1 Τύποι υδροφορέα

Αρχικά, κρίνεται σκόπιμο να δοθούν οι ορισμοί των εννοιών υδροφόρο στρώμα και υδροφορέας. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Ζαγγανά Ε.):

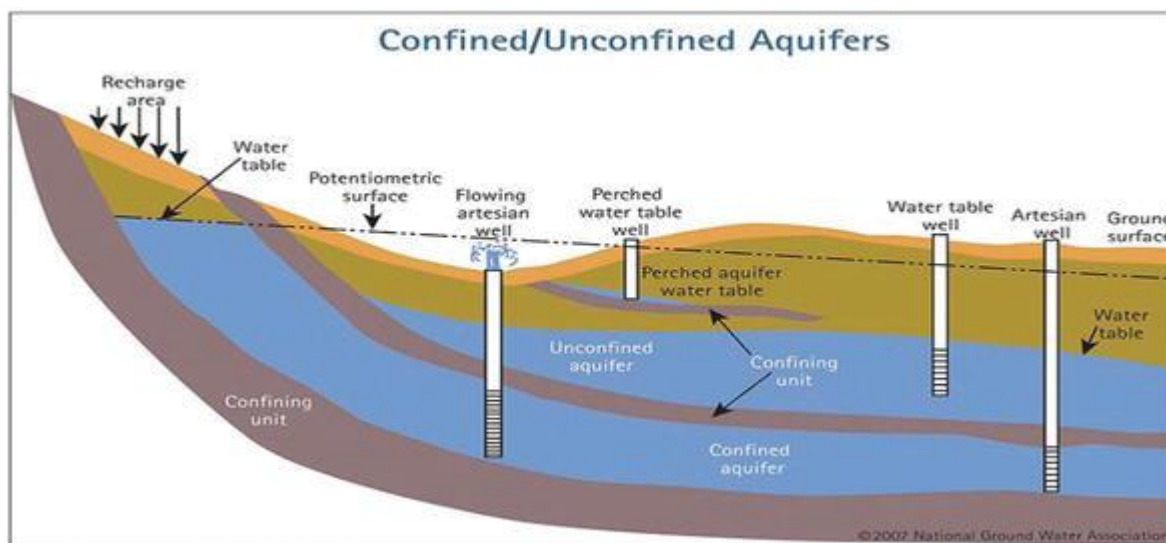
«Υδροφόρο στρώμα (aquifer) είναι το γεωλογικό στρώμα, το οποίο είναι κορεσμένο σε νερό, μαζί με το περιεχόμενο νερό. Επομένως το υδροφόρο στρώμα έχει προς τα πάνω μία επιφάνεια κορεσμού, η επιφάνεια αυτή λέγεται υδροφόρος ορίζοντας. Είναι δηλαδή μία επιφάνεια (πραγματική ή εικονική) όπου η πίεση του νερού είναι ίση με την ατμοσφαιρική. Πρόκειται δηλαδή για μια υδροστατική στάθμη.

Υδροφορέας είναι το πέτρωμα ή ο γεωλογικός σχηματισμός που περιέχει εκμεταλλεύσιμο νερό.»

Οι υδροφορείς διακρίνονται σε ελεύθερους (unconfined) και υπό πίεση (confined).

Οι υπό πίεση υδροφορείς είναι τα υδάτινα σώματα που βρίσκονται συσσωρευμένα σε ένα διαπερατό στρώμα και περικλείονται από δύο αδιαπέρατα στρώματα. Οι υπό πίεση υδροφορείς βρίσκονται κάτω από ένα περιοριστικό εδαφικό στρώμα, που συχνά αποτελείται από άργιλο ή κάτω από βραχώδη σχηματισμό, το οποίο μπορεί να προσφέρει κάποια μορφή προστασίας από την επιφανειακή ρύπανση. Τα γεωλογικά εμπόδια που είναι μη διαπερατά και βρίσκονται μεταξύ των υδροφορέων προκαλούν πίεση στο νερό που βρίσκεται μέσα σε αυτούς, η οποία είναι συγκριτικά μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική πίεση. Οι υπό πίεση υδροφορείς θα μπορούσαν επίσης να αναφέρονται ως "αρτεσιανοί υδροφορείς", οι οποίοι συνήθως βρίσκονται πάνω από τη βάση των περιορισμένων πετρωμάτων. Οι πηγές που προέρχονται από αρτεσιανούς υδροφορείς παρουσιάζουν διακυμάνσεις στα επίπεδα του νερού τους, οι οποίες οφείλονται περισσότερο στη μεταβολή της πίεσης παρά στην ποσότητα του αποθηκευμένου νερού. Όσον αφορά την αποθηκευτικότητα, οι υπό πίεση υδροφορείς έχουν πολύ χαμηλές τιμές αποθηκευτικότητας.

Οι ελεύθεροι υδροφορείς σε αντίθεση με τους υπό πίεση υδροφορείς βρίσκονται γενικά κοντά στην επιφάνεια της γης και δεν έχουν στρώματα αργίλου (ή άλλου αδιαπέρατου γεωλογικού υλικού) πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα, αν και βρίσκονται σχετικά πάνω από αδιαπέρατα στρώματα αργιλικών πετρωμάτων. Το ανώτερο όριο του υπόγειου νερού εντός του ελεύθερου υδροφορέα, είναι ο υδροφόρος ορίζοντας, το υπόγειο νερό σε έναν ελεύθερο υδροφορέα, είναι πιο ευάλωτο στη μόλυνση από επιφανειακή ρύπανση σε σύγκριση με εκείνο σε υπό πίεση υδροφορείς. Αυτό οφείλεται στην εύκολη διήθηση του υπόγειου νερού από τους ρύπους της γης. Η διακύμανση της στάθμης των υπόγειων υδάτων ποικίλλει και εξαρτάται από το αποθηκευμένο υπόγειο νερό στο χώρο του υδροφορέα, το οποίο με τη σειρά του επηρεάζει την άνοδο ή την πτώση της στάθμης του νερού στα πηγάδια που αντλούν την πηγή τους από τους υδροφορείς. Οι ελεύθεροι υδροφορείς έχουν τιμή αποθήκευσης μεγαλύτερη από τους υπό πίεση. Στο Σχήμα 3.1 φαίνονται οι ελεύθεροι και οι υπό πίεση υδροφορείς,



Σχήμα 3.1, Ελεύθεροι και υπό πίεση υδροφορείς , Πηγή: (Salako A., 2018)

3.2 Υδραυλικά χαρακτηριστικά υδροφορέα

Στην παρούσα ενότητα συνοψίζονται οι φυσικές ιδιότητες και οι παράμετροι των υδροφορέων και υδροφόρων οριζόντων που εμφανίζονται στις διάφορες εξισώσεις που περιγράφουν τη ροή σε ένα φρέαρ με άντληση.

Υδραυλική αγωγιμότητα

Ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας K (γνωστός και ως υδατοπερατότητα) μετράται σε μονάδες ταχύτητας (m/s) και αποτελεί μέτρο της ικανότητας ενός ρευστού (εν προκειμένω του νερού) να μετακινείται μέσω των διακένων ενός πορώδους μέσου. Η τιμή της εξαρτάται τόσο από το ρευστό, όσο και από το πορώδες μέσο. (Βουδούρης, 2011).

Ο ορισμός της προκύπτει από τον νόμο του Darcy. Η παροχή του νερού που περνάει μέσα από ένα πορώδες μέσο, είναι ανάλογη με τον συντελεστή υδατοπερατότητας, την διατομή αναφοράς (A), την πτώση του υδραυλικού φορτίου (Δh) και αντιστρόφως ανάλογη του μήκους ροής (L).

$$Q = K * A * \frac{\Delta h}{L} \quad (\text{Εξίσωση 3.1})$$

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται κάποιες χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας για διαφορετικούς τύπους εδαφών.

Πίνακας 3.1. Ενδεικτικά παρουσιάζονται χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας για διαφορετικούς τύπους εδαφών, Πηγή: (Σακελλαρίου Μ., 2003)

Τύπος εδάφους	k (m/s)
Χαλίκια	$10^{-2} - 1$
Άμμος με ελάχιστες προσμίξεις	$10^{-5} - 10^{-2}$
Λεπτόκοκκη άμμος, ιλυώδεις άμμος	$10^{-8} - 10^{-5}$
Πλύς, ιλυώδεις άργιλοι	$10^{-9} - 10^{-6}$
Άργιλοι	$10^{-11} - 10^{-9}$

Μεταφορικότητα

Ως μεταφορικότητα T ορίζεται το γινόμενο της μέσης υδραυλικής αγωγιμότητας (K) και του κορεσμένου πάχους του υδροφορέα (D). Μετράται σε μονάδες κινηματικού ιξώδους (m^2/s). Συνεπώς, η πρόκειται για τον ρυθμός ροής υπό υδραυλική κλίση ίση με τη μονάδα μέσω μίας διατομής μοναδιαίου πλάτους σε όλο το κορεσμένο πάχος του υδροφόρου στρώματος.

$$T = K * D \quad (\text{Εξίσωση 3.2})$$

Ο συντελεστής αυτός βρίσκει εφαρμογή σε μονοδιάστατες και διδιάστατες ροές, μέσω ομογενούς στρώματος. Αντιθέτως, δεν έχει νόημα για πιο

σύνθετες ροές σε τρεις διαστάσεις (Κουτσογιάννης Δ. & Ξανθόπουλος Θ., 2016).

Αποθηκευτικότητα

Ως αποθηκευτικότητα S ορίζεται ο όγκος νερού που απομακρύνεται από ένα υδροφορέα (ΔV) ανά μονάδα οριζόντιας επιφάνειας του υδροφορέα (F) και ανά μονάδα μείωσης του υδραυλικού ύψους (Δh), δηλαδή:

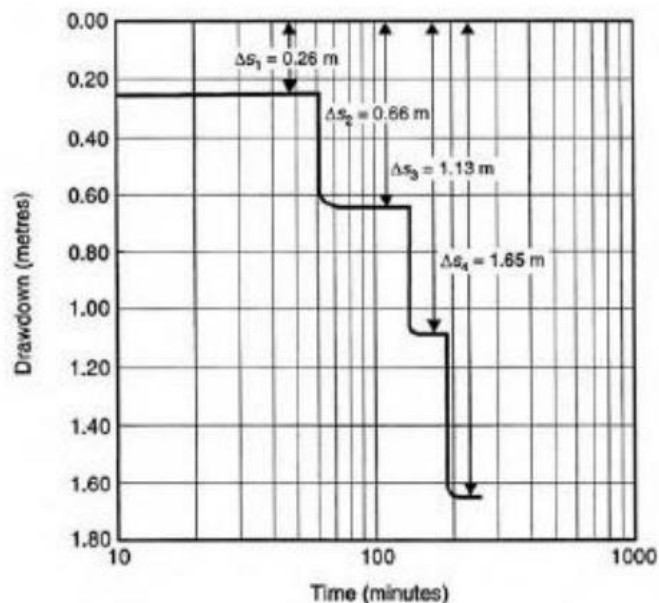
$$S = \frac{\Delta V}{F \cdot \Delta h} \quad (\text{Εξίσωση 3.3})$$

Πρόκειται για αδιάστατο μέγεθος, καθώς περιλαμβάνει έναν όγκο νερού ανά όγκο υδροφορέα.

3.3 Μέθοδοι δοκιμαστικών αντλήσεων

Αντλήσεις κατά βαθμίδες

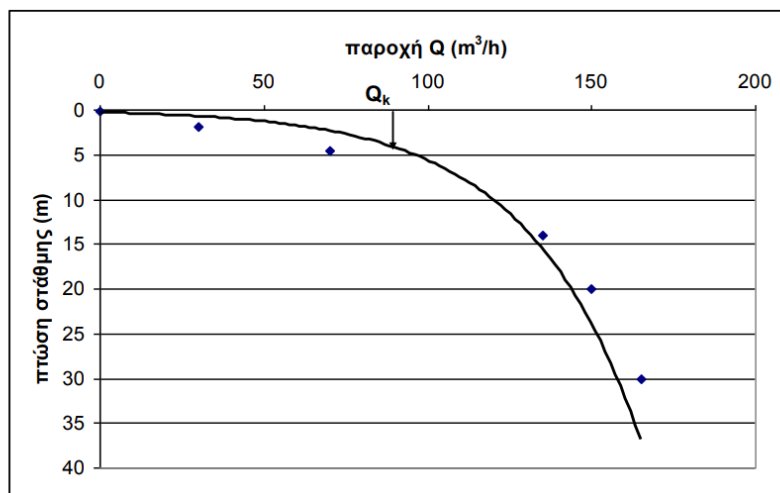
Για τον προσδιορισμό των διαφόρων χαρακτηριστικών μιας γεώτρησης και τον έλεγχο της για την ορθή λειτουργία, εκτελούνται δοκιμαστικές αντλήσεις κατά βαθμίδες (step - drawdown tests). Η άντληση γίνεται κατά βαθμίδες με μεταβαλλόμενη παροχή, είτε συνεχόμενη, χωρίς δηλαδή να σταματήσει η άντληση αυξάνεται η παροχή άντλησης, είτε διακοπτόμενη, δηλαδή αντλείται με μια συγκεκριμένη παροχή και μετά διακόπτεται η άντληση και αφού επανέλθει η στάθμη ξεκινάει η άντληση με νέα παροχή. Σημειώνεται ότι οι βαθμίδες άντλησης πρέπει να είναι τουλάχιστον 3 ή 4, με διάρκεια 3 ωρών έκαστος). Στο Σχήμα 3.2 φαίνεται η άντληση με βαθμίδες.



Σχήμα3.2. Αντληση με βαθμίδες, Πηγή: (Βουδούρης, 2011)

Χαρακτηριστική καμπύλη κρίσιμης παροχής

Για τον προσδιορισμό της κρίσιμης παροχής και της παροχής εκμετάλλευσης μιας γεώτρησης κατασκευάζεται το διάγραμμα πτώσης στάθμης-παροχής, και αποτελεί από τη χαρακτηριστική καμπύλη της γεώτρησης. Για την συγκεκριμένη χάραξη απαιτείται δοκιμαστική άντληση κατά βαθμίδες με τουλάχιστον τρεις (3) διαφορετικές παροχές. Το διάγραμμα αποτελείται αρχικά από ένα ευθύγραμμο τμήμα, από ένα μεσαίο που είναι αρκετά κυρτό και τέλος ένα λιγότερο κυρτό (παραβολική μορφή), που τείνει να γίνει παράλληλο με τον κατακόρυφο άξονα. Με βάση τα παραπάνω, η κρίσιμη παροχή καθορίζεται από το σημείο όπου η καμπύλη του διαγράμματος γίνεται από ευθεία κυρτή με το σημείο προβολής του στον οριζόντιο άξονα. Στο Σχήμα 3.3 φαίνεται η χαρακτηριστική καμπύλη γεώτρησης σε ελεύθερο υδροφόρα.



Σχήμα 3.3. Χαρακτηριστική καμπύλη γεώτρησης σε ελεύθερο υδροφόρο, Πηγή: (Βουδούρης, 2011)

Αντλήσεις με σταθερή παροχή

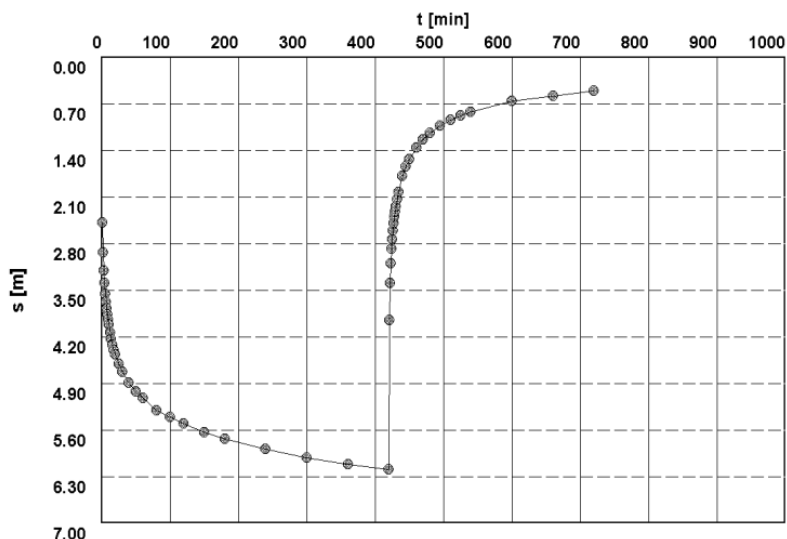
Για τον προσδιορισμό των υδραυλικών παραμέτρων μιας γεώτρησης, εκτελούνται δοκιμαστικές αντλήσεις με σταθερή παροχή. Από τα αποτελέσματα των αντλήσεων αυτών και συγκεκριμένα την πτώση στάθμης, προκύπτουν τα δεδομένα εκείνα που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των μεθόδων ανάλυσης.

Η διάρκεια της άντλησης σταθερής παροχής θα είναι τουλάχιστον 24 συνεχείς ώρες. Σε όλη την διάρκεια της άντλησης μετράται αδιαλείπτως η παροχή, χωριστά για κάθε γεώτρηση. Οι μετρήσεις στάθμης νερού γίνονται στο πιεζόμετρο της γεώτρησης. Κατά τις πρώτες ώρες λαμβάνονται μετρήσεις με μεγαλύτερη συχνότητα (περίπου ανά 0,5 λεπτό) και σταδιακά η συχνότητα μειώνεται (έως και ανά 60 λεπτά).

Μέθοδος επαναφοράς της στάθμης

Σκοπός της ανάλυσης του υδρογραφήματος της επαναφοράς ή επανόδου της στάθμης (recovery test), είναι ο υπολογισμός των υδραυλικών παραμέτρων, μετά τη διακοπή της άντλησης στην αντλούμενη γεώτρηση. Μετά το πέρας της δοκιμής άντλησης με σταθερή παροχή σε έναν υπό πίεση υδροφόρο, οι στάθμες του νερού στο αντλούμενο φρέαρ και τα πιεζόμετρα παρατήρησης θα αρχίσουν να επανέρχονται ως προς την αρχική θέση τους πριν την έναρξη της άντλησης. Η θεωρία για τη μέθοδο επαναφοράς της στάθμης βασίζεται στις

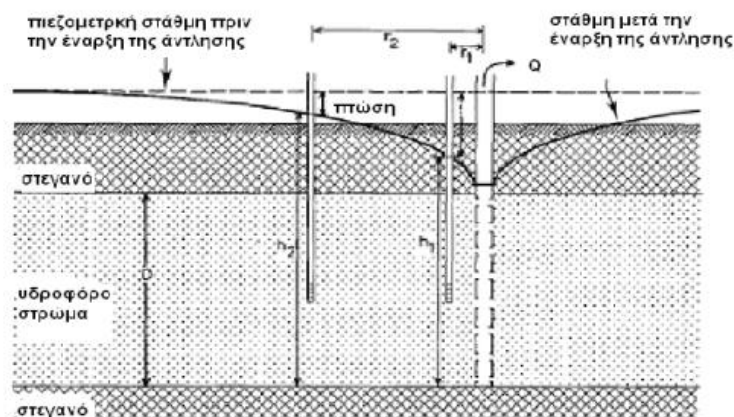
μελέτες των Theis και Cooper - Jacob. Στο Σχήμα 3.4 φαίνεται η επαναφορά της στάθμης.



Σχήμα 3.4. Επαναφορά στάθμης, Πηγή: (Βουδούρης, 2011)

3.4 Μέθοδοι ανάλυσης

Σκοπός των δοκιμών άντλησης σε υδρογεωτρήσεις είναι ο προσδιορισμός της τιμής της υδραυλικής αγωγιμότητας K , της μεταφορικότητας T και της αποθηκευτικότητας S κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Κατά τις δοκιμές αυτές, γίνεται η δοκιμαστική άντληση σε μια κύρια γεώτρηση (φρέαρ άντλησης) και παρατήρηση του κώνου πτώσης της στάθμης του νερού σε πιεζόμετρα παρατήρησης. Όταν μια γεώτρηση αντλείται, η στάθμη του υπογείου νερού γύρω από αυτήν ταπεινώνεται, σχηματίζοντας τον ανεστραμμένο κώνο πτώσης στάθμης ή κώνο άντλησης (cone of depression or pumping cone). Είναι βασικό να σημειωθεί ότι το σχήμα και το μέγεθος του κώνου εξαρτάται από την παροχή άντλησης και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα. Ο καταβιβασμός, δηλαδή η απόσταση από την αρχική στάθμη του νερού ονομάζεται πτώση στάθμης (drawdown) και μετράται κυρίως σε m. (Βουδούρης, 2011). Στο Σχήμα 3.5 φαίνεται ο κώνος πτώσης στάθμης σε αντλούμενη γεώτρηση σε υπό πίεση υδροφορέα.



Σχήμα 3.5. Κώνος πτώσης στάθμης, Πηγή (Βουδούρης, 2011)

Εάν η άντληση διαρκέσει αρκετά, η στάθμη του υπόγειου νερού φτάνει σε μια κατάσταση ισορροπίας (μόνιμη ροή, steady - state flow) και δεν παρατηρείται περαιτέρω πτώση στάθμης με τον χρόνο. Σε αυτήν την περίπτωση, ο κώνος πτώσης στάθμης σταθεροποιείται καθώς έχει φθάσει στο όριο εμπλουτισμού. Η οριζόντια απόσταση από την αντλούμενη γεώτρηση κατά την οποία δεν παρατηρείται πτώση στάθμης, δηλαδή δεν παρατηρούνται τα αποτελέσματα της άντλησης, ονομάζεται ακτίνα επίδρασης ή επιρροής της γεώτρησης (radius of influence).

Η υδραυλική κλίση του κώνου πτώσης στάθμης δημιουργεί ροή με σταθερό ρυθμό από το όριο εμπλουτισμού στη γεώτρηση, δηλαδή ο ρυθμός με τον οποίο το νερό αντλείται από τη γεώτρηση είναι ίσος με τον ρυθμό με τον οποίο ο υδροφορέας μεταφέρει νερό στη γεώτρηση. Αυτές οι συνθήκες ονομάζονται μόνιμης ροής ή ισορροπίας (steady-state conditions).

Παρόλα αυτά, πολλές δοκιμές άντλησης δεν φθάνουν την κατάσταση ισορροπίας, που σημαίνει ότι ο κώνος πτώσης στάθμης συνεχίζει να εξελίσσεται με τον χρόνο. Η ροή στις συνθήκες αυτές ονομάζεται μη μόνιμη ή ασταθής ροής (unsteady ή nonsteady ή transient flow ή nonequilibrium).

Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι επεξεργασίας και ανάλυσης των δεδομένων δοκιμαστικών αντλήσεων, και διαφέρουν μεταξύ τους ανάλογα με τις παραδοχές που πραγματοποιούνται καθώς και το όνομα τους από τους ερευνητές. Πιο συγκεκριμένα, οι κυριότερες μέθοδοι είναι:

- Η μέθοδος Dupuit – Thiem,
- Η μέθοδος των προτύπων καμπυλών ή μεθόδων Theis (1935),

- Η μέθοδος Cooper - Jacob (1946),
- Η μέθοδος Chow (1952).

Στην παρούσα εργασία εφαρμόζεται η μέθοδος Dupuit – Theim όπου είναι μη μόνιμης ροής σε ελεύθερους υδροφορείς, και η μέθοδος Cooper-Jacob όπου αναφέρεται σε μη μόνιμη ακτινική ροή σε υπό πίεση υδροφορέα αλλά μπορεί να εφαρμοστεί και σε ελεύθερους υδροφορείς.

3.4.1 Μέθοδος Dupuit – Thiem

Η μέθοδος Dupuit-Thiem, επίσης γνωστή ως θεωρία φρεάτων Dupuit-Thiem, είναι μια μαθηματική προσέγγιση που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ροής των υπόγειων υδάτων σε ελεύθερους υδροφορείς. Είναι η αρχαιότερη και ήταν ο πρώτος που συνδύασε τον νόμο του Darcy με την εξίσωση της συνέχειας για να εξάγει μια εξίσωση σε μια αντλούμενη γεώτρηση με ακτινική ροή του νερού προς αυτή. Αναπτύχθηκε από δύο διάσημους υδρογεωλόγους, τον Joseph Dupuit και τον Friedrich Thiem, τον 19ο και τις αρχές του 20ού αιώνα, αντίστοιχα.

Η μέθοδος υποθέτει ότι η ροή των υπόγειων υδάτων σε έναν ελεύθερο υδροφορέα λαμβάνει χώρα κυρίως στην οριζόντια διεύθυνση. Βασίζεται στην έννοια του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, ο οποίος αντιπροσωπεύει την επιφάνεια που διαχωρίζει τις κορεσμένες και ακόρεστες ζώνες εντός του υδροφορέα.

Η μέθοδος Dupuit-Thiem κάνει διάφορες βασικές παραδοχές:

- Συνθήκες μη σταθερής κατάστασης: Η μέθοδος υποθέτει ότι η ροή των υπόγειων υδάτων είναι δεν είναι σταθερή και μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου. Η υπόθεση αυτή είναι λογική για πολλές πρακτικές εφαρμογές όπου εξετάζονται μακροχρόνιες μέσες συνθήκες.
- Ομοιογένεια: Ο υδροφορέας θεωρείται ομοιογενής, δηλαδή οι ιδιότητές του (όπως η υδραυλική αγωγιμότητα) δεν μεταβάλλονται σημαντικά σε όλη την έκταση.
- Οριζόντια ροή: Θεωρείται ότι το υπόγειο νερό ρέει κυρίως κατά την οριζόντια διεύθυνση, κάθετα στις ισοδυναμικές γραμμές. Η υπόθεση αυτή ισχύει για ελεύθερους υδροφορείς όπου οι κλίσεις του υδροφόρου ορίζοντα είναι ήπιες.

Η μέθοδος περιλαμβάνει τη μέτρηση του καταβιβασμού του υδροφόρου ορίζοντα σε δύο ή περισσότερα φρέατα παρατήρησης, που βρίσκονται σε γνωστές αποστάσεις από ένα φρέαρ άντλησης. Με την ανάλυση των δεδομένων του καταβιβασμού, μπορεί να εκτιμηθεί η υδραυλική αγωγιμότητα (διαπερατότητα) K και η μεταφορικότητα T του υδροφορέα.

Η μέθοδος Duroit-Thiem υπολογίζει τη μέση γραμμική ταχύτητα ροής του υπόγειου νερού μεταξύ των φρεατίων παρατήρησης. Προκύπτει υποθέτοντας ότι η ροή είναι ομοιόμορφη και λαμβάνει χώρα σε ακτινική διάταξη γύρω από το φρέαρ άντλησης. Οι σχετικές εξισώσεις φαίνονται παρακάτω:

$$T = Q \frac{\ln(r/r_w)}{2\pi(s_1 - s_2)} \quad (\text{Εξίσωση 3.4})$$

$$K = Q \frac{\ln(r/r_w)}{\pi(h_0^2 - h_w^2)} \quad (\text{Εξίσωση 3.5})$$

Όπου:

T (m^2/s) η μεταφορικότητα του υδροφορέα (υδραυλική αγωγιμότητα επί το πάχος του υδροφορέα)

Q (m^3/h) ο ρυθμός εκροής του υδροφορέα

r_w (m) η ακτίνα του φρέατος άντλησης

r (m) η υδραυλική ακτίνα επιρροής

s_1 (m) η πτώση στάθμης στο φρέαρ άντλησης

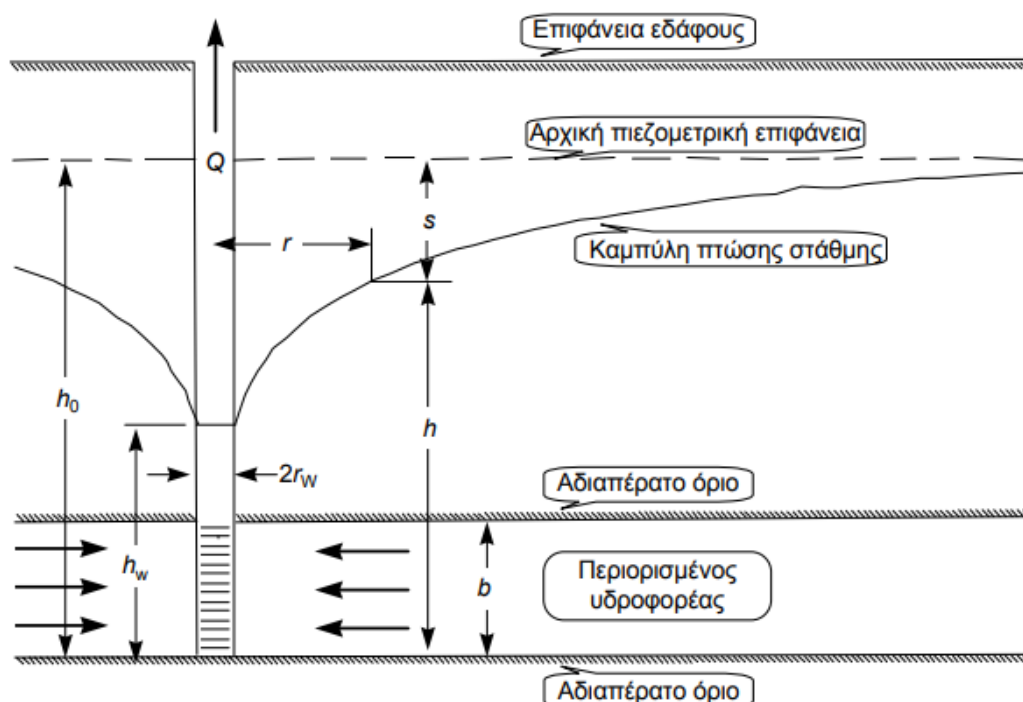
s_2 (m) η πτώση στάθμης στο φρέαρ παρατήρησης

K (m/s) η υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφορέα

h_0 (m) (όπου $h_0 = D$ το κορεσμένο πάχος του υδροφορέα)

$h_w = h_0 - s_1$

Με τη χρήση αυτής της μεθόδου, οι υδρογεωλόγοι μπορούν να εκτιμήσουν τις υδραυλικές ιδιότητες ενός ελεύθερου υδροφορέα και να λάβουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με τη διαχείριση των υπόγειων υδάτων και το σχεδιασμό των γεωτρήσεων. Παρέχει μια απλουστευμένη προσέγγιση για την κατανόηση της ροής των υπόγειων υδάτων σε ελεύθερους υδροφορείς, αν και έχει περιορισμούς και μπορεί να μην είναι εφαρμόσιμη σε όλες τις υδρογεωλογικές συνθήκες. (Kruseman & Ridder, 1994). Στο Σχήμα 3.6 φαίνεται η καμπύλη πτώσης στάθμης.



Σχήμα 3.6. Καμπύλη πτώσης στάθμης, Πηγή (Κουτσογιάννης Δ. & Ξανθόπουλος Θ., 2016)

3.4.2 Μέθοδος Theis (1935)

Η μέθοδος Theis είναι μια μαθηματική λύση που χρησιμοποιείται για την ανάλυση του καταβιβασμού σε ένα φρέαρ άντλησης και την εκτίμηση των υδραυλικών ιδιοτήτων ενός υδροφορέα. Αναπτύχθηκε από τον υδρογεωλόγο Charles Theis το 1935 και έκτοτε έχει γίνει ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο εργαλείο στην υδρολογία των υπόγειων υδάτων.

Η μέθοδος Theis βασίζεται σε διάφορες βασικές παραδοχές (Καλλέργης Γ.Α., 1999):

- Ομοιογενής υδροφορέας: Η μέθοδος υποθέτει ότι ο υδροφορέας που αναλύεται είναι ομοιογενής, έχει σταθερές ιδιότητες σε όλο το μήκος του και ομοιόμορφο πάχος.
- Άπειρη ακτινική έκταση: Υποθέτει ότι το φρέαρ άντλησης βρίσκεται σε έναν μεγάλο, απεριόριστο υδροφορέα, που εκτείνεται απεριόριστα προς όλες τις κατευθύνσεις.
- Σταθερή ροή: Η μέθοδος υποθέτει ότι η ροή του υπόγειου νερού παραμένει σταθερή με την πάροδο του χρόνου.

- Σταθερός ρυθμός άντλησης: Υποθέτει ότι ο ρυθμός άντλησης από το φρέαρ παραμένει σταθερός καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου ανάλυσης.
- Η πιεζομετρική επιφάνεια είναι οριζόντια πριν την άντληση.
- Η γεώτρηση είναι πλήρης, δηλαδή διαπερνά όλο το πάχος του υδροφόρου και η ροή σε αυτόν είναι παντού οριζόντια.
- Η διάμετρος του φρέατος είναι μικρή, οπότε η αποθήκευση στο φρέαρ είναι αμελητέα.
- Το νερό που αντλείται απελευθερώνεται στιγμιαία με την πτώση στάθμης.

Ο καταβιβασμός είναι η πτώση της στάθμης του νερού σε ένα φρέαρ λόγω άντλησης. Η μέθοδος Theis επικεντρώνεται στην ανάλυση των δεδομένων καταβιβασμού που παρατηρούνται στο φρέαρ άντλησης με την πάροδο του χρόνου.

Η κεντρική εξίσωση της μεθόδου Theis έχει ως εξής:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (\text{Εξίσωση 3.6})$$

$$W_u = -0.5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \frac{u^4}{4 \cdot 4!} \pm \dots \quad (\text{Εξίσωση 3.7})$$

$$u = \frac{r^2 S}{4\epsilon t T} \quad (\text{Εξίσωση 3.8})$$

(Καλλέργης Γ.Α., 1999)

Όπου:

s (m) ο καταβιβασμός της στάθμης στο φρέαρ άντλησης.

Q (m³/s) ο ρυθμός άντλησης ή η παροχή.

T (m²/s) η μεταφορικότητα του υδροφορέα.

W(u) η συνάρτηση φρέατος, μια μαθηματική συνάρτηση που εξαρτάται από μια παράμετρο χωρίς διαστάσεις που ονομάζεται u.

t (s) ο χρόνος που παρήλθε από την έναρξη της άντλησης.

r (m) η ακτινική απόσταση από το φρέαρ άντλησης έως το σημείο παρατήρησης.

S η αποθηκευτικότητα του υδροφορέα.

3.4.3 Μέθοδος Cooper – Jacob (1946)

Η μέθοδος Cooper-Jacob (1946) είναι μια απλοποίηση της μεθόδου Theis (1935). Αρχικά, η μέθοδος αναπτύχθηκε για υδροφορείς που είναι υπό πίεση (confined aquifers). Ωστόσο, αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται επίσης σε υδροφορείς που είναι ελεύθεροι (unconfined aquifers), όταν η συνολική μείωση της στάθμης του νερού είναι μικρή (λιγότερη από 5% του πάχους του υδροφορέα). Η πτώση στάθμης δίνεται από την εξίσωση:

$$s = \frac{2,3Q}{4\pi T} \text{Log}_{10}\left(\frac{2,25Tt}{r^2 S}\right) \quad (\text{Εξίσωση 3.9})$$

η οποία ισχύει για μεγαλύτερες τιμές χρόνου άντλησης και μικρότερες αποστάσεις από το φρέαρ άντλησης (δηλαδή μικρότερες τιμές του u). Ισχύει για συνθήκες μη μόνιμης ροής.

Εάν ο καταβίβασμός της στάθμης είναι μεγάλος σε σύγκριση με το αρχικό κορεσμένο πάχος του υδροφορέα, τότε προτείνεται η διόρθωση των μετρήσεων καταβίβασμού της στάθμης από την εξίσωση (Kruseman & Ridder, 1994):

$$s' = s - \frac{s^2}{2D} \quad (\text{Εξίσωση 3.10})$$

Όπου

s (m) η πτώση στάθμης που μετρήθηκε.

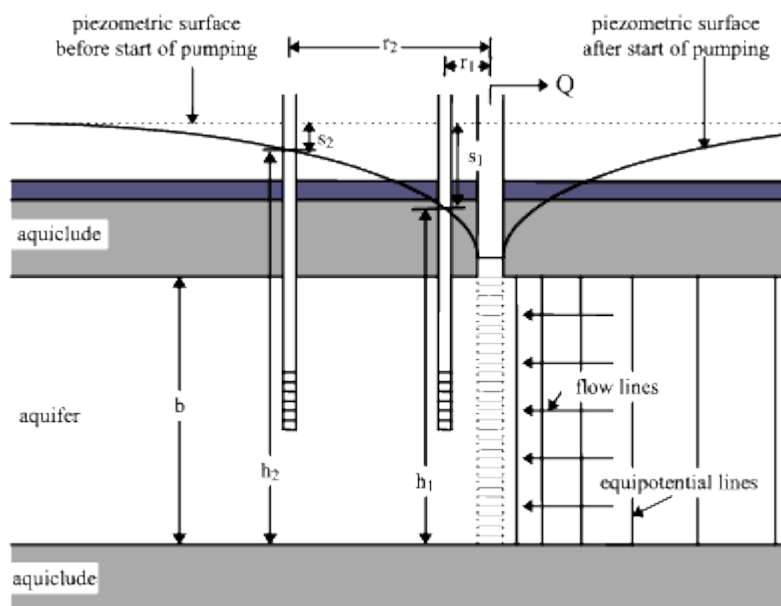
s' (m) η πτώση στάθμης μετά τη διόρθωση.

D (m) το κορεσμένο πάχος του υδροφορέα.

Η υδραυλική αγωγιμότητα K (m/s) δίνεται στην εξίσωση:

$$K = \frac{T}{D} \quad (\text{Εξίσωση 3.11})$$

Στο σχήμα 3.7 φαίνονται οι συνθήκες για τις οποίες ικανοποιείται η εξίσωση αυτή.



Σχήμα 3.7. Συνθήκες ικανοποίησης σχέσεων Cooper Jacob Πηγή
(www.waterloohydrogeologic.com, 2022)

Η παραπάνω εξίσωση απεικονίζεται ως ευθεία γραμμή σε ένα ημιλογαριθμικό διάγραμμα. Έτσι, μπορούμε να απεικονίσουμε ευθείες γραφικές παραστάσεις του καταβιβασμού της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα σε σχέση με το χρόνο μετά την πάροδο επαρκούς χρόνου. Σε δοκιμές άντλησης με πολλαπλά φρέατα παρατήρησης, τα πλησιέστερα φρέατα θα πληρούν τις συνθήκες πριν από τα πιο απομακρυσμένα. Ο χρόνος απεικονίζεται κατά μήκος του λογαριθμικού άξονα X και ο καταβιβασμός της στάθμης απεικονίζεται κατά μήκος του γραμμικού άξονα Y.

Η μεταφορικότητα (m^2/s) δίνεται στην εξίσωση:

$$T = \frac{2,3Q}{4\pi\Delta s} \quad (\text{Εξίσωση 3.12})$$

Όπου Δs (m) είναι η τιμή του του καταβιβασμού της στάθμης που αντιστοιχεί σε ένα λογαριθμικό κύκλο.

Η αποθηκευτικότητα δίνεται στην εξίσωση:

$$S = \frac{2,25Tt_0}{r^2} \quad (\text{Εξίσωση 3.13})$$

Όπου t_0 είναι η τιμή του χρόνου που αντιστοιχεί με την τομή της ευθείας στον άξονα X.

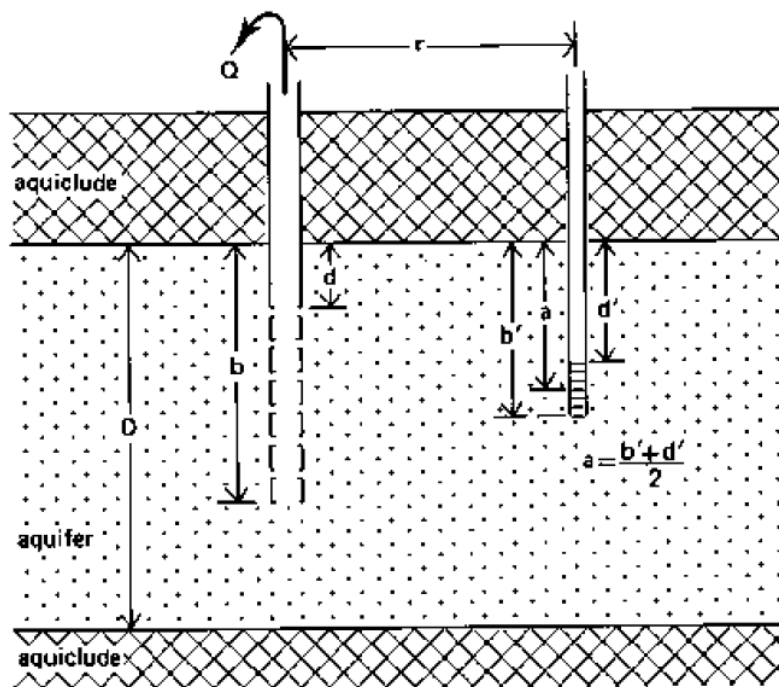
Για την εκτίμηση της αποθηκευτικότητας S στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε η τροποποιημένη κατά Hantush (1962) μέθοδος των Cooper-Jacob για μερικώς διαπερνώμενο υδροφορέα (Partially Penetrating Aquifer):

$$S = \frac{2,25Tt_0}{r^2} e^{f_s} \quad (\text{Εξίσωση 3.14})$$

Όπου f_s η συνάρτηση Hantush η οποία είναι σταθερή για κάθε ζεύγος Φρέαρ Αντλησης – Φρέαρ Παρατήρησης και εξαρτάται από το πάχος του υδροφορέα, το διάτρητο τμήμα των πιεζομέτρων και την απόσταση του πιεζομέτρου παρατήρησης από το φρέαρ άντλησης. Υπολογίζεται από το άθροισμα της σειράς:

$$f_s = \frac{4D}{\pi(b-d)} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{n}\right) K_0\left(\frac{n\pi r}{D}\right) \left\{ \left(\cos \frac{n\pi a}{D}\right) \right\} \left\{ \left(\sin \frac{n\pi b}{D}\right) - \left(\sin \frac{n\pi d}{D}\right) \right\} \quad (\text{Εξίσωση 3.15})$$

Στο Σχήμα 3.8 φαίνονται οι συνθήκες για τις οποίες ικανοποιείται η εξίσωση αυτή.



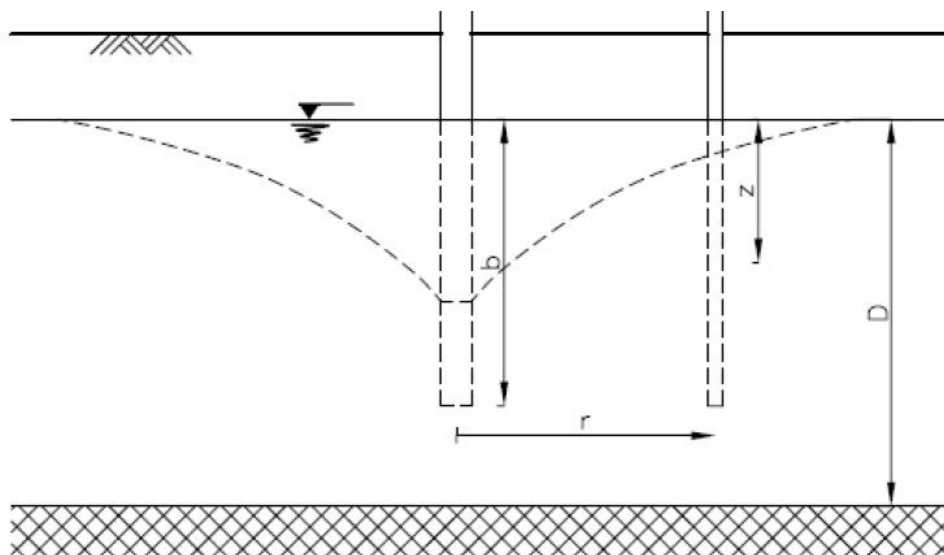
Σχήμα 3.8. Συνθήκες ικανοποίησης σχέσεων Hantush Πηγή (Kruseman & Ridder, 1994)

Λόγω της πολύ μικρής τιμής του d , αγνοείται ο όρος και η εξίσωση παίρνει την μορφή:

$$f_s = \frac{4D}{\pi b} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{n}\right) K_0\left(\frac{n\pi r}{D}\right) \left(\sin \frac{n\pi b}{D}\right) \left(\cos \frac{n\pi z}{D}\right) \quad (\text{Εξίσωση 3.16})$$

όπου K_0 ο συντελεστής BesselK

Στο Σχήμα 3.9 φαίνονται οι συνθήκες για τις οποίες ικανοποιείται η εξίσωση αυτή.



Σχήμα 3.9. Συνθήκες ικανοποίησης απλοποιημένων σχέσεων Hantush Πηγή
(ΟΤΜ, 2014)

3.4.4 Μέθοδος Chow (1952)

Η μέθοδος Chow (1952), αποτελεί μια μεταγενέστερη μέθοδο ανάλυσης και για τον λόγο αυτό πλεονεκτεί έναντι των προαναφερθέντων. Αφενός αποφεύγει τη σύμπτωση καμπυλών που απαιτεί η μέθοδος Theis, αφετέρου δεν έχει περιορισμένη χρήση όπως η μέθοδος Cooper – Jacob (Andreadis I. & Morfopoulos Z., 1993). Ωστόσο γενικά δεν χρησιμοποιείται με την ίδια συχνότητα με τις άλλες μεθόδους.

Συνοπτικά, για τη μέθοδο Chow κατασκευάζεται η ημιλογαριθμική παράσταση πτώσης στάθμης προς χρόνο, επιλέγεται τυχαίο σημείο και υπολογίζεται πτώση στάθμης ανά λογαριθμικό κύκλο του σημείου. Τέλος υπολογίζεται το $F(u)=s/\Delta s$ και βρίσκονται οι τιμές του $W(u)$ και u από το νομόγραμμα του Chow (Καλλέργης Γ.Α., 1999).

Κεφάλαιο 4. Στοιχεία Περιοχής του Έργου και Φρεάτων Αντλησης

4.1 Φρέατα άντλησης και πιεζόμετρα παρατήρησης

Τα φρέατα άντλησης και τα πιεζόμετρα παρατήρησης, αποτελούν εργαλεία της υδρογεωλογίας και χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση και την παρακολούθηση του υπεδάφους και των υδρολογικών φαινομένων.

Τα φρέατα άντλησης είναι γεωτρήσεις που κατασκευάζονται στο υπέδαφος για την άντληση υπογείων νερών. Συνήθως, η άντληση γίνεται με τη χρήση αντλιών νερού, που εισάγονται στο φρέαρ και εξάγουν το νερό στην επιφάνεια. Τα πιεζόμετρα παρατήρησης, είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της υδροστατικής πίεσης του υπογείου νερού. Τοποθετούνται σε φρέατα και προσφέρουν πληροφορίες σχετικά με τη στάθμη του υπόγειου νερού, την ροή του και τις αλλαγές που ενδέχεται να συμβούν στο χρόνο.

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 1 για το Μετρό Θεσσαλονίκης Επέκταση Καλαμαριάς κατασκευάστηκαν πέντε (5) φρέατα άντλησης, μία σε κάθε νέο σταθμό της επέκτασης της χάραξης: Νομαρχία, Καλαμαριά, Αρετσού, Νέα Κρήνη και Μίκρα.

Σύμφωνα με τα στοιχεία καταγραφής της Ο.Τ.Μ. Α.Τ.Ε. (ΟΤΜ, 2014), «Για την παρακολούθηση της μεταβολής της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα περί το φρέαρ άντλησης χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω πιεζόμετρα:

- Σταθμός Νομαρχία: Χ.Θ. 1+037 ÷ Χ.Θ. 1+098.
Στη περιοχή του σταθμού Νομαρχία κατασκευάστηκε το φρέαρ άντλησης KASW21. Ως φρέατα παρατήρησης, χρησιμοποιήθηκαν τα πιεζόμετρα KASP21, KASP22 και T20P003.
- Σταθμός Καλαμαριά: Χ.Θ. 1+941 ÷ Χ.Θ. 2+002.
Στη περιοχή του σταθμού Καλαμαριά κατασκευάστηκε το φρέαρ άντλησης KBSW21. Ως φρέατα παρατήρησης, χρησιμοποιήθηκαν τα πιεζόμετρα T20P008, T20P037, T20P040.
- Σταθμός Αρετσού: Χ.Θ. 2+666 ÷ Χ.Θ. 2+727.
Στη περιοχή του σταθμού Αρετσού κατασκευάστηκε το φρέαρ άντλησης

KCSW21. Ως φρέατα παρατήρησης, χρησιμοποιήθηκαν τα πιεζόμετρα KCSP22, KCSP23 και T20P010.

- Σταθμός Νέα Κρήνη: Χ.Θ. 3+583 ÷ Χ.Θ. 3+643. Στη περιοχή του σταθμού Ν. Κρήνη, ανορύχθηκε η γεώτρηση KDSW21 η οποία χρησιμοποιήθηκε ως φρέαρ άντλησης. Ως φρέατα παρατήρησης χρησιμοποιήθηκαν τα πιεζόμετρα KDSP21 T20P014 και T20P054.

- Σταθμός Μίκρα: Χ.Θ. 4+185 ÷ Χ.Θ. 4+251. Στη περιοχή του σταθμού Μίκρα, ανορύχθηκε η γεώτρηση KESW21 η οποία χρησιμοποιήθηκε ως φρέαρ άντλησης. Ως φρέατα παρατήρησης, χρησιμοποιήθηκαν τα πιεζόμετρα KECSP22, KECSP24 και T20P065. »

Στο Σχήμα 4.1 φαίνονται οι θέσεις των πέντε σταθμών Μετρό Θεσσαλονίκης Επέκτασης Καλαμαριάς.



Σχήμα 4.1. Θέσεις σταθμών Μετρό Θεσσαλονίκης Επέκτασης Καλαμαριάς, Πηγή: (Αττικό Μετρό)

4.2 Γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες στην περιοχή του έργου

Με βάση προγενέστερες γεωλογικές μελέτες, που είχαν πραγματοποιηθεί στην περιοχή, μας δίνεται η εικόνα για το γεωλογικό υπόβαθρο και τη στρωματογραφική διάρθρωση. Σύμφωνα με τη μελέτη της Ο.Τ.Μ. Α.Τ.Ε. (ΟΤΜ, 2014),

«Οι δύο γεωλογικές ενότητες που συναντώνται μέχρι το βάθος που κατασκευάζονται οι υπόγειοι σταθμοί είναι οι παρακάτω:

- **ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ (ΟΛΟΚΑΙΝΟ)**

Ολοκαινικές αδιαίρετες αποθέσεις που αποτελούν προσχώσεις πεδιάδων, από καστανές έως καστανέρυθρες αμμώδεις Αργίλους με ασβεστιτικά συγκρίματα.

- **ΝΕΟΓΕΝΕΣ (ΑΝ. ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ - ΚΑΤ. ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ)**

Ψαμμιτομαργαϊκή Σειρά: αποτελείται από εύθρυπτους έως πολύ συμπαγείς Ψαμμίτες, καστανή έως τεφρή/ μωβ Αργιλώδη /Ιλυώδη Άμμο.

Και οι πέντε (5) σταθμοί πρόκειται να κατασκευασθούν εντός της Ψαμμιτομαργαϊκής σειράς.

Οι γεωτεχνικοί σχηματισμοί που διακρίθηκαν στους σταθμούς με βάση τα αποτελέσματα των γεωτεχνικών ερευνών, είναι οι ακόλουθοι:

- Ο γεωτεχνικός σχηματισμός (BC1) αποτελούμενος από συνεκτική έως στιφρή, καστανή, αμμώδης ισχνή ΑΡΓΙΛΟ/ ΙΛΥ τοπικά με ασβεστιτικά συγκρίματα. Συναντάται μόνο επιφανειακά και σε μικρά πάχη όπου αυτός εμφανίζεται.

- Ο γεωτεχνικός σχηματισμός (BC2), που συναντάται βαθύτερα, αποτελείται από στιφρή έως σκληρή, ανοιχτή καστανή έως μπεζ ΑΡΓΙΛΟ μέσης έως υψηλής πλαστικότητας (CL/CH) ή ΙΛΥ υψηλής πλαστικότητας (MH) με τοπική παρουσία ασβεστιτικών συγκριμάτων. Τοπικά ο σχηματισμός μπορεί να εμφανίζεται, λόγω διαγένεσης, ως σχηματισμός ασθενών ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΩΝ/ ΙΛΥΟΛΙΘΩΝ.

- Ο γεωτεχνικός σχηματισμός (BC3) που συναντάται βαθύτερα και αποτελείται από πολύ στιφρή ανοιχτή καστανή ή καστανοπράσινη ΑΡΓΙΛΟ μέσης έως υψηλής πλαστικότητας (CL/CH) ή ΙΛΥ υψηλής πλαστικότητας (MH), με άμμο και συχνές ενστρώσεις Αργιλώδους/ Ιλυώδους ΑΜΜΟΥ (SC/SM).

- Ο γεωτεχνικός σχηματισμός (BS1) αποτελείται από μέτρια πυκνή έως πολύ πυκνή καστανή ή τεφρή/ μωβ, Αργιλώδη/ Ιλυώδη ΑΜΜΟ (SC/SM) με σποραδικές ενστρώσεις σιμεντωμένων ΑΜΜΩΝ - ΨΑΜΜΙΤΩΝ. Συναντάται γενικώς σε ενστρώσεις μέσα στους συνεκτικούς σχηματισμούς και αποτελεί τον πιο διαπερατό ορίζοντα της υπό μελέτη περιοχής.

- Ο γεωτεχνικός σχηματισμός (BM1) εμφανίζεται μόνο στο σταθμό Μίκρα. Αποτελείται από στιφρή έως σκληρή ανοιχτή καστανή έως μπεζ ελαστική Ιλύ (MH) με ασβεστιτικά συγκρίματα.

Από τα αποτελέσματα των επιτόπου δοκιμών διαπερατότητας που εκτελέστηκαν στα πλαίσια των γεωτεχνικών ερευνών, προκύπτουν ανά σταθμό τα παρακάτω:

Σταθμός Νομαρχία

Οι σχηματισμοί που δομούν την περιοχή του σταθμού Νομαρχία είναι χαμηλής υδραυλικής αγωγιμότητας με τιμές που κυμαίνονται από 6.99×10^{-8} m/s έως 7.30×10^{-6} m/s με μέση τιμή ίση με 9.32×10^{-6} m/s. Η υδραυλική αγωγιμότητα του σχηματισμού (BS1), θεωρείται πολύ χαμηλή έως χαμηλή με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 8.92×10^{-8} m/s και 7.30×10^{-6} m/s, με μέση τιμή 1.81×10^{-6} m/s. Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται σε βάθος που κυμαίνεται από 4.20 m έως 8.65 m από την επιφάνεια του εδάφους.

Σταθμός Καλαμαριά

Οι σχηματισμοί που δομούν την περιοχή του σταθμού Καλαμαριά είναι πολύ χαμηλής υδραυλικής αγωγιμότητας με τιμές που κυμαίνονται από 2.90×10^{-9} m/s έως 3.17×10^{-7} m/s και μέση τιμή 9.78×10^{-8} m/s. Η υδραυλική αγωγιμότητα του σχηματισμού (BS1), θεωρείται πολύ χαμηλή με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 5.54×10^{-9} m/s και 2.25×10^{-7} m/s με μέση τιμή ίση με 1.07×10^{-7} m/s. Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται σε βάθος που κυμαίνεται από 6.35 m έως 7.10 m.

Σταθμός Αρετσού

Στην περιοχή του σταθμού Αρετσού οι σχηματισμοί είναι χαμηλής υδραυλικής αγωγιμότητας με τιμές από 3.59×10^{-7} m/s έως 5.17×10^{-6} m/s και μέση τιμή 1.23×10^{-6} m/s. Η υδραυλική αγωγιμότητα του σχηματισμού (BS1), θεωρείται χαμηλή με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 3.59×10^{-7} m/s και 1.57×10^{-6} m/s, με μέση τιμή 9.72×10^{-7} m/s. Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στη περιοχή του σταθμού βρίσκεται σε βάθος που κυμαίνεται από 13.0 m έως 17.05 m.

Σταθμός Νέα Κρήνη

Οι σχηματισμοί που δομούν την περιοχή του σταθμού Νέα Κρήνη είναι πολύ χαμηλής υδραυλικής αγωγιμότητας με τιμές από 8.16×10^{-9} m/s έως 5.14×10^{-7} m/s και μέση τιμή 1.74×10^{-7} m/s. Η υδραυλική αγωγιμότητα του σχηματισμού (BS1), θεωρείται πολύ χαμηλή με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 2.70×10^{-8}

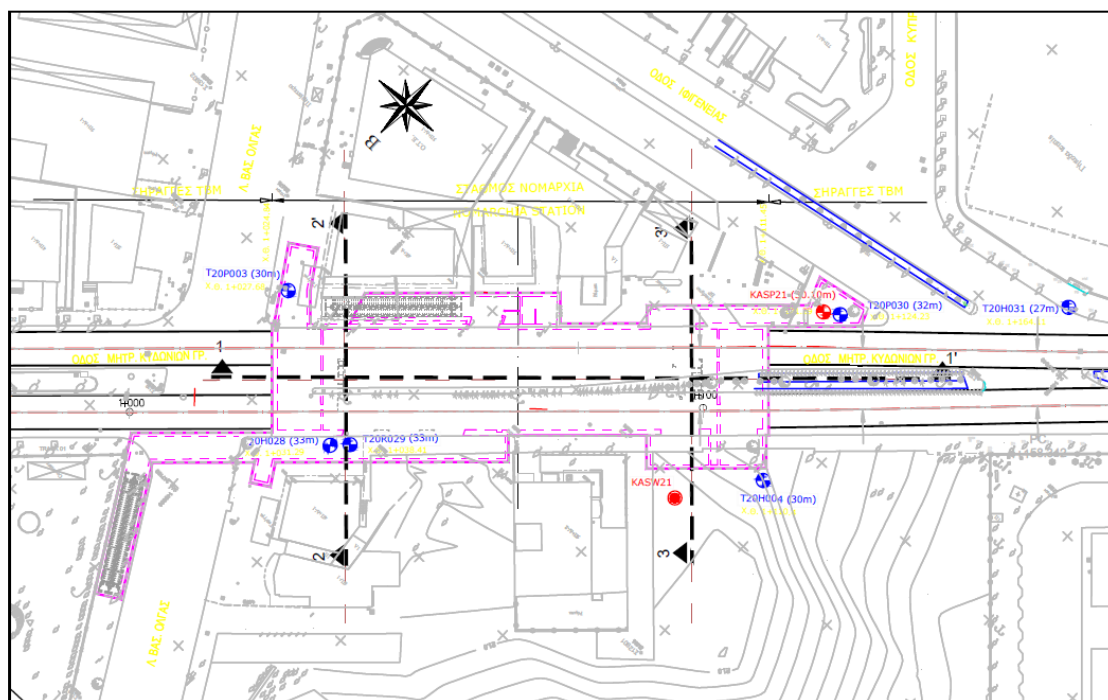
Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

m/sec και $2.26 \times 10^{-7} m/s$ με μέση τιμή $1.29 \times 10^{-7} m/s$. Η στάθμη του υδροφόρου ορίζονται βρίσκεται σε βάθος που κυμαίνεται από 5.90 m έως 6.90 m.

Σταθμός Μίκρα

Οι σχηματισμοί που δομούν την περιοχή του σταθμού Μίκρα είναι πολύ χαμηλής υδραυλικής αγωγιμότητας με τιμές από $6.77 \times 10^{-8} m/s$ και $9.52 \times 10^{-6} m/s$ και μέση τιμή $1.21 \times 10^{-6} m/s$. Ο σχηματισμός (BS1) παρουσιάζει υδραυλικές αγωγιμότητες που κυμαίνονται μεταξύ $1.64 \times 10^{-7} m/s$ και $1.44 \times 10^{-6} m/s$ με μέση τιμή $8.37 \times 10^{-7} m/s$ (χαμηλή). Η στάθμη του υδροφόρου ορίζονται στη περιοχή του σταθμού βρίσκεται σε βάθος που κυμαίνεται από 5.95 m έως 7.10 m.»

Στο Σχήμα 4.2 φαίνεται η γενική οριζοντιογραφία του Σταθμού Νομαρχία,



Σχήμα 4.2, Γενική οριζοντιογραφία Σταθμός Νομαρχία (εκτός κλίμακας), Πηγή: (ΟΤΜ, 2014)

Κεφάλαιο 5. Αντληση με Βαθμίδες

Σε κάθε έναν από τους πέντε σταθμούς μετρό (Νομαρχία, Καλαμαριά, Αρετσού, Νέα Κρήνη και Μίκρα) σύμφωνα με την προδιαγραφή ISO 22282-4, πραγματοποιήθηκαν αντλήσεις με βαθμίδες, σε κάθε φρέαρ άντλησης, με σκοπό την εύρεση της κρίσιμης παροχής Q_c σε καθένα από αυτά. Η παροχή σε κάθε βαθμίδα άντλησης αυξάνεται και σε περίπτωση που το φρέαρ άντλησης αδειάσει, δεν προστίθεται επιπλέον βαθμίδα. Στον Πίνακα 5.1 δίνονται, για κάθε φρέαρ άντλησης, η στάθμη άντλησης, οι βαθμίδες άντλησης καθώς, η παροχή και ο χρόνος άντλησης για κάθε μία από αυτές.

Πίνακας 5.1 Στάθμη άντλησης, βαθμίδες άντλησης, παροχή και χρόνος άντλησης για κάθε σταθμό

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΦΡΕΑΡ ΑΝΤΛΗΣΗΣ	ΣΤΑΘΜΗ ΑΝΤΛΗΣΗΣ (m)	1η Βαθμίδα Άντλησης		2η Βαθμίδα Άντλησης		3η Βαθμίδα Άντλησης		4η Βαθμίδα Άντλησης	
		(m)	Q (m ³ /h)	t (h)	Q (m ³ /h)	t (h)	Q (m ³ /h)	t (h)	Q (m ³ /h)	t (h)
ΝΟΜΑΡΧΙΑ	KASW21	26,00	0,2	1	-	-	-	-	-	-
ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ	KBSW21	25,90	0,69	2	1,32	1	1,76	1	2,15	1
ΑΡΕΤΣΟΥ	KCSW21	29,50	0,66	2	1,06	1	1,4	0,5	-	-
ΝΕΑ ΚΡΗΝΗ	KDSW21	26,00	0,39	2	0,57	1	0,71	5 min	-	-
ΜΙΚΡΑ	KESW21	26,00	0,15	2	0,21	1	0,26	1	0,34	0,5

Στην τοποθεσία του σταθμού Νομαρχία, στο φρέαρ KASW21, παρότι ήταν πολύ μικρή η παροχή $Q=0.2 \text{ m}^3/\text{h}$, παρατηρήθηκε αποτυχία διατήρησης της στάθμης. Η δοκιμή διακόπηκε γιατί το φρέαρ άντλησης άδειασε πολύ γρήγορα. Η κρίσιμη παροχή θεωρήθηκε ότι είναι $Q_c < 0.2 \text{ m}^3/\text{h}$. Οι μετρήσεις της στάθμης που καταγράφηκαν κατά την διάρκεια των δοκιμών άντλησης δίνονται στο παράρτημα Α (ΟΤΜ, 2014).

Κεφάλαιο 5.1. Διαγράμματα δοκιμών άντλησης με βαθμίδες

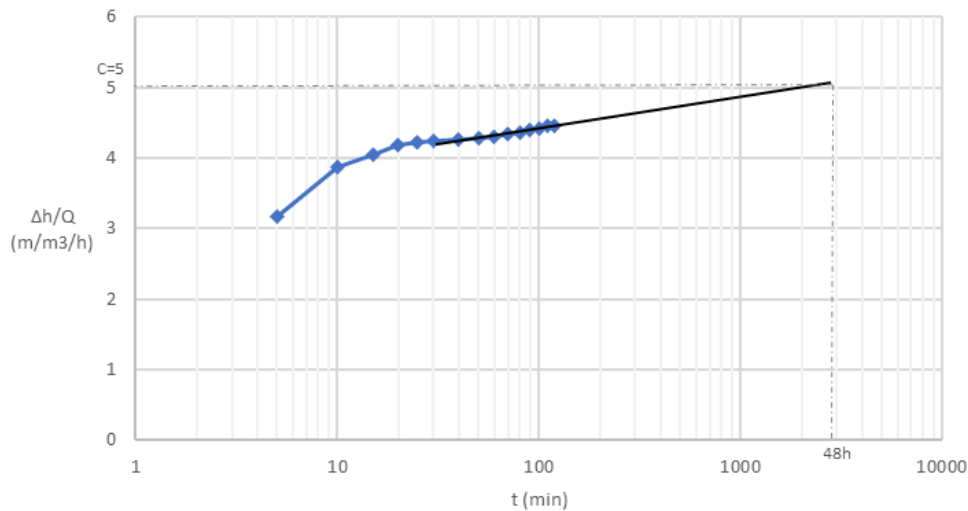
Από τα αποτελέσματα των δοκιμών άντλησης με βαθμίδες προέκυψαν τα διαγράμματα καταβιβασμού της στάθμης συναρτήσει του χρόνου κατά την 1η βαθμίδα για κάθε φρέαρ άντλησης (εκτός του σταθμού της Νομαρχίας), και τα διαγράμματα της χαρακτηριστικής καμπύλης καταβιβασμού στάθμης στο φρέαρ (εκτός του σταθμού της Νομαρχίας).

Για κάθε ένα φρέαρ άντλησης, έχουμε κατασκευάσει από δύο διαγράμματα από τα αποτελέσματα των δοκιμών άντλησης με βαθμίδες.

Το πρώτο εξ' αυτών παρουσιάζει την μεταβολή του λόγου της πτώσης της στάθμης της πρώτης βαθμίδας ως προς την παροχή της, σε σχέση με την μεταβολή του χρόνου από την έναρξη της άντλησης. Σε αυτό φαίνεται επίσης, με μαύρη ευθεία γραμμή, η λογαριθμική προέκταση της άντλησης ως τις 48 ώρες, με σκοπό να προσδιοριστεί ο ειδικός καταβιβασμός C.

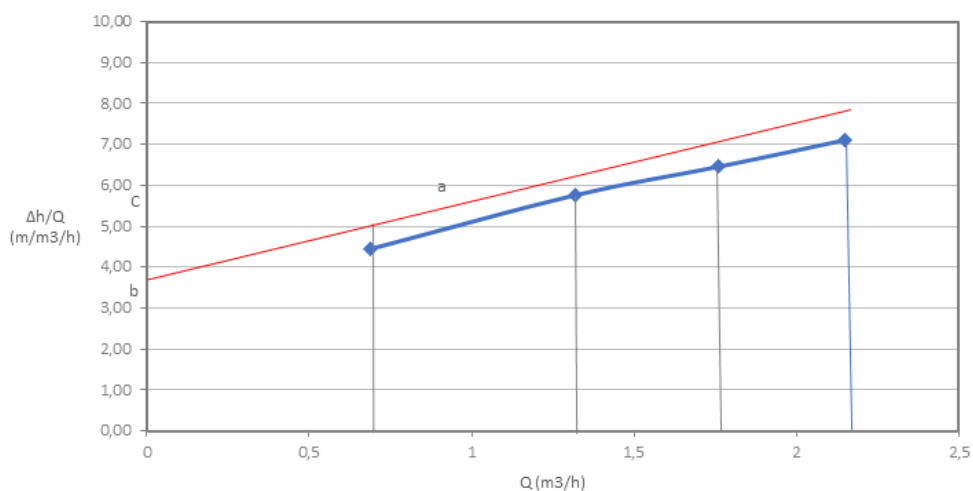
Το δεύτερο παρουσιάζει την μεταβολή του λόγου της συνολικής πτώσης στάθμης της κάθε βαθμίδας ως προς την παροχή της, συναρτήσει της παροχής της κάθε βαθμίδας. Σε αυτό το διάγραμμα, υπολογίζουμε την γραμμική παλινδρόμηση των σημείων (μπλε γραμμή). Έπειτα βρίσκουμε το σημείο όπου, για την παροχή της πρώτης βαθμίδας, συναντάμε την τιμή του ειδικού καταβιβασμού C, και από αυτό το σημείο φέρουμε την παράλληλη ως προς την γραμμική παλινδρόμηση που υπολογίσαμε προηγουμένως (κόκκινη γραμμή). Η κλίση αυτής της ευθείας είναι ο συντελεστής a, και το σημείο που τέμνει τον κάθετο άξονα, είναι ο συντελεστής b.

Πιο συγκεκριμένα, στο Σχήμα 5.1 παρουσιάζεται το διάγραμμα καταβιβασμού της στάθμης συναρτήσει του χρόνου κατά τη 1η βαθμίδα άντλησης για τον σταθμό Καλαμαριά. Από το διάγραμμα υπολογίζεται ο ειδικός καταβιβασμός C.



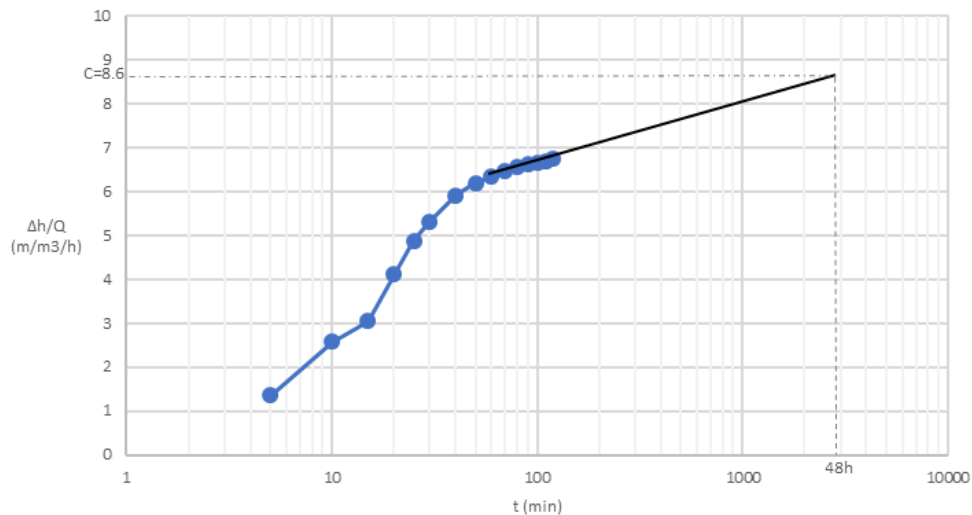
Σχήμα 5.1. Υπολογισμός κρίσιμης παροχής (Q_e) - Σταθμός Καλαμαριά (KBSW21)

Στο Σχήμα 5.2 παρουσιάζεται το διάγραμμα καταβιβασμού της στάθμης συναρτήσει της παροχής για τον σταθμό Καλαμαριά, και προσδιορίζονται οι συντελεστές a και b της χαρακτηριστικής καμπύλης, $a= 1,8235$ και $b= 3,7417$, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της κρίσιμης παροχής Q_e , σύμφωνα με την Εξίσωση 5.1 που ακολουθεί στο Κεφάλαιο 5.2.



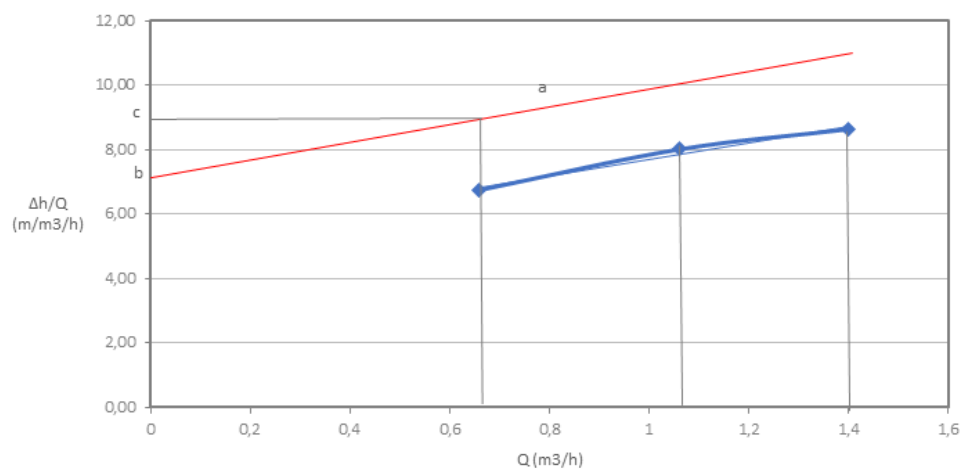
Σχήμα 5.2. Υπολογισμός κρίσιμης παροχής (Q_e) - Σταθμός Καλαμαριά (KBSW21)

Στο Σχήμα 5.3 παρουσιάζεται το διάγραμμα καταβιβασμού της στάθμης συναρτήσει του χρόνου κατά τη 1η βαθμίδα άντλησης για τον σταθμό Αρετσού.



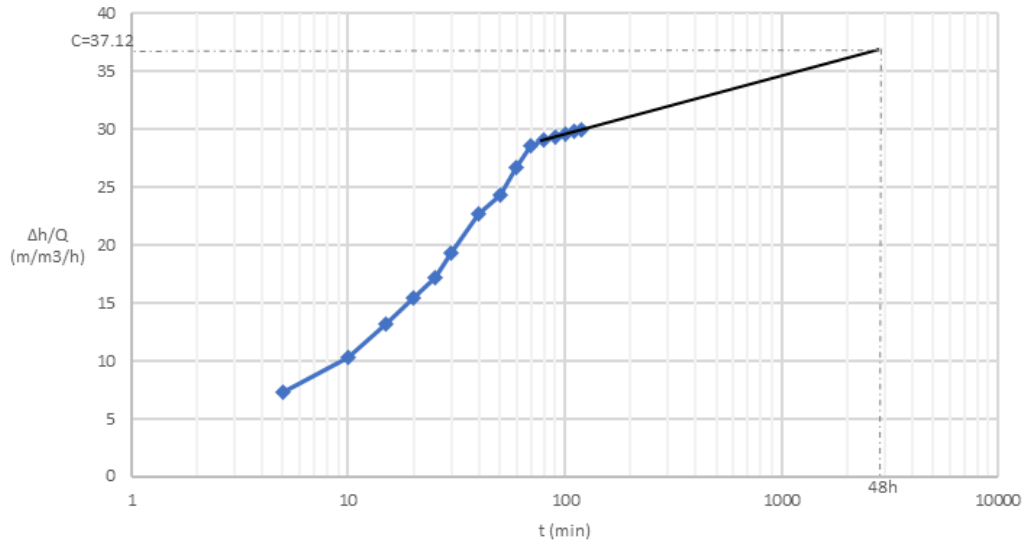
Σχήμα 5.3. Υπολογισμός κρίσιμης παροχής (Q_e) - Σταθμός Αρετσού (KCSW21)

Στο Σχήμα 5.4 φαίνεται το διάγραμμα καταβίβασης της στάθμης συναρτήσει της παροχής για τον σταθμό Αρετσού, και προσδιορίζονται οι συντελεστές a και b της χαρακτηριστικής καμπύλης, $a = 2,5476$ και $b = 6,9175$.



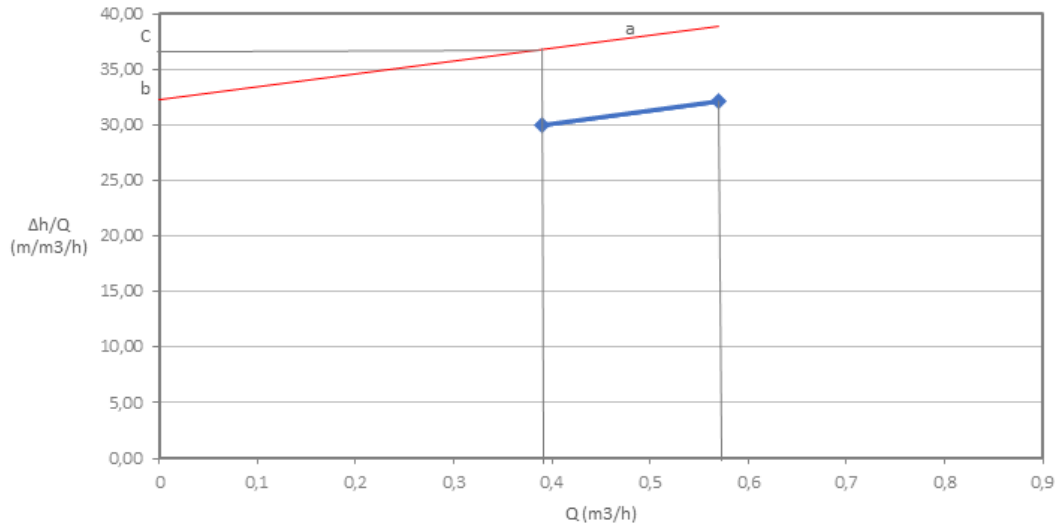
Σχήμα 5.4. Υπολογισμός κρίσιμης παροχής (Q_e) - Σταθμός Αρετσού (KCSW21)

Στο Σχήμα 5.5 παρουσιάζεται το διάγραμμα καταβίβασης της στάθμης συναρτήσει του χρόνου κατά τη 1η βαθμίδα άντλησης για τον σταθμό Ν. Κρήνη.



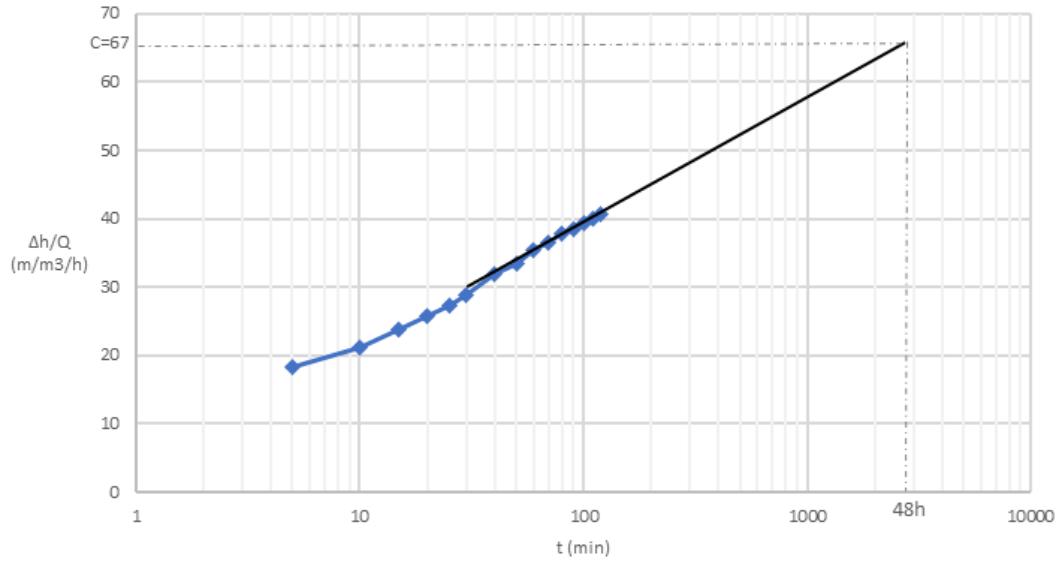
Σχήμα 5.5. Υπολογισμός κρίσιμης παροχής (Q_e) - Σταθμός Νέα Κρήνη (KDSW21)

Στο Σχήμα 5.6 φαίνεται το διάγραμμα καταβίβασης της στάθμης συναρτήσει της παροχής για τον σταθμό Ν. Κρήνη, και προσδιορίζονται οι συντελεστές a και b της χαρακτηριστικής καμπύλης, $a = 11,7933$ και $b = 32,5205$.



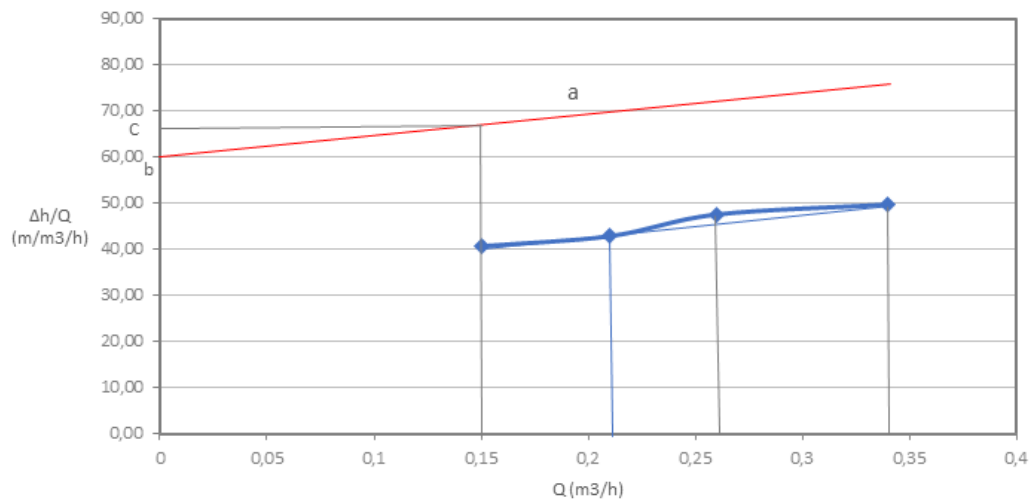
Σχήμα 5.6. Υπολογισμός κρίσιμης παροχής (Q_e) - Σταθμός Νέα Κρήνη (KDSW21)

Στο Σχήμα 5.7 παρουσιάζεται το διάγραμμα καταβίβασης της στάθμης συναρτήσει του χρόνου κατά τη 1η βαθμίδα άντλησης για τον σταθμό Μίκρα.



Σχήμα 5.7 Υπολογισμός κρίσιμης παροχής (Q_e) - Σταθμός Μίκρα (KESW21)

Στο Σχήμα 5.8 φαίνεται το διάγραμμα καταβίβασμού της στάθμης συναρτήσει της παροχής για τον σταθμό Μικρά, και προσδιορίζονται οι συντελεστές a και b της χαρακτηριστικής καμπύλης, $a= 47,9257$ και $b= 59,8111$.



Σχήμα 5.8. Υπολογισμός κρίσιμης παροχής (Q_e) - Σταθμός Μίκρα (KESW21)

Κεφάλαιο 5.2. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων δοκιμών άντλησης με βαθμίδες

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτουν οι τιμές των συντελεστών a , b . Η κρίσιμη παροχή (Q_e) υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση:

$$Q_e = \left[(b^2 + 4a\Delta_{hf})^{0.5} - b \right] / 2a \quad (\text{Εξίσωση 5.1})$$

Όπου Δ_{hf} είναι η συνολική πτώση στάθμης μετά το πέρας της δοκιμής άντλησης με βαθμίδες. Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι συντελεστές του φρέατος, η συνολική πτώση στάθμης μετά το πέρας της δοκιμής άντλησης με βαθμίδες, η κρίσιμη παροχή και η παροχή δοκιμής.

Πίνακας 5.2. Συντελεστές a , b , συνολική πτώση στάθμης, κρίσιμη παροχή και παροχή δοκιμής για κάθε σταθμό

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΦΡΕΑΡ ΑΝΤΛΗΣΗΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΦΡΕΑΤΟΣ		Δ_{hf} (m)	ΚΡΙΣΙΜΗ ΠΑΡΟΧΗ (Q_e) (m ³ /h)	ΠΑΡΟΧΗ ΔΟΚΙΜΗΣ (Q) (m ³ /h)
		a	b			
ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ	KBSW21	1,8235	3,7417	15,29	2,04	2,0
ΑΡΕΤΣΟΥ	KCSW21	2,5476	6,9175	12,10	1,21	1,2
ΝΕΑ ΚΡΗΝΗ	KDSW21	11,7933	32,5205	19,67	0,51	0,5
ΜΙΚΡΑ	KESW21	47,9257	59,8111	16,90	0,24	0,24

Κεφάλαιο 6. Αντληση με Σταθερή Παροχή

Μετά την ολοκλήρωση των δοκιμών άντλησης με βαθμίδες, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές άντλησης με σταθερή παροχή σε κάθε φρέαρ άντλησης και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις επαναφοράς των υπογείων υδάτων. Στον Πίνακα 6.1 δίνονται τα στοιχεία της παρατεταμένης άντλησης, δηλαδή η παροχή και ο χρόνος, καθώς και η διάρκεια των μετρήσεων κατά την επαναφορά της στάθμης των υπογείων υδάτων για κάθε φρέαρ άντλησης. Οι μετρήσεις των δοκιμών άντλησης με σταθερή παροχή δίνονται στο Παράρτημα Β.

Πίνακας 6.1. Στοιχεία άντλησης με σταθερή παροχή για κάθε σταθμό

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΦΡΕΑΡ ΑΝΤΛΗΣΗΣ	ΠΑΡΑΤΕΤΑΜΕΝΗ ΑΝΤΛΗΣΗ		ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
		Q (m ³ /h)	t (h)	ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ t (h)
ΝΟΜΑΡΧΙΑ	KASW21	0.18	1.5	24.0
ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ	KBSW21	2.00	25.0	24.0
ΑΡΕΤΣΟΥ	KCSW21	1.20	24.0	24.0
ΝΕΑ ΚΡΗΝΗ	KDSW21	0.50	19.0	24.0
ΜΙΚΡΑ	KESW21	0.24	19.0	24.0

Κεφάλαιο 6.1. Διαγράμματα δοκιμών άντλησης με σταθερή παροχή

Οι δοκιμές άντλησης που πραγματοποιήθηκαν θα αξιολογηθούν με τις ακόλουθες τρεις μεθόδους.

- Μέθοδος χρόνου - καταβίβασιμού στάθμης (Time – Drawndown) των Cooper – Jacob,
- Μέθοδος επαναφοράς της στάθμης (recovery method) των Cooper – Jacob,
- Μέθοδος Dupuit – Thiem.

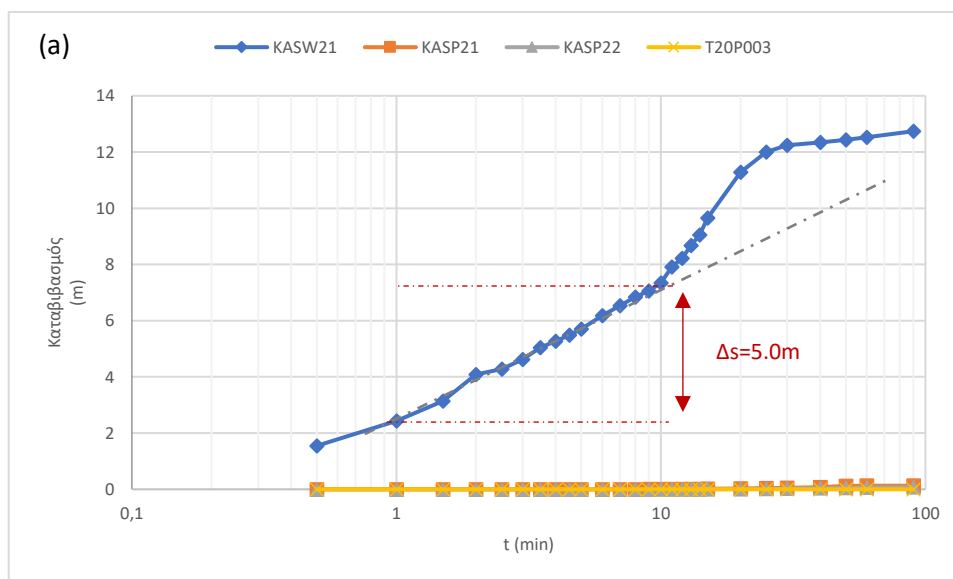
Διαγράμματα Χρόνου - Καταβίβασιμού στάθμης των υπογείων υδάτων

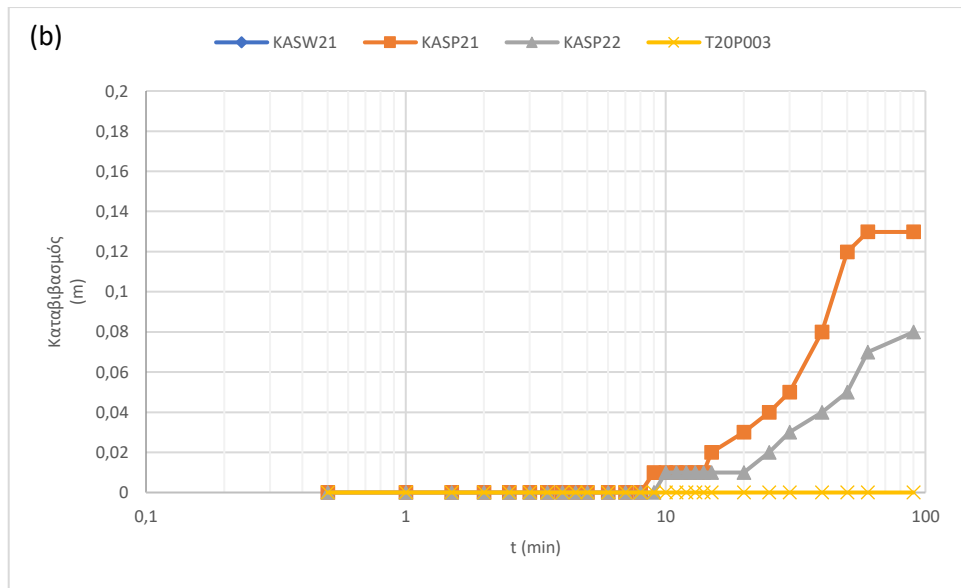
Σε ένα ημιλογαριθμικό διάγραμμα χρόνου-καταβίβασιμού παρουσιάστηκαν οι πτώσεις στάθμης του φρέατος άντλησης και των πιεζόμετρων παρατήρησης. Στον κατακόρυφο άξονα (αριθμητική κλίμακα) θέτουμε την πτώση της στάθμης

σε μέτρα και στον οριζόντιο άξονα (λογαριθμική κλίμακα) τον χρόνο που παρήλθε από την έναρξη της άντλησης με σταθερή παροχή. Η πτώση της στάθμης σε ένα λογαριθμικό κύκλο συμβολίζεται με Δs . Το σημείο τομής με τον οριζόντιο άξονα, της γραμμικής παλινδρόμησης των πτώσεων στάθμης, συμβολίζεται με t_0 .

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, για τα διαγράμματα καταβιβασμού της στάθμης των υπογείων υδάτων, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Time - Drawdown των Cooper – Jacob.

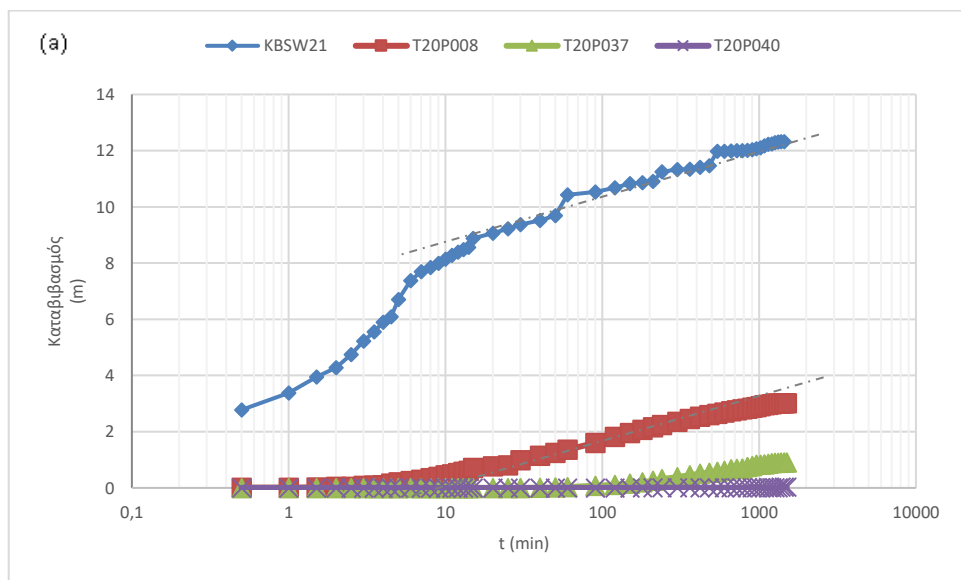
Στο Σχήμα 6.1 παρουσιάζεται το ημιλογαριθμικό διάγραμμα χρόνου-καταβιβασμού του σταθμού Νομαρχίας. Το KASW21 είναι το φρέαρ άντλησης και τα KASP21, KASP22, T20P003 τα πιεζόμετρα παρατήρησης. Όπως φαίνεται στο (a), η πτώση στάθμης σε ένα λογαριθμικό κύκλο Δs ήταν 5.0 m.

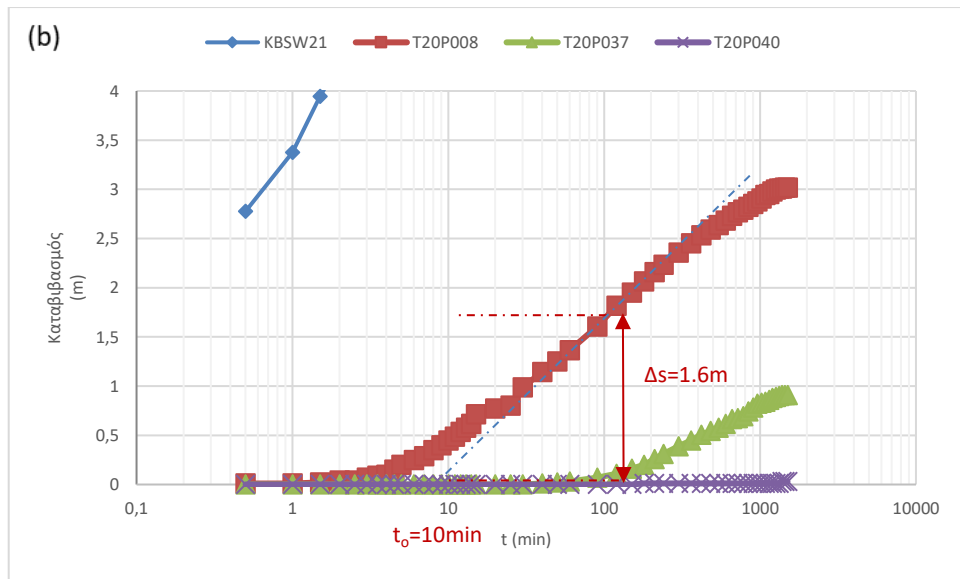




Σχήμα 6.1. Ημιλογαριθμικό διάγραμμα Χρόνου – Καταβίβασιμους – Σταθμός Νομαρχίας: (α) σε μεγαλύτερη κλίμακα; (β) σε μεγέθυνση

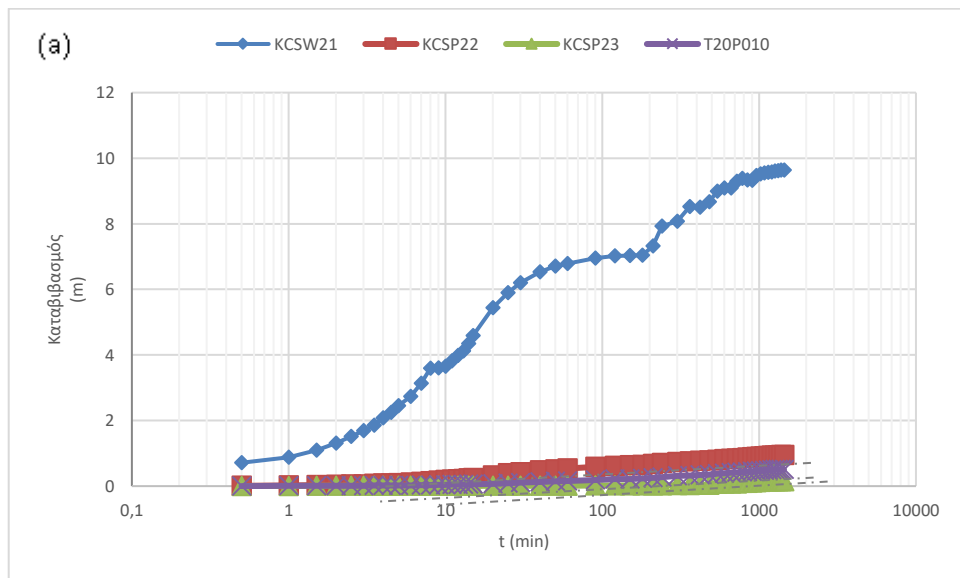
Στο Σχήμα 6.2 παρουσιάζεται το ημιλογαριθμικό διάγραμμα χρόνου-καταβίβασιμους του σταθμού Νομαρχίας. Το KBSW21 είναι το φρέαρ άντλησης και τα T20P008, T20P037, T20P040 τα πιεζόμετρα παρατήρησης. Όπως φαίνεται στο (α), η πτώση στάθμης σε ένα λογαριθμικό κύκλο Δs είναι 1.6 m.

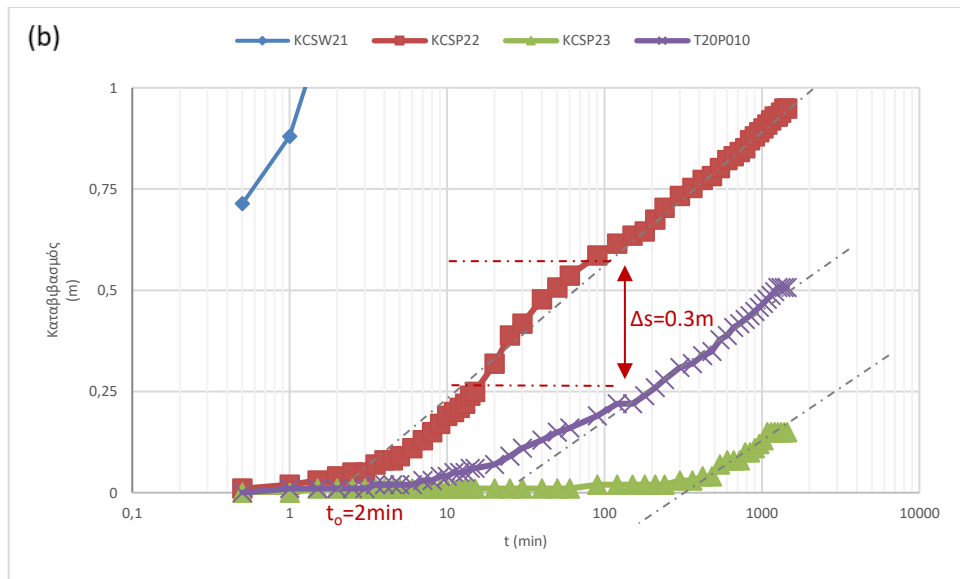




Σχήμα 6.2. Ημιλογαριθμικό διάγραμμα Χρόνου – Καταβίβασιμους – Σταθμός Καλαμαριά:(a) σε μεγαλύτερη κλίμακα; (b) σε μεγέθυνση

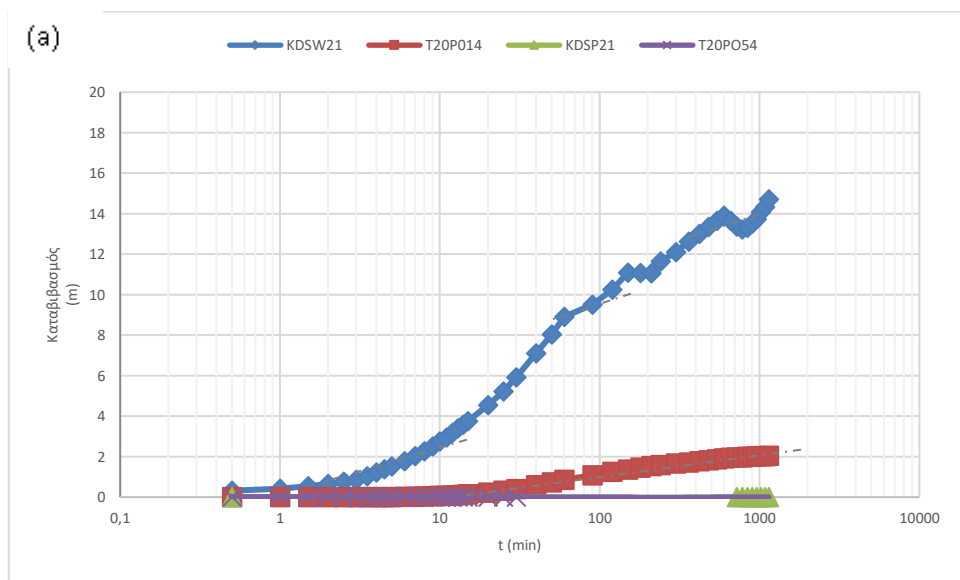
Στο Σχήμα 6.3 παρουσιάζεται το ημιλογαριθμικό διάγραμμα χρόνου-καταβίβασιμους του σταθμού Αρετσού. Το KCSW21 είναι το φρέαρ άντλησης και τα KCSP22, KCSP23, T20P010 τα πιεζόμετρα παρατήρησης. Όπως φαίνεται στο Σχήμα (a), η πτώση στάθμης σε ένα λογαριθμικό κύκλο Δs είναι 1.6 m.

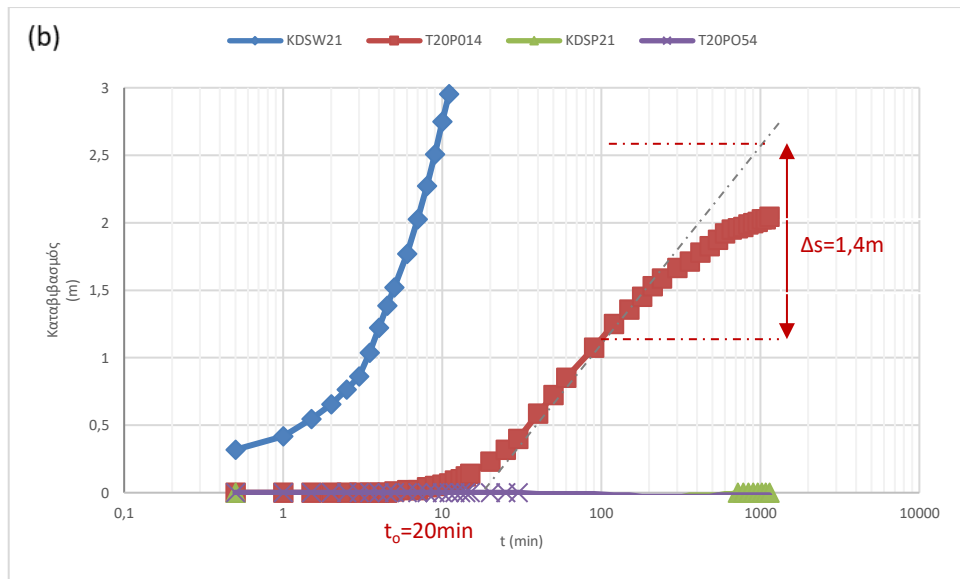




Σχήμα 6.3. Ημιλογαριθμικό διάγραμμα Χρόνου – Καταβίβασης – Σταθμός Αρετού:(α) σε μεγαλύτερη κλίμακα; (b) σε μεγέθυνση

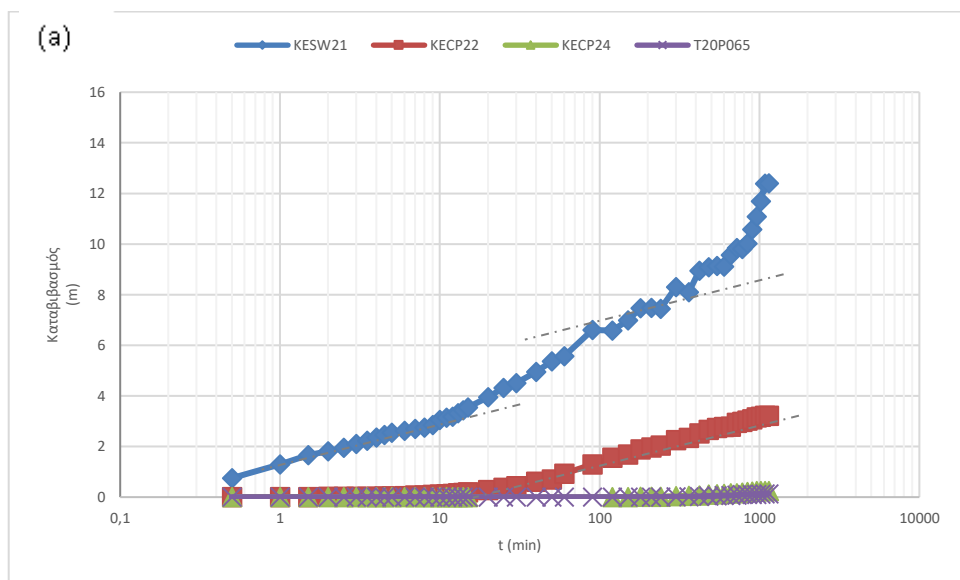
Στο Σχήμα 6.4 παρουσιάζεται το ημιλογαριθμικό διάγραμμα χρόνου-καταβίβασης του σταθμού Νέα Κρήνη. Το KDSW21 είναι το φρέαρ άντλησης και τα T20P014, KDSP21, T20P054 τα πιεζόμετρα παρατήρησης. Όπως φαίνεται στο (α), η πτώση στάθμης σε ένα λογαριθμικό κύκλο Δs είναι 1.4m.

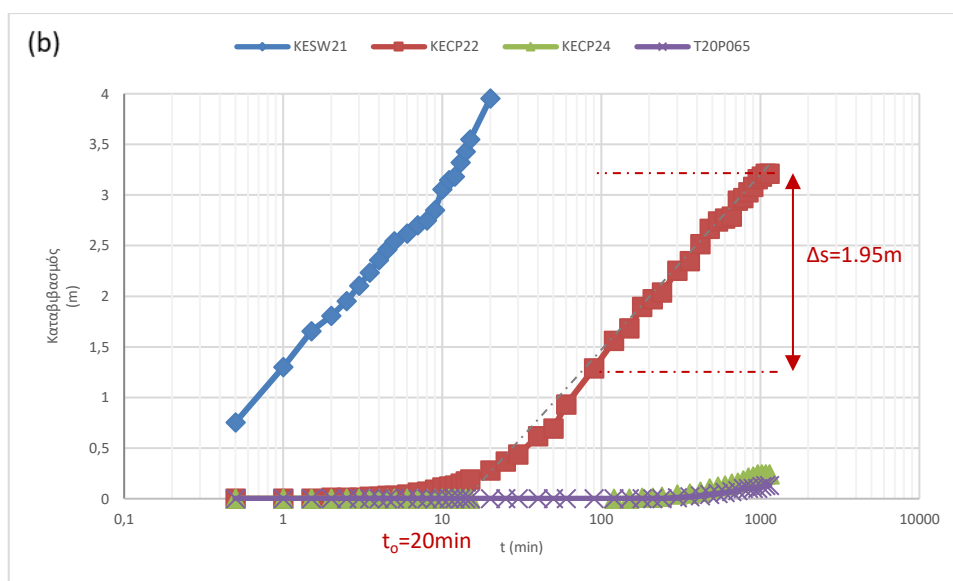




Σχήμα 6.4. Ημιλογαριθμικό διάγραμμα Χρόνου – Καταβίβασιμους – Σταθμός Νέα Κρήνη:(α) σε μεγαλύτερη κλίμακα; (b) σε μεγέθυνση

Στο Σχήμα 6.5 παρουσιάζεται το ημιλογαριθμικό διάγραμμα χρόνου-καταβίβασιμους του σταθμού Μίκρα. Το KESW21 είναι το φρέαρ άντλησης και τα KECP22, KECP24, T20P065 τα πιεζόμετρα παρατήρησης. Όπως φαίνεται στο (α), η πτώση στάθμης σε ένα λογαριθμικό κύκλο Δs είναι 1.95 m.





Σχήμα 6.5. Ημιλογαριθμικό διάγραμμα Χρόνου – Καταβιβασμού – Σταθμός Μίκρα:(α) σε μεγαλύτερη κλίμακα; (b) σε μεγέθυνση

Στους υπολογισμούς των υδραυλικών παραμέτρων χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία από το πιεζόμετρο παρατήρησης με τον μεγαλύτερο καταβιβασμό (πλησιέστερο πιεζόμετρο παρατήρησης).

Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας με την απόσταση του πλησιέστερου πιεζομέτρου παρατήρησης από το φρέαρ άντλησης r_0 , την παροχή Q , την πτώση στάθμης σε ένα λογαριθμικό κύκλο Δs , την μεταφορικότητα T , την υδραυλική αγωγιμότητα K και την αποθηκευτικότητα S όπως αυτά υπολογίστηκαν σύμφωνα με τα διαγράμματα καταβιβασμού της στάθμης.

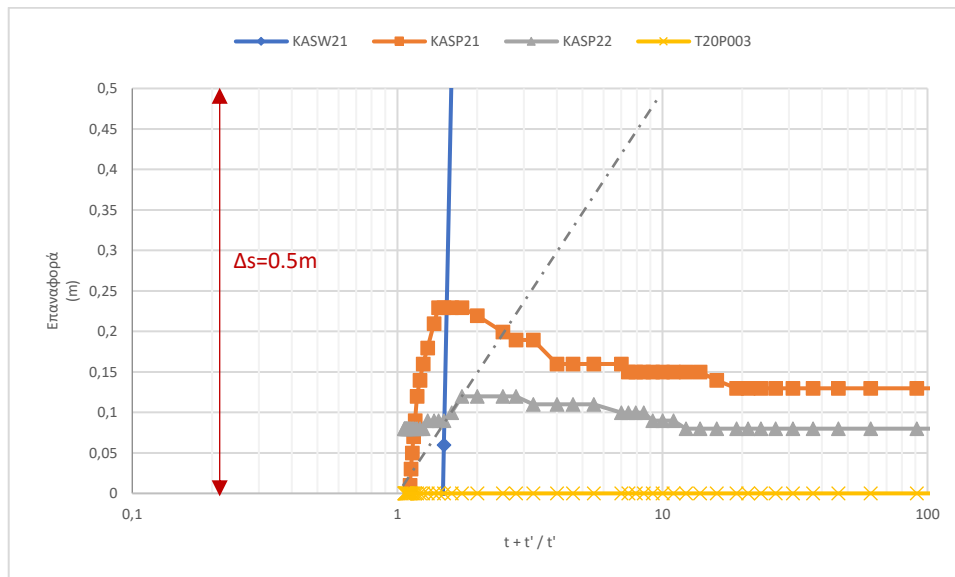
Πίνακας 6.2. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδραυλικών παραμέτρων κατά τον καταβιβασμό

ΣΤΑΘΜΟΣ	r_0 (m)	ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /h)	Δs (m)	T (m ² /sec)	K (m/sec)	S
ΝΟΜΑΡΧΙΑ	-	0,18	5	1,83E-06	4,57E-08	-
ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ	4,39	2,0	1,6	6,36E-05	1,59E-06	4,38E-02
ΑΡΕΤΣΟΥ	3,56	1,2	0,3	2,03E-04	5,08E-06	1,15
Ν.ΚΡΗΝΗ	3,50	0,5	1,4	1,82E-05	4,54E-07	5,24E-02
ΜΙΚΡΑ	3,53	0,24	1,95	6,26E-06	1,56E-07	4,63E-02

Διαγράμματα Χρόνου - επαναφοράς στάθμης των υπογείων υδάτων

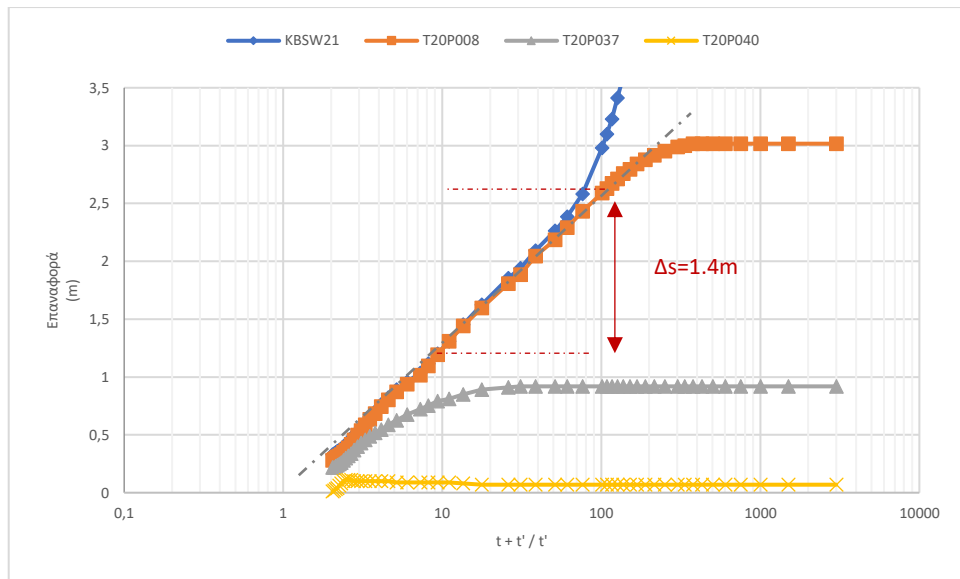
Σε ένα ημιλογαριθμικό διάγραμμα χρόνου-επαναφοράς παρουσιάστηκαν οι ανακάμψεις της στάθμης του φρέατος άντλησης και των πιεζόμετρων παρατήρησης. Στον κατακόρυφο άξονα (αριθμητική κλίμακα) θέτουμε την επάνοδο της στάθμης σε μέτρα και στον οριζόντιο άξονα (λογαριθμική κλίμακα) θέτουμε την τιμή $t+t'/t'$ όπου t είναι ο χρόνος που διέρρευσε από την έναρξη της άντλησης με σταθερή παροχή και t' ο χρόνος που διέρρευσε από το πέρας αυτής. Η πτώση της στάθμης σε ένα λογαριθμικό κύκλο συμβολίζεται με Δs . (Andreadis I. & Morforoulos Z., 1993)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα χρόνου και επαναφοράς της στάθμης των υπογείων υδάτων. Πιο συγκεκριμένα, στο Σχήμα 6.6 παρουσιάζεται το διάγραμμα του σταθμού Νομαρχία, με το KASW21 να αντιστοιχεί στο φρέαρ άντλησης και τα KASP21, KASP22, T20P065 τα πιεζόμετρα παρατήρησης. Στον σταθμό αυτόν οι μετρήσεις της επαναφοράς δεν είναι αξιοποιήσιμες για τον υπολογισμό των υδραυλικών παραμέτρων. Φαίνεται ότι η πτώση της στάθμης σε ένα λογαριθμικό κύκλο Δs είναι 0.5m.



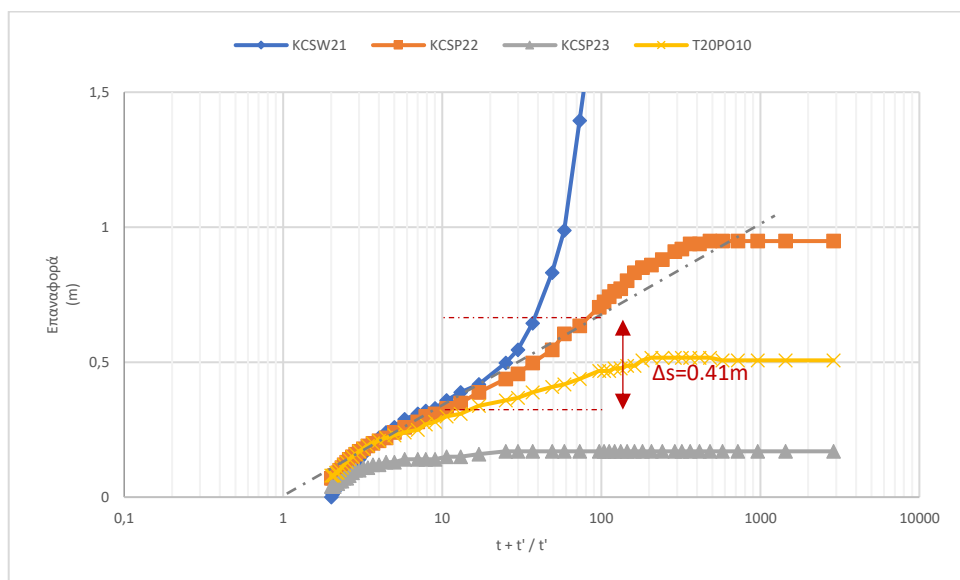
Σχήμα 6.6. Ημιλογαριθμικό διάγραμμα Χρόνου – Επαναφοράς – Σταθμός Νομαρχία

Στο Σχήμα 6.7 παρουσιάζεται το διάγραμμα του σταθμού Καλαμαριά, με το KBSW21 να αντιστοιχεί στο φρέαρ άντλησης και τα T20P008, T20P037, T20P040 τα πιεζόμετρα παρατήρησης. Φαίνεται ότι η πτώση της στάθμης σε ένα λογαριθμικό κύκλο Δs είναι 1.4m.



Σχήμα 6.7. Ημιλογαριθμικό διάγραμμα Χρόνου – Επιάνοσης – Σταθμός Καλαμαριά

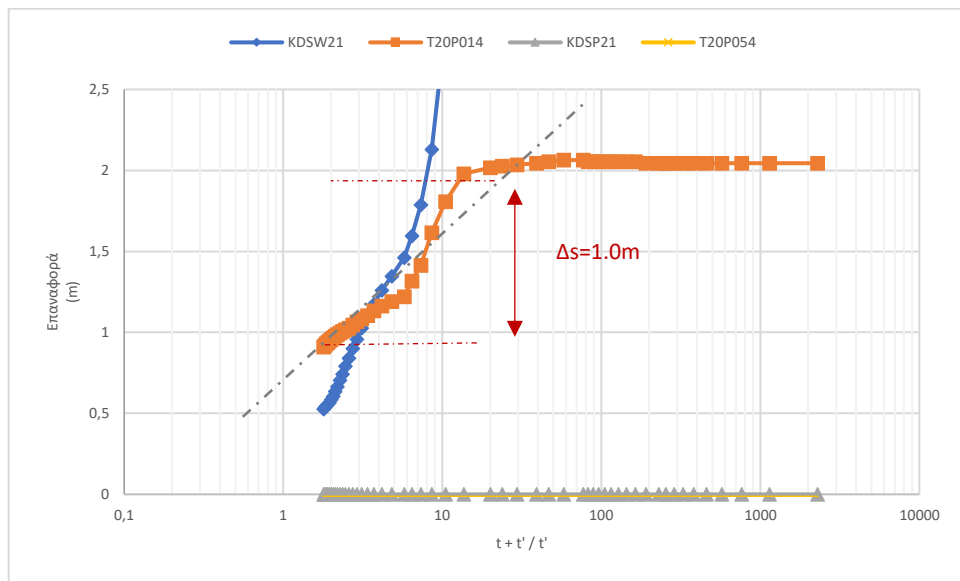
Στο Σχήμα 6.8 παρουσιάζεται το διάγραμμα του σταθμού Αρετσού, με το KCSW21 να αντιστοιχεί στο φρέαρ άντλησης και τα KCSP22, KCSP23, T20P010 τα πιεζόμετρα παρατήρησης. Φαίνεται ότι η πτώση της στάθμης σε ένα λογαριθμικό κύκλο Δs είναι 0.41m.



Σχήμα 6.8. Ημιλογαριθμικό διάγραμμα Χρόνου – Επιάνοσης – Σταθμός Αρετσού

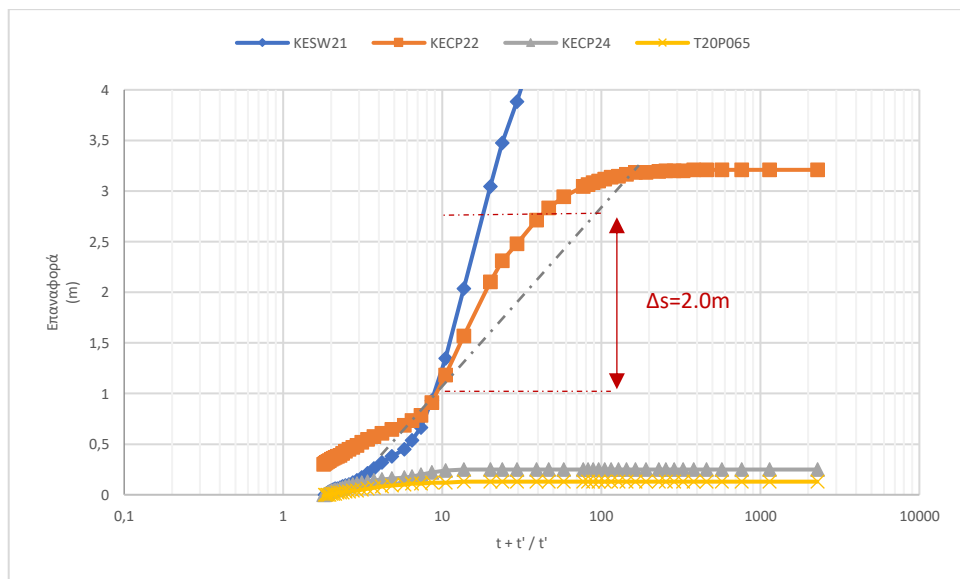
Στο Σχήμα 6.9 παρουσιάζεται το διάγραμμα του σταθμού Ν. Κρήνη, με το KDSW21 να αντιστοιχεί στο φρέαρ άντλησης και τα T20P014, KDSP21,

T20P054 τα πιεζόμετρα παρατήρησης. Φαίνεται ότι η πτώση της στάθμης σε ένα λογαριθμικό κύκλο Δs είναι 1.0m.



Σχήμα 6.9. Ημιλογαριθμικό διάγραμμα Χρόνου – Επιαναφοράς – Σταθμός Νέα Κρήνη

Στο Σχήμα 6.10 παρουσιάζεται το διάγραμμα του σταθμού Μίκρα, με το KESW21 να αντιστοιχεί στο φρέαρ άντλησης και τα KECP22, KECP24, T20P065 τα πιεζόμετρα παρατήρησης. Φαίνεται ότι η πτώση της στάθμης σε ένα λογαριθμικό κύκλο Δs είναι 2.0m.



Σχήμα 6.10. Ημιλογαριθμικό διάγραμμα Χρόνου – Επιαναφοράς – Σταθμός Μίκρα

Στους υπολογισμούς των υδραυλικών παραμέτρων χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία από το πλησιέστερο πιεζόμετρο παρατήρησης.

Στον Πίνακα 6.3 παρουσιάζεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας με την απόσταση του πλησιέστερου πιεζομέτρου παρατήρησης από το φρέαρ άντλησης r_0 , την παροχή Q , την πτώση στάθμης σε ένα λογαριθμικό κύκλο Δs , την μεταφορικότητα T και την υδραυλική αγωγιμότητα K όπως αυτά υπολογίστηκαν σύμφωνα με τα διαγράμματα επαναφοράς της στάθμης.

Πίνακας 6.3. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδραυλικών παραμέτρων κατά την επαναφορά

ΣΤΑΘΜΟΣ	r_0 (m)	ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /h)	Δs (m)	T (m ² /sec)	K (m/sec)
ΝΟΜΑΡΧΙΑ	-	0,18	0,5	1,83E-05	4,58E-07
ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ	4,39	2,0	1,4	7,26E-05	1,82E-06
ΑΡΕΤΣΟΥ	3,56	1,2	0,41	1,49E-04	3,72E-06
Ν.ΚΡΗΝΗ	3,50	0,5	1,0	2,54E-05	6,36E-07
ΜΙΚΡΑ	3,53	0,24	2,0	6,10E-06	1,53E-07

Εκτίμηση των συντελεστών της υδραυλικής αγωγιμότητας K και της μεταφορικότητας T με την μέθοδο των Dupuit-Thiem

Για τον υπολογισμό των συντελεστών της υδραυλικής αγωγιμότητας K και της μεταφορικότητας T χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις πτώσης στάθμης στο φρέαρ άντλησης και στο πλησιέστερο πιεζόμετρο παρατήρησης. Εκτιμούμε την ακτίνα επιρροής R_2 ίση με 50 m για όλα τα φρέατα άντλησης.

Στον συγκεντρωτικό Πίνακα 6.4 δίνονται η παροχή άντλησης Q , η ακτίνα επιρροής R_2 , η ακτίνα του φρέατος άντλησης R_1 , η πτώση στάθμης στο φρέαρ άντλησης s_1 και στο πιεζόμετρο παρατήρησης s_2 , το κορεσμένο πάχος του υδροφορέα D , η υδραυλική αγωγιμότητα K και η μεταφορικότητα T .

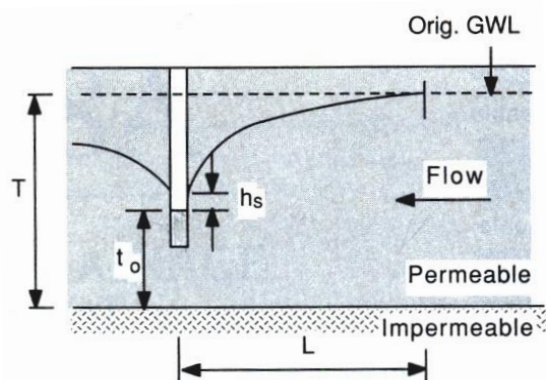
Πίνακας 6.4. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδραυλικών παραμέτρων σύμφωνα με τη μέθοδο Dupuit - Thiem

ΣΤΑΘΜΟΣ	Q (m ³ /h)	R_2 (m)	R_1 (m)	h_2 (m)	h_1 (m)	s (m)	S_2 (m)	K (m/s)	T (m ² /s)
ΝΟΜΑΡΧΙΑ	0,18	50	0,2	40	24,1	15,9	-0,09	8,62E-08	2,74E-06
ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ	2	50	0,2	40	24,78	15,22	3,14	9,90E-07	4,04E-05
ΑΡΕΤΣΟΥ	1,2	50	0,2	40	28,79	11,21	0,96	7,59E-07	2,85E-05
Ν.ΚΡΗΝΗ	0,5	50	0,2	40	20,58	19,42	2,1	2,07E-07	7,04E-06
ΜΙΚΡΑ	0,24	50	0,2	40	24,66	15,34	3,35	1,18E-07	4,88E-06

Εκτίμηση της υδραυλικής παροχής εντός των σκαμμάτων

Για την κατασκευή των σταθμών μετρό Νομαρχία, Καλαμαριά, Αρετσού, Νέα Κρήνη και Μίκρα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ανοιχτού ορύγματος (cut & cover). Για τον υπολογισμό της υδραυλικής παροχής χρησιμοποιούμε την παρακάτω εξίσωση η οποία ισχύει για μερικώς διαπερνώμενο υδροφορέα (για εισροή νερού και από τις δύο πλευρές):

$$q = \left[0.73 + \frac{0.27(D-h_1)}{D} \right] \frac{K}{2L} (D^2 - h_1^2) 2 \quad (\text{M. Hausmann, 1990}) \quad (\text{Εξίσωση 6.1})$$



Σχήμα 6.11. Εισροή νερού σε μερικώς διαπερνώμενο υδροφορέα, Πηγή: (M. Hausmann, 1990)

Όπου L η ακτίνα επιρροής η οποία προκύπτει από την εξίσωση:

$$L = Cs\sqrt{K} \quad (\text{M. Hausmann, 1990}) \quad (\text{Εξίσωση 6.2})$$

Όπου C = 3000 για φρέατα (Sichardt).

Πίνακας 6.5. Εκτίμηση υδραυλικής ακτίνας επιρροής και παροχής

ΣΤΑΘΜΟΣ	L(m)	Q (m ² /d)
ΝΟΜΑΡΧΙΑ	14,0	0,453
ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ	45,4	1,546
ΑΡΕΤΣΟΥ	29,3	1,391
Ν.ΚΡΗΝΗ	26,5	0,684
ΜΙΚΡΑ	15,8	0,533

Κεφάλαιο 6.2. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων δοκιμών άντλησης με σταθερή παροχή

Με βάση την ανωτέρω ανάλυση πινάκων και διαγραμμάτων, τα αποτελέσματα μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

A) Οι τιμές των υδραυλικών αγωγιμοτήτων (K) για κάθε σταθμό υπολογίστηκαν στα παρακάτω εύρη:

Πίνακας 6.6. Αποτελέσματα υπολογισμού υδραυλικής αγωγιμότητας με βάση τις δοκιμαστικές αντλήσεις

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ K (m/s)	
	Μέθοδος Cooper - Jacob	Μέθοδος Dupuit - Thiem
ΝΟΜΑΡΧΙΑ	$4,57 * 10^{-8} - 4,58 * 10^{-7}$	$8,62 * 10^{-8}$
ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ	$1,59 * 10^{-6} - 1,82 * 10^{-6}$	$9,90 * 10^{-7}$
ΑΡΕΤΣΟΥ	$3,72 * 10^{-6} - 5,08 * 10^{-6}$	$7,59 * 10^{-7}$
ΝΕΑ ΚΡΗΝΗ	$4,54 * 10^{-7} - 6,36 * 10^{-7}$	$2,07 * 10^{-7}$
ΜΙΚΡΑ	$1,53 * 10^{-7} - 1,56 * 10^{-7}$	$1,18 * 10^{-7}$

Οι τιμές των υδραυλικών αγωγιμοτήτων που εκτιμήθηκαν βρίσκονται γενικά σε καλή συμφωνία ανεξαρτήτως της μεθόδου εκτίμησης τους.

Αξίζει να γίνει μια σύγκριση με τις αρχικές τιμές των επιτόπου δοκιμών διαπερατότητας, που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια των γεωτεχνικών ερευνών, όπως αυτές παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 4.2 (ΟΤΜ, 2014).

Πίνακας 6.7. Αρχικές τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας με βάση τις επιτόπου δοκιμές

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ K (m/s)
	Επιτόπου Δοκιμές
ΝΟΜΑΡΧΙΑ	$6,99 * 10^{-8} - 7,30 * 10^{-6}$
ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ	$2,90 * 10^{-9} - 3,17 * 10^{-7}$
ΑΡΕΤΣΟΥ	$3,59 * 10^{-7} - 5,17 * 10^{-6}$
ΝΕΑ ΚΡΗΝΗ	$8,16 * 10^{-9} - 5,14 * 10^{-7}$
ΜΙΚΡΑ	$6,77 * 10^{-8} - 9,52 * 10^{-6}$

Από τη σύγκριση προκύπτει ότι τα αρχικώς μετρούμενα μεγέθη είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με αυτά που προέκυψαν από τις δοκιμαστικές αντλήσεις.

Β) Οι τιμές των μεταφορικότητας (Τ) για κάθε σταθμό υπολογίστηκαν στα παρακάτω εύρη:

Πίνακας 6.8. Αποτελέσματα υπολογισμού μεταφορικότητας με βάση τις δοκιμαστικές αντλήσεις

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΤΗΤΑ Τ (m ² /s)	
	Μέθοδος Cooper - Jacob	Μέθοδος Dupuit - Thiem
ΝΟΜΑΡΧΙΑ	4,58 * 10 ⁻⁷ – 1,53 * 10 ⁻⁶	2,74 * 10 ⁻⁶
ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ	6,36 * 10 ⁻⁵ – 7,26 * 10 ⁻⁵	4,04 * 10 ⁻⁵
ΑΡΕΤΣΟΥ	1,49 * 10 ⁻⁴ – 2,03 * 10 ⁻⁴	2,85 * 10 ⁻⁵
ΝΕΑ ΚΡΗΝΗ	1,82 * 10 ⁻⁵ – 2,54 * 10 ⁻⁵	7,04 * 10 ⁻⁶
ΜΙΚΡΑ	6,10 * 10 ⁻⁶ – 6,26 * 10 ⁻⁶	4,88 * 10 ⁻⁶

Οι τιμές των μεταφορικότητας που εκτιμήθηκαν βρίσκονται γενικά σε καλή συμφωνία ανεξαρτήτως της μεθόδου εκτίμησης τους.

Γ) Οι τιμές των αποθηκευτικότητας (S) για κάθε σταθμό εκτιμήθηκαν από τις μετρήσεις καταβιβασμού της στάθμης σύμφωνα με την μέθοδο Cooper-Jacob και είναι οι εξής:

Πίνακας 6.9. Αποτελέσματα υπολογισμού αποθηκευτικότητας με βάση τις δοκιμαστικές αντλήσεις

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑ S
	Μέθοδος Cooper - Jacob
ΝΟΜΑΡΧΙΑ	-
ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ	4,38 * 10 ⁻²
ΑΡΕΤΣΟΥ	1,15
ΝΕΑ ΚΡΗΝΗ	5,24 * 10 ⁻²
ΜΙΚΡΑ	4,63 * 10 ⁻²

Για τον σταθμό Νομαρχία δεν μπορούμε να αξιοποιήσουμε τα στοιχεία που έχουμε στη διάθεση μας για τον υπολογισμό της αποθηκευτικότητας S.

Οι τιμές των υδραυλικών παραμέτρων είναι γενικά χαμηλές λόγω της φύσης των απαντώμενων σχηματισμών, όπου επικρατούν λεπτόκοκκοι συνεκτικοί σχετικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί. Στον σταθμό Αρετσού μετρήθηκαν οι υψηλότερες τιμές υδραυλικών παραμέτρων όπου οι σχηματισμοί είναι και

περισσότερο διαπερατοί ενώ οι χαμηλότερες τιμές μετρήθηκαν στον σταθμό Νομαρχία και στον σταθμό Μίκρα. Στους άλλους δύο σταθμούς προέκυψαν ενδιάμεσες τιμές.

Τέλος, εκτιμήθηκαν οι παροχές εισροής Q των υπογείων υδάτων που αναμένονταν κατά τις εκσκαφές των σκαμμάτων των σταθμών. Οι παροχές Q (m^2/d) που εκτιμήθηκαν είναι:

Πίνακας 6.10. Αποτελέσματα υπολογισμού εισροής με βάση τις δοκιμαστικές αντλήσεις

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ Q (m^2/d)
	Μέθοδος Chapman
ΝΟΜΑΡΧΙΑ	0,454
ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ	1,546
ΑΡΕΤΣΟΥ	1,391
ΝΕΑ ΚΡΗΝΗ	0,684
ΜΙΚΡΑ	0,533

Οι εκτιμώμενες παροχές είναι μικρές και βάση αυτών επιλέχθηκαν οι αντλίες που χρησιμοποιήθηκαν.

Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, εξετάζονται τα υπόγεια ύδατα και οι υδροφορείς, από τη σκοπιά των δοκιμαστικών αντλήσεων σε φρέατα, με σκοπό την εύρεση των υδραυλικών παραμέτρων.

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση έδωσε πλούσια αποτελέσματα σχετικά με την τεχνολογική εξέλιξη των φρεάτων, των αντλήσεων και των μεθόδων αξιολόγησής τους. Επίσης το κανονιστικό πλαίσιο των δοκιμαστικών αντλήσεων είναι αρκετά σαφές, με συγκεκριμένους νόμους και πρότυπα, τα οποία καθορίζουν τις ακολουθούμενες διαδικασίες.

Τα φρέατα άντλησης και οι μετρήσεις που λήφθηκαν από τις δοκιμαστικές αντλήσεις, εντάσσονται στο έργο Μετρό Θεσσαλονίκης Επέκταση Καλαμαριάς, για τη Συμπληρωματική Γεωτεχνική Έρευνα κατά τα έτη 2013 και 2014 από την εταιρεία ΟΤΜ Α.Τ.Ε.. Το πρόγραμμα ερευνών περιλάμβανε την κατασκευή πέντε (5) φρεάτων άντλησης και την εκτέλεση δοκιμαστικών αντλήσεων στις περιοχές των σταθμών: Νομαρχία, Καλαμαριά, Αρετσού, Νέα Κρήνη και Μίκρα.

Πιο αναλυτικά, υπολογίζονται η υδραυλική αγωγιμότητα (K), η μεταφορικότητα (T) και η αποθηκευτικότητα (S) των υδροφορέων των σχηματισμών που συναντήθηκαν κατά τις εκσκαφές για την κατασκευή των σταθμών Νομαρχία, Καλαμαριά, Αρετσού, Νέα Κρήνη και Μίκρα στην επέκταση του Μετρό Θεσσαλονίκης προς Καλαμαριά. Χρησιμοποιήθηκαν δυο μέθοδοι για την εκτίμηση των υδραυλικών παραμέτρων:

- Η μέθοδος Cooper-Jacob που βασίζεται στον καταβιβασμό αλλά και στην επαναφορά της στάθμης των υπογείων υδάτων σε φρέατα άντλησης και σε γειτονικά πιεζόμετρα παρατήρησης. Οι υδραυλικές παράμετροι εκτιμήθηκαν βάση διαγραμμάτων αλλά και εξισώσεων.
- Η μέθοδος Dupuit- Thiem που βασίζεται στον καταβιβασμό της στάθμης των υπογείων υδάτων ως ανωτέρω. Σε αυτή την περίπτωση οι υδραυλικές παράμετροι εκτιμήθηκαν βάση εξισώσεων.

Από τα αποτελέσματα των υπολογισμών, μπορούμε να εξάγουμε ως συμπέρασμα ότι οι τιμές των υδραυλικών παραμέτρων είναι γενικά χαμηλές λόγω της φύσης των απαντώμενων σχηματισμών, όπου επικρατούν

λεπτόκοκκοι συνεκτικοί σχετικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί. Τα μεγέθη αυτά των υδραυλικών παραμέτρων βρίσκονται σε συμφωνία με τη βιβλιογραφία και τη διεθνή πρακτική επιτόπου αντλητικών δοκιμών. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί σύγκριση με αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών. Αυτό αιτιολογείται, αφενός από το γεγονός ότι σε εργαστηριακές δοκιμές υπολογίζεται μόνο η υδραυλική αγωγιμότητα (K) και όχι η μεταφορικότητα (T) και η αποθηκευτικότητα (S), αφετέρου στις εργαστηριακές δοκιμές το δείγμα είναι μικρό και παρουσιάζει ομοιογένεια, κάτι το οποίο δεν απαντάται σε πραγματικές συνθήκες. Για τους λόγους αυτούς, οι τιμές των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δοκιμών που προκύπτουν, είναι συντηρητικές. Τέλος, τα μεγέθη παρουσιάζουν σε μεγάλο βαθμό σύγκλιση με τις αρχικές επιτόπου δοκιμές, ως αναμενόταν, λόγω της ομοιογένειας των γεωλογικών σχηματισμών.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν, χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των παροχών των αντλήσεων που θα απαιτηθούν κατά την διάρκεια των εκσκαφών, καθώς και των αντίστοιχων αντλιών που θα χρησιμοποιηθούν λαμβάνοντας υπόψιν τις συνθήκες του κάθε έργου.

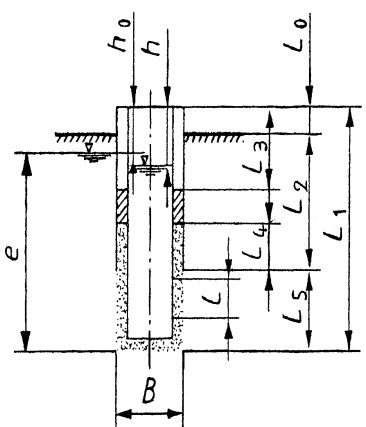
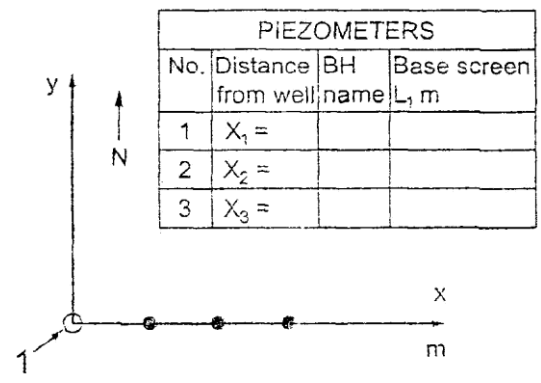
Παράρτημα Α. Μετρήσεις δοκιμών άντλησης με βαθμίδες

Πίνακας Α.1 Μετρήσεις Πιεζόμετρου KASW21 κατά την άντληση με βαθμίδες

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ		Σύνταξη / Test performed by:																					
PUMPING TEST		Ελεγχος / Test checked by:																					
According to ISO 22282 - 4																							
TEST WELL : KASW21	TEST PHASE (delete as appropriate) Pre - pumping /preliminary pumping/ pumping/post-pumping	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> </div> <div style="text-align: center;"> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">PIEZOMETERS</th> </tr> <tr> <th>No.</th> <th>Distance from well</th> <th>BH name</th> <th>Base screen L₁ m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>X₁ =</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>X₂ =</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>X₃ =</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>Key 1 well axis Diagram of piezometer placements</p> </div>		PIEZOMETERS				No.	Distance from well	BH name	Base screen L ₁ m	1	X ₁ =			2	X ₂ =			3	X ₃ =		
PIEZOMETERS																							
No.	Distance from well			BH name	Base screen L ₁ m																		
1	X ₁ =																						
2	X ₂ =																						
3	X ₃ =																						
Ground level : m	DRILLING																						
WELL DIAGRAM	Borehole diameter B : 0.222m																						
	Height of wellhead L ₀ = 0.17m																						
	Depth of base L ₁ = 29.47m																						
	WELL CASING																						
	Internal diameter :																						
	Filter length L ₂ : 1.5m																						
	Filter length L ₃ : 1.17m																						
	Filter length L ₄ :																						
	WELL SCREEN																						
	Internal diameter = 0.108m																						
	Length = 24.0m																						
	PUMP	Pump discharge Q _e = m ³ /sec																					
Start of pumping	15/1/2014	End of pumping	Date: 15/1/2014																				
	Time: 11.00		Time: 15.00																				
STEP No.1	t min	0	5																				
WELL	h m	7,06	10,51																				
	Δh = h - h ₀ m	0	3,45																				
	Q m ³ /h	0,2																					
	t min	120																					
WELL	h m																						
	Δh = h - h ₀ m																						
	Q m ³ /sec																						
STEP No.2	t min	0	5																				
WELL	h m																						
	Δh = h - h ₀ m																						
	Q m ³ /sec																						
STEP No.3	t min	0	5																				
WELL	h m																						
	Δh = h - h ₀ m																						
	Q m ³ /sec																						
STEP No.4	t min	0	5																				
WELL	h m																						
	Δh = h - h ₀ m																						
	Q m ³ /sec																						

Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων
Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

Πίνακας Α.2 Μετρήσεις Πιεζόμετρου KBSW21 κατά την άντληση με βαθμίδες

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ PUMPING TEST		Σύνταξη / Test performed by:			
According to ISO 22282 - 4		Έλεγχος / Test checked by:			
TEST WELL : Ground level : WELL DIAGRAM	KBSW21 m	TEST PHASE (delete as appropriate) Pre - pumping /preliminary pumping/ pumping/post-pumping			
	DRILLING	Borehole diameter B : 0.222m			
	Height of wellhead L ₀ = 0.15m	Depth of base L ₁ = 31.85m			
	WELL CASING	Internal diameter : m			
	Filter length L ₂ : 2.0m	Filter length L ₃ : 1.67m			
	Filter length L ₄ :				
	WELL SCREEN	Internal diameter = 0.108m			
	Length = 21.0m				
	PUMP	Pump discharge Q _e = m ³ /sec			
	Start of pumping	Date: 12/01/2014 Time: 10.00		End of pumping	Date: 12/01/2014 Time: 15.00
	STEP No.1	t min		0 5 10 15 20 25 30 40 50 60 70 80 90 100 110	
WELL	h m	9,11 11,3 11,78 11,9 12 12,02 12,04 12,05 12,07 12,08 12,1 12,12 12,14 12,16 12,18			
	Δh = h - h ₀ m	0 2,19 2,67 2,79 2,89 2,91 2,93 2,94 2,96 2,97 2,99 3,01 3,03 3,05 3,07			
	Q m ³ /h	0,69			
WELL	t min	120			
	h m	12,18			
	Δh = h - h ₀ m	3,07			
WELL	Q m ³ /sec				
	STEP No.2	t min	0 5 10 15 20 25 30 40 50 60		
	WELL	h m	12,18 14,19 15,59 16,01 16,26 16,38 16,47 16,58 16,64 16,72		
Δh = h - h ₀ m		3,07 5,08 6,48 6,9 7,15 7,27 7,36 7,47 7,53 7,61			
Q m ³ /h		1,32			
WELL	t min	0 5 10 15 20 25 30 40 50 60			
	h m	16,72 18,66 19,36 19,8 20,02 20,13 20,16 20,27 20,31 20,48			
	Δh = h - h ₀ m	7,61 9,55 10,25 10,69 10,91 11,02 11,05 11,16 11,2 11,37			
WELL	Q m ³ /h	1,76			
	STEP No.4	t min	0 5 10 15 20 25 30 40 50 60		
	WELL	h m	20,48 21,5 21,83 22,09 22,49 23,09 23,66 24,06 24,22 24,4		
Δh = h - h ₀ m		11,37 12,39 12,72 12,98 13,38 13,98 14,55 14,95 15,11 15,29			
Q m ³ /h		2,15			

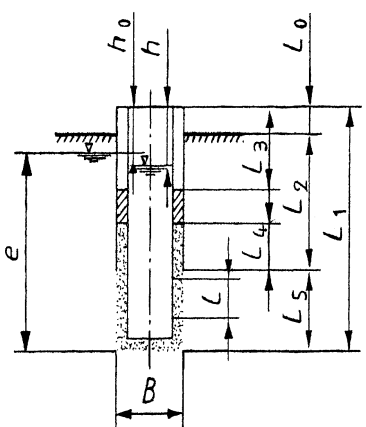
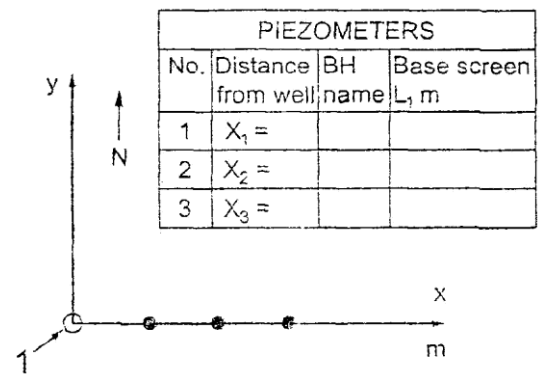
Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων
Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

Πίνακας Α.3 Μετρήσεις Πιεζόμετρου KCSW21 κατά την άντληση με βαθμίδες

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ PUMPING TEST		Σύνταξη / Test performed by:																					
According to ISO 22282 - 4		Έλεγχος / Test checked by:																					
TEST WELL : Ground level : WELL DIAGRAM	KCSW21 m	TEST PHASE (delete as appropriate) Pre - pumping /preliminary pumping/ pumping/post-pumping																					
	DRILLING	Borehole diameter B : 0.222m	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">PIEZOMETERS</th> </tr> <tr> <th>No.</th> <th>Distance from well</th> <th>BH name</th> <th>Base screen L₁, m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>X₁ =</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>X₂ =</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>X₃ =</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	PIEZOMETERS				No.	Distance from well	BH name	Base screen L ₁ , m	1	X ₁ =			2	X ₂ =			3	X ₃ =		
	PIEZOMETERS																						
	No.	Distance from well		BH name	Base screen L ₁ , m																		
	1	X ₁ =																					
	2	X ₂ =																					
	3	X ₃ =																					
	Height of wellhead L ₀ = 0.15m	Depth of base L ₁ = 32.15m																					
	WELL CASING	Internal diameter : m																					
	Filter length L ₂ : 3.45m	Filter length L ₃ : 3.80m																					
	Filter length L ₄ :																						
WELL SCREEN	Internal diameter = 0.108m																						
Length = 21.0m																							
PUMP	Pump discharge Q _e = m ³ /sec																						
Start of pumping	Date: 17/01/2014 Time: 10.00	End of pumping	Date: 17/01/2014 Time: 13.30																				
STEP No.1	t min	0 5 10 15 20 25 30 40 50 60 70 80 90 100 110																					
WELL	h m	17,4 18,3 19,1 19,41 20,11 20,62 20,91 21,3 21,49 21,58 21,67 21,73 21,78 21,8 21,82																					
	Δh = h - h ₀ m	0 0,9 1,7 2,01 2,71 3,22 3,51 3,9 4,09 4,18 4,27 4,33 4,38 4,4 4,42																					
	Q m ³ /h	0,66																					
WELL	t min	120																					
	h m	21,86																					
	Δh = h - h ₀ m	4,46																					
WELL	Q m ³ /sec																						
	STEP No.2	t min	0 5 10 15 20 25 30 40 50 60																				
	WELL	h m	21,86 23 23,9 24,4 24,8 25,12 25,35 25,51 25,79 25,9																				
Δh = h - h ₀ m		4,46 5,6 6,5 7 7,4 7,72 7,95 8,11 8,39 8,5																					
Q m ³ /h		1,06																					
STEP No.3	t min	0 5 10 15 20 25 30 40 50 60																					
	WELL	h m	25,9 27,2 28 28,53 28,95 29,2 29,5																				
		Δh = h - h ₀ m	8,5 9,8 10,6 11,13 11,55 11,8 12,1																				
Q m ³ /h		1,4																					
STEP No.4	t min	0 5 10 15 20 25 30 40 50 60																					
	WELL	h m																					
		Δh = h - h ₀ m																					
Q m ³ /sec																							

Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων
Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

Πίνακας Α.4 Μετρήσεις Πιεζόμετρου KDSW21 κατά την άντληση με βαθμίδες

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ PUMPING TEST		Σύνταξη / Test performed by:			
According to ISO 22282 - 4		Έλεγχος / Test checked by:			
TEST WELL : Ground level : WELL DIAGRAM	KDSW21 m	TEST PHASE (delete as appropriate) Pre - pumping /preliminary pumping/ pumping/post-pumping			
	DRILLING	Borehole diameter B : 0.222m			
	Height of wellhead L ₀ = 0.15m	Depth of base L ₁ = 28.65m			
	WELL CASING	Internal diameter : 0.108m			
	Filter length L ₂ : 2.80m	Filter length L ₃ : 2.45m			
	Filter length L ₄ :				
	WELL SCREEN	Internal diameter = 0.108m			
	Length = 21.0m				
	PUMP	Pump discharge Q _e = m ³ /sec			
	Start of pumping	Date: 20/01/2014 Time: 12.00		End of pumping	Date: 20/01/2014 Time: 15.00
	STEP No.1	t min		0 5 10 15 20 25 30 40 50 60 70 80 90 100 110	
WELL	h m	6,14 8,97 10,16 11,26 12,14 12,83 13,66 15,02 15,63 16,55 17,3 17,49 17,6 17,68 17,78			
	Δh = h - h ₀ m	0 2,83 4,02 5,12 6 6,69 7,52 8,88 9,49 10,41 11,16 11,35 11,46 11,54 11,64			
	Q m ³ /h	0,39			
	t min	120			
WELL	h m	17,84			
	Δh = h - h ₀ m	11,7			
	Q m ³ /sec				
STEP No.2	t min	0 5 10 15 20 25 30 40 50 60			
WELL	h m	17,84 19,18 20,64 21,44 22,1 22,74 23,4 23,79 24,11 24,45			
	Δh = h - h ₀ m	11,7 13,04 14,5 15,3 15,96 16,6 17,26 17,65 17,97 18,31			
	Q m ³ /h	0,57			
STEP No.3	t min	0 5 10 15 20 25 30 40 50 60			
WELL	h m	24,45 25,81			
	Δh = h - h ₀ m	18,31 19,67			
	Q m ³ /h	0,71			
STEP No.4	t min	0 5 10 15 20 25 30 40 50 60			
WELL	h m				
	Δh = h - h ₀ m				
	Q m ³ /sec				

Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων
Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

Πίνακας Α.5 Μετρήσεις Πιεζόμετρου KESW21 κατά την άντληση με βαθμίδες

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ PUMPING TEST		Σύνταξη / Test performed by:																					
According to ISO 22282 - 4		Έλεγχος / Test checked by:																					
TEST WELL : KESW21	TEST PHASE (delete as appropriate) Pre - pumping /preliminary pumping/ pumping/post-pumping	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">PIEZOMETERS</th> </tr> <tr> <th>No.</th> <th>Distance from well</th> <th>BH name</th> <th>Base screen L₁, m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>X₁ =</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>X₂ =</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>X₃ =</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		PIEZOMETERS				No.	Distance from well	BH name	Base screen L ₁ , m	1	X ₁ =			2	X ₂ =			3	X ₃ =		
PIEZOMETERS																							
No.	Distance from well			BH name	Base screen L ₁ , m																		
1	X ₁ =																						
2	X ₂ =																						
3	X ₃ =																						
Ground level : m																							
WELL DIAGRAM																							
	DRILLING Borehole diameter B : 0.222m Height of wellhead L ₀ = 0.10m Depth of base L ₁ = 27.10m																						
	WELL CASING Internal diameter : 0.108m Filter length L ₂ : 3.50m Filter length L ₃ : 4.10m Filter length L ₄ :																						
	WELL SCREEN Internal diameter = 0.108m Length = 18.0m																						
	PUMP Pump discharge Q _e = m ³ /sec																						
Start of pumping	Date: 24/01/2014 Time: 09.00	End of pumping	Date: 24/01/2014 Time: 13.30																				
STEP No.1	t min	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	110							
WELL	h m	9,02	11,78	12,19	12,58	12,88	13,11	13,36	13,79	14,03	14,34	14,51	14,68	14,8	14,93	15,03							
	Δh = h - h ₀ m	0	2,76	3,17	3,56	3,86	4,09	4,34	4,77	5,01	5,32	5,49	5,66	5,78	5,91	6,01							
	Q m ³ /h	0,15																					
	t min	120																					
WELL	h m	15,11																					
	Δh = h - h ₀ m	6,09																					
	Q m ³ /sec																						
STEP No.2	t min	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60												
WELL	h m	15,11	15,68	16,19	16,58	16,83	17,08	17,31	17,66	17,84	18,01												
	Δh = h - h ₀ m	6,09	6,66	7,17	7,56	7,81	8,06	8,29	8,64	8,82	8,99												
	Q m ³ /h	0,21																					
STEP No.3	t min	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60												
WELL	h m	18,01	18,54	19,1	19,52	19,9	20,28	20,62	20,95	21,2	21,38												
	Δh = h - h ₀ m	8,99	9,52	10,08	10,5	10,88	11,26	11,6	11,93	12,18	12,36												
	Q m ³ /h	0,26																					
STEP No.4	t min	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60												
WELL	h m	21,38	22,11	23,07	24,14	25,05	25,92																
	Δh = h - h ₀ m	12,36	13,09	14,05	15,12	16,03	16,9																
	Q m ³ /h	0,34																					

Παράρτημα Β. Μετρήσεις δοκιμών άντλησης με σταθερή παροχή

Πίνακας Β.1 Μετρήσεις καταβίβασης της στάθμης κατά την άντληση με σταθερή παροχή-Πιεζόμετρο KASW21

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ PUMPING TEST		Σύνταξη / Test performed by:																																																																													
TEST WELL : KASW21		Ελεγχος / Test checked by:																																																																													
Ground level : m		According to ISO 22282 - 4																																																																													
WELL DIAGRAM		ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ																																																																													
		TEST PHASE (delete as appropriate)		<table border="1"> <thead> <tr> <th>No</th> <th>Distance from well</th> <th>BH name</th> <th>Base screen L1 (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>X₁ = 3.18m</td> <td>KASP21</td> <td>30.10</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>X₂ = 7.24m</td> <td>KASP22</td> <td>25.50</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>X₃ = 93.93m</td> <td>T20P003</td> <td>29.50</td> </tr> </tbody> </table>														No	Distance from well	BH name	Base screen L1 (m)	1	X ₁ = 3.18m	KASP21	30.10	2	X ₂ = 7.24m	KASP22	25.50	3	X ₃ = 93.93m	T20P003	29.50																																														
		No	Distance from well	BH name	Base screen L1 (m)																																																																										
		1	X ₁ = 3.18m	KASP21	30.10																																																																										
		2	X ₂ = 7.24m	KASP22	25.50																																																																										
		3	X ₃ = 93.93m	T20P003	29.50																																																																										
		DRILLING																																																																													
		Borehole diameter B :		0.222m																																																																											
		Height of wellhead L ₀ :		0.17m																																																																											
		Depth of base L ₁ :		29.47m																																																																											
		WELL CASING		<table border="1"> <tr> <td>Internal diameter :</td> <td colspan="15"></td> </tr> <tr> <td>Filter length L₂ :</td> <td colspan="15">1.5m</td> </tr> <tr> <td>Filter length L₃ :</td> <td colspan="15">1.17m</td> </tr> <tr> <td>Filter length L₄ :</td> <td colspan="15"></td> </tr> </table>														Internal diameter :																Filter length L ₂ :	1.5m															Filter length L ₃ :	1.17m															Filter length L ₄ :													
Internal diameter :																																																																															
Filter length L ₂ :	1.5m																																																																														
Filter length L ₃ :	1.17m																																																																														
Filter length L ₄ :																																																																															
WELL SCREEN		<table border="1"> <tr> <td>Internal diameter =</td> <td colspan="15">0.108m</td> </tr> <tr> <td>Length =</td> <td colspan="15">24.0m</td> </tr> </table>														Internal diameter =	0.108m															Length =	24.0m																																														
Internal diameter =	0.108m																																																																														
Length =	24.0m																																																																														
PUMP		Pump discharge Q _e = 0.18 m ³ /h																																																																													
Start of pumping		Date: 16/01/2014								End of pumping																																																																					
Time: 10.00										Date: 16/01/2014																																																																					
										Time: 11.30																																																																					
ELAPSED TIME		t	min	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6	7	8	9																																																													
WELL		h	m	9.7	11.28	12.21	12.98	14.02	14.24	14.62	15.11	15.37	15.62	15.88	16.45	16.88	17.25	17.52																																																													
		Δh = h - h ₀	m	0	1.58	2.51	3.28	4.32	4.54	4.92	5.41	5.67	5.92	6.18	6.75	7.18	7.55	7.82																																																													
		Q	m ³ /sec																																																																												
PIEZO X ₁ KASP21		hx1	m	7.67	7.67	7.67	7.67	7.67	7.67	7.67	7.67	7.67	7.67	7.67	7.67	7.67	7.67	7.68																																																													
		Δhx1 (hx1 - hx1.0)	m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01																																																													
PIEZO X ₂ KASP22		hx2	m	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41																																																													
		Δhx2	m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																													
PIEZO X ₃ T20P003		hx3	m	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5																																																													
		Δhx3	m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																													
WELL		t	min	10	11	12	13	14	15	20	25	30	40	50	60	90	120	150																																																													
		h	m	17.88	18.6	19	19.6	20.11	20.93	23.29	24.4	24.78	24.95	25.1	25.25	25.6																																																															
		Δh = h - h ₀	m	8.18	8.9	9.3	9.9	10.41	11.23	13.59	14.7	15.08	15.25	15.4	15.55	15.9																																																															
		Q	m ³ /sec																																																																												
PIEZO X ₁ KASP21		hx1	m	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68	7.69	7.7	7.71	7.72	7.75	7.79	7.8	7.8																																																															
		Δhx1	m	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.08	0.12	0.13	0.13																																																															
PIEZO X ₂ KASP22		hx2	m	7.42	7.42	7.42	7.42	7.42	7.42	7.42	7.43	7.44	7.45	7.46	7.48	7.49																																																															
		Δhx2	m	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08																																																															
PIEZO X ₃ T20P003		hx3	m	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5																																																															
		Δhx3	m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																															
WELL		t	min	180	210	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960																																																													
		h	m																																																																												
		Δh = h - h ₀	m																																																																												
		Q	m ³ /sec																																																																												
PIEZO X ₁ KASP21		hx1	m																																																																												
		Δhx1	m																																																																												
PIEZO X ₂ KASP22		hx2	m																																																																												
		Δhx2	m																																																																												
PIEZO X ₃ T20P003		hx3	m																																																																												
		Δhx3	m																																																																												

Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων
Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

Πίνακας Β.2(α) Μετρήσεις επαναφοράς της στάθμης κατά την άντληση με
σταθερή παροχή-Πιεζόμετρο KASW21

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ PUMPING TEST		Σύνταξη / Test performed by: Δ. Νασούλης														
		Έλεγχος / Test checked by:														
TEST WELL : KASW21		TEST PHASE (delete as appropriate)														
Ground level : m		Pre - pumping /preliminary pumping/ pumping/post-pumping														
WELL DIAGRAM		DRILLING														
		Borehole diameter B : 0.222m														
		Height of wellhead L ₀ = 0.17m														
		Depth of base L ₁ = 29.47m														
		WELL CASING														
		Internal diameter :														
		Filter length L ₂ : 1.5m														
		Filter length L ₃ : 1.17m														
		Filter length L ₄ :														
		WELL SCREEN														
		Internal diameter = 0.108m														
Length = 24.0m																
PUMP		Pump discharge Q _e = m ³ /sec														
Start of post-pumping		Date: 16/01/2014														
		Time: 11.30														
		End of post-pumping														
		Date: 17/01/2014														
		Time: 11.30														
ELAPSED TIME	t min	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9
WELL	h m	25,6	23,9	22,9	22,12	21,46	20,7	20,36	19,85	19,45	19,02	18,57	17,9	17,4	17,06	16,71
	Δh = h - h ₀ m	15,9	14,2	13,2	12,42	11,76	11	10,66	10,15	9,75	9,32	8,87	8,2	7,7	7,36	7,01
	Q m ³ /sec															
PIEZO X ₁ : KASP21	hx ₁ m	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,81	7,82	7,82	7,82
	Δhx ₁ (hx ₁ - hx _{1.0}) m	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,15	0,15	0,15
PIEZO X ₂ : KASP22	hx ₂ m	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49	7,5
	Δhx ₂ m	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09
PIEZO X ₃ : T20P003	hx ₃ m	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
	Δhx ₃ m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t min	10	11	12	13	14	15	20	25	30	40	50	60	90	120	150
WELL	h m	16,51	16,15	15,95	15,8	15,7	15,46	14,95	14,5	14,11	13,52	13,05	12,65	11,69	10,85	10,22
	Δh = h - h ₀ m	6,81	6,45	6,25	6,1	6	5,76	5,25	4,8	4,41	3,82	3,35	2,95	1,99	1,15	0,52
	Q m ³ /sec															
PIEZO X ₁ : KASP21	hx ₁ m	7,82	7,82	7,82	7,82	7,82	7,83	7,83	7,83	7,83	7,86	7,86	7,87	7,89	7,9	7,9
	Δhx ₁ m	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,19	0,19	0,2	0,22	0,23	0,23
PIEZO X ₂ : KASP22	hx ₂ m	7,5	7,5	7,51	7,51	7,51	7,51	7,52	7,52	7,52	7,52	7,53	7,53	7,53	7,53	7,51
	Δhx ₂ m	0,09	0,09	0,1	0,1	0,1	0,1	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,1
PIEZO X ₃ : T20P003	hx ₃ m	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
	Δhx ₃ m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t min	180	210	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960
WELL	h m	9,76	9,4	9,1	8,85	8,65	8,45	8,3	8,2	8,13	8,06	8	7,95	7,9	7,86	7,82
	Δh = h - h ₀ m	0,06	-0,3	-0,6	-0,85	-1,05	-1,25	-1,4	-1,5	-1,57	-1,64	-1,7	-1,75	-1,8	-1,84	-1,88
	Q m ³ /sec															
PIEZO X ₁ : KASP21	hx ₁ m	7,9	7,9	7,88	7,85	7,83	7,81	7,79	7,76	7,74	7,72	7,7	7,68	7,66	7,65	7,64
	Δhx ₁ m	0,23	0,23	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	-0,01	-0,02	-0,03
PIEZO X ₂ : KASP22	hx ₂ m	7,5	7,5	7,5	7,5	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49
	Δhx ₂ m	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
PIEZO X ₃ : T20P003	hx ₃ m	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
	Δhx ₃ m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων
Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

Πίνακας Β.2(β) Μετρήσεις επαναφοράς της στάθμης κατά την άντληση με
σταθερή παροχή-Πιεζόμετρο KASW21

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ PUMPING TEST		Σύνταξη / Test performed by:																					
		Έλεγχος / Test checked by:																					
TEST WELL : KASW21		TEST PHASE (delete as appropriate)																					
Ground level : m		Pre - pumping /preliminary pumping/ pumping/post-pumping																					
WELL DIAGRAM		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ</th> </tr> <tr> <th>No</th> <th>Distance from well</th> <th>BH name</th> <th>Base screen L1 (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>X₁ = 3.18m</td> <td>KASP21</td> <td>30.10</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>X₂ = 7.24m</td> <td>KASP22</td> <td>25.50</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>X₃ = 93.93m</td> <td>T20P003</td> <td>29.50</td> </tr> </tbody> </table>		ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ				No	Distance from well	BH name	Base screen L1 (m)	1	X ₁ = 3.18m	KASP21	30.10	2	X ₂ = 7.24m	KASP22	25.50	3	X ₃ = 93.93m	T20P003	29.50
ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ																							
No	Distance from well	BH name	Base screen L1 (m)																				
1	X ₁ = 3.18m	KASP21	30.10																				
2	X ₂ = 7.24m	KASP22	25.50																				
3	X ₃ = 93.93m	T20P003	29.50																				
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">DRILLING</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Borehole diameter B :</td> <td>0.222m</td> </tr> <tr> <td>Height of wellhead L₀ =</td> <td>0.10m</td> </tr> <tr> <td>Depth of base L₁ =</td> <td>31.80m</td> </tr> </tbody> </table>		DRILLING		Borehole diameter B :	0.222m	Height of wellhead L ₀ =	0.10m	Depth of base L ₁ =	31.80m												
DRILLING																							
Borehole diameter B :	0.222m																						
Height of wellhead L ₀ =	0.10m																						
Depth of base L ₁ =	31.80m																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">WELL CASING</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Internal diameter :</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Filter length L₂ :</td> <td>4.70m</td> </tr> <tr> <td>Filter length L₃ :</td> <td>1.60m</td> </tr> <tr> <td>Filter length L₄ :</td> <td>2.70m</td> </tr> </tbody> </table>		WELL CASING		Internal diameter :	m	Filter length L ₂ :	4.70m	Filter length L ₃ :	1.60m	Filter length L ₄ :	2.70m												
WELL CASING																							
Internal diameter :	m																						
Filter length L ₂ :	4.70m																						
Filter length L ₃ :	1.60m																						
Filter length L ₄ :	2.70m																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">WELL SCREEN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Internal diameter =</td> <td>0.108m</td> </tr> <tr> <td>Length =</td> <td>21.0m</td> </tr> </tbody> </table>		WELL SCREEN		Internal diameter =	0.108m	Length =	21.0m	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PUMP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pump discharge Q_e =</td> <td>m³/sec</td> </tr> </tbody> </table>		PUMP		Pump discharge Q _e =	m ³ /sec										
WELL SCREEN																							
Internal diameter =	0.108m																						
Length =	21.0m																						
PUMP																							
Pump discharge Q _e =	m ³ /sec																						
Start of pumping		Date: 16/01/2014	End of pumping																				
		Time: 11.30	Date: 17/01/2014																				
			Time: 11.30																				
ELAPSED TIME	t min	1020	1080	1140	1200	1260	1320	1380	1440	1500													
WELL	h m	7,79	7,76	7,74	7,72	7,7	7,68	7,67	7,66														
	Δh = h - h ₀ m	-1,91	-1,94	-1,96	-1,98	-2	-2,02	-2,03	-2,04														
	Q m ³ /sec																						
PIEZO X ₁ : KASP21	hx1 m	7,63	7,62	7,61	7,6	7,6	7,59	7,59	7,58														
	Δhx1 (hx1 - hx1.0) m	-0,04	-0,05	-0,06	-0,07	-0,07	-0,08	-0,08	-0,09														
PIEZO X ₂ : KASP22	hx2 m	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49														
	Δhx2 m	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08														
PIEZO X ₃ : T20P003	hx3 m	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5														
	Δhx3 m	0	0	0	0	0	0	0	0														
	t min																						
WELL	h m																						
	Δh = h - h ₀ m																						
	Q m ³ /sec																						
PIEZO X ₁	hx1 m																						
	Δhx1 m																						
PIEZO X ₂	hx2 m																						
	Δhx2 m																						
PIEZO X ₃	hx3 m																						
	Δhx3 m																						

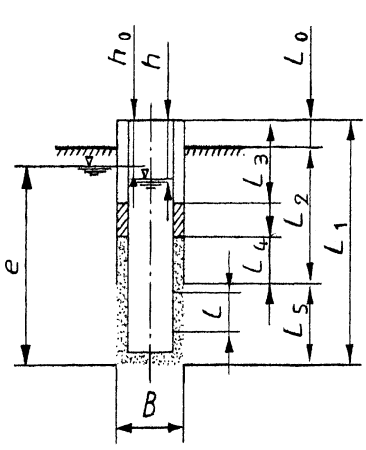
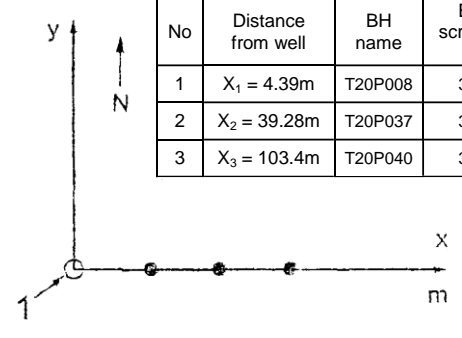
Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων
Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

Πίνακας Β.3(α) Μετρήσεις καταβίβασης της στάθμης κατά την άντληση με σταθερή παροχή-Πιεζόμετρο KBSW21

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ PUMPING TEST		Σύνταξη / Test performed by:														
According to ISO 22282 - 4		Έλεγχος / Test checked by:														
TEST WELL : Ground level : WELL DIAGRAM	KBSW21 m	TEST PHASE (delete as appropriate) Pre - pumping /preliminary pumping/ pumping/post-pumping														
	DRILLING	Borehole diameter B : 0.222m														
		Height of wellhead L ₀ = 0.15m														
		Depth of base L ₁ = 31.85m														
	WELL CASING	Internal diameter : m														
		Filter length L ₂ : 2.0m														
		Filter length L ₃ : 1.67m														
		Filter length L ₄ :														
	WELL SCREEN	Internal diameter = 0.108m														
		Length = 21.0m														
	PUMP	Pump discharge Q _e = 2.0 m ³ /h														
Start of pumping	Date: 13/01/2014 Time: 14.00	End of pumping	Date: 14/01/2014 Time: 15.00													
ELAPSED TIME	t min	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6	7	8	9
WELL	h m	9,01	11,71	11,89	12,54	13,17	13,55	14,08	14,63	15,01	15,42	15,65	16,39	17,23	17,64	17,82
	Δh = h - h ₀ m	0	2,7	2,88	3,53	4,16	4,54	5,07	5,62	6	6,41	6,64	7,38	8,22	8,63	8,81
	Q m ³ /sec															
PIEZO X ₁ : T20P008	hx1 m	8,08	8,09	8,09	8,1	8,12	8,12	8,15	8,17	8,18	8,23	8,28	8,33	8,37	8,43	8,48
	Δhx1 (hx1 - hx1.0) m	0	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04	0,07	0,09	0,1	0,15	0,2	0,25	0,29	0,35	0,4
PIEZO X ₂ : T20P037	hx2 m	8,83	8,83	8,83	8,83	8,83	8,83	8,83	8,83	8,83	8,83	8,83	8,83	8,83	8,83	8,83
	Δhx2 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PIEZO X ₃ : T20P040	hx3 m	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77
	Δhx3 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t min	10	11	12	13	14	15	20	25	30	40	50	60	90	120	150
WELL	h m	18,02	18,21	18,38	18,53	18,65	18,76	19,18	19,43	19,65	19,84	20,05	20,28	21,34	21,49	21,7
	Δh = h - h ₀ m	9,01	9,2	9,37	9,52	9,64	9,75	10,17	10,42	10,64	10,83	11,04	11,27	12,33	12,48	12,69
	Q m ³ /sec															
PIEZO X ₁ : T20P008	hx1 m	8,53	8,57	8,62	8,66	8,7	8,8	8,86	8,89	9,08	9,24	9,35	9,47	9,72	9,94	10,08
	Δhx1 m	0,45	0,49	0,54	0,58	0,62	0,72	0,78	0,81	1	1,16	1,27	1,39	1,64	1,86	2
PIEZO X ₂ : T20P037	hx2 m	8,83	8,83	8,83	8,83	8,83	8,83	8,83	8,83	8,83	8,84	8,85	8,86	8,9	8,94	8,99
	Δhx2 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,02	0,03	0,07	0,11	0,16
PIEZO X ₃ : T20P040	hx3 m	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77
	Δhx3 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t min	180	210	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960
WELL	h m	21,92	21,97	22,04	22,55	22,67	22,68	22,8	22,88	23,68	23,68	23,7	23,71	23,72	23,73	23,76
	Δh = h - h ₀ m	12,91	12,96	13,03	13,54	13,66	13,67	13,79	13,87	14,67	14,67	14,69	14,7	14,71	14,72	14,75
	Q m ³ /sec															
PIEZO X ₁ : T20P008	hx1 m	10,2	10,3	10,38	10,51	10,61	10,7	10,76	10,81	10,86	10,91	10,95	10,98	11,01	11,04	11,07
	Δhx1 m	2,12	2,22	2,3	2,43	2,53	2,62	2,68	2,73	2,78	2,83	2,87	2,9	2,93	2,96	2,99
PIEZO X ₂ : T20P037	hx2 m	9,03	9,09	9,14	9,22	9,28	9,34	9,38	9,41	9,45	9,5	9,51	9,53	9,58	9,62	9,66
	Δhx2 m	0,2	0,26	0,31	0,39	0,45	0,51	0,55	0,58	0,62	0,67	0,68	0,7	0,75	0,79	0,83
PIEZO X ₃ : T20P040	hx3 m	11,78	11,78	11,78	11,78	11,78	11,78	11,78	11,78	11,78	11,78	11,78	11,78	11,8	11,8	11,8
	Δhx3 m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03

Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων
Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

Πίνακας Β.3(β) Μετρήσεις καταβίβασης της στάθμης κατά την άντληση με σταθερή παροχή-Πιεζόμετρο KBSW21

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ		PUMPING TEST		According to ISO 22282 - 4		Σύνταξη / Test performed by:																						
						Έλεγχος / Test checked by:																						
TEST WELL :	KBSW21	TEST PHASE (delete as appropriate)																										
Ground level :	m	Pre - pumping /preliminary pumping/ pumping/post-pumping																										
WELL DIAGRAM		DRILLING Borehole diameter B : 0.222m Height of wellhead L ₀ = 0.15m Depth of base L ₁ = 31.85m WELL CASING Internal diameter : m Filter length L ₂ : 2.0m Filter length L ₃ : 1.67m Filter length L ₄ : WELL SCREEN Internal diameter = 0.108m Length = 21.0m PUMP Pump discharge Q _e = 2.0 m ³ /h						<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ</th> </tr> <tr> <th>No</th> <th>Distance from well</th> <th>BH name</th> <th>Base screen L1 (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>X₁ = 4.39m</td> <td>T20P008</td> <td>31.00</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>X₂ = 39.28m</td> <td>T20P037</td> <td>30.00</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>X₃ = 103.4m</td> <td>T20P040</td> <td>33.00</td> </tr> </tbody> </table> 	ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ				No	Distance from well	BH name	Base screen L1 (m)	1	X ₁ = 4.39m	T20P008	31.00	2	X ₂ = 39.28m	T20P037	30.00	3	X ₃ = 103.4m	T20P040	33.00
ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ																												
No	Distance from well	BH name	Base screen L1 (m)																									
1	X ₁ = 4.39m	T20P008	31.00																									
2	X ₂ = 39.28m	T20P037	30.00																									
3	X ₃ = 103.4m	T20P040	33.00																									
Start of pumping	Date: 13/01/2014 Time: 14.00	End of pumping	Date: 14/01/2014 Time: 15.00																									
ELAPSED TIME	t min	1020	1080	1140	1200	1260	1320	1380	1440	1500																		
WELL	h m	23,82	23,88	23,98	24,08	24,1	24,16	24,21	24,22	24,23																		
	Δh = h - h ₀ m	14,81	14,87	14,97	15,07	15,09	15,15	15,2	15,21	15,22																		
	Q m ³ /sec																											
PIEZO X₁: T20P008	hx1 m	11,1	11,14	11,15	11,18	11,2	11,21	11,21	11,22	11,22																		
	Δhx1 (hx1 - hx1.0) m	3,02	3,06	3,07	3,1	3,12	3,13	3,13	3,14	3,14																		
PIEZO X₁: T20P037	hx2 m	9,67	9,68	9,7	9,72	9,73	9,74	9,75	9,75	9,75																		
	Δhx2 m	0,84	0,85	0,87	0,89	0,9	0,91	0,92	0,92	0,92																		
PIEZO X₃: T20P040	hx3 m	11,81	11,82	11,82	11,82	11,83	11,83	11,83	11,83	11,83																		
	Δhx3 m	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06																		
	t min																											
WELL	h m																											
	Δh = h - h ₀ m																											
	Q m ³ /sec																											
PIEZO X₁	hx1 m																											
	Δhx1 m																											
PIEZO X₂	hx2 m																											
	Δhx2 m																											
PIEZO X₃	hx3 m																											
	Δhx3 m																											

Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων
Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

Πίνακας Β.4(α) Μετρήσεις επαναφοράς της στάθμης κατά την άντληση με σταθερή παροχή-Πιεζόμετρο KBSW21

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ		Σύνταξη / Test performed by:																					
PUMPING TEST		Έλεγχος / Test checked by:																					
According to ISO 22282 - 4																							
TEST WELL : Ground level : WELL DIAGRAM	KBSW21 m	TEST PHASE (delete as appropriate) Pre - pumping /preliminary pumping/ pumping/post-pumping																					
	DRILLING	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Borehole diameter B :</td> <td>0.222m</td> </tr> <tr> <td>Height of wellhead L₀ =</td> <td>0.15m</td> </tr> <tr> <td>Depth of base L₁ =</td> <td>31.85m</td> </tr> </table>														Borehole diameter B :	0.222m	Height of wellhead L ₀ =	0.15m	Depth of base L ₁ =	31.85m		
	Borehole diameter B :	0.222m																					
	Height of wellhead L ₀ =	0.15m																					
	Depth of base L ₁ =	31.85m																					
	WELL CASING	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Internal diameter :</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Filter length L₂ :</td> <td>2.0m</td> </tr> <tr> <td>Filter length L₃ :</td> <td>1.67m</td> </tr> <tr> <td>Filter length L₄ :</td> <td></td> </tr> </table>														Internal diameter :	m	Filter length L ₂ :	2.0m	Filter length L ₃ :	1.67m	Filter length L ₄ :	
	Internal diameter :	m																					
	Filter length L ₂ :	2.0m																					
	Filter length L ₃ :	1.67m																					
	Filter length L ₄ :																						
	WELL SCREEN	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Internal diameter =</td> <td>0.108m</td> </tr> <tr> <td>Length =</td> <td>21.0m</td> </tr> </table>														Internal diameter =	0.108m	Length =	21.0m				
Internal diameter =	0.108m																						
Length =	21.0m																						
PUMP	Pump discharge Q _e = 2.0 m ³ /h																						
Start of post-pumping	Date: 14/01/2014 Time: 15.00	End of post-pumping										Date: 15/01/2014 Time: 15.00											
ELAPSED TIME	t min	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9							
WELL	h m	24,23	22,9	21,09	20,78	19,89	19,19	18,55	17,95	17,38	16,8	16,33	15,39	14,6	13,92	13,4							
	Δh = h - h ₀ m	15,22	13,89	12,08	11,77	10,88	10,18	9,54	8,94	8,37	7,79	7,32	6,38	5,59	4,91	4,39							
	Q m ³ /sec																						
PIEZO X ₁ : T20P008	hx1 m	11,22	11,22	11,22	11,22	11,22	11,22	11,22	11,22	11,22	11,2	11,19	11,15	11,11	11,07	11,03							
	Δhx1 (hx1 - hx1.0) m	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,12	3,11	3,07	3,03	2,99	2,95							
PIEZO X ₂ : T20P037	hx2 m	9,76	9,76	9,76	9,76	9,76	9,76	9,76	9,76	9,76	9,76	9,76	9,76	9,76	9,76	9,76							
	Δhx2 m	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93							
PIEZO X ₃ : T20P040	hx3 m	11,84	11,84	11,84	11,84	11,84	11,84	11,84	11,84	11,84	11,84	11,84	11,84	11,84	11,84	11,84							
	Δhx3 m	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07							
	t min	10	11	12	13	14	15	20	25	30	40	50	60	90	120	150							
WELL	h m	13,03	12,78	12,58	12,38	12,24	12,11	11,68	11,47	11,34	11,16	11	10,91	10,67	10,49	10,34							
	Δh = h - h ₀ m	4,02	3,77	3,57	3,37	3,23	3,1	2,67	2,46	2,33	2,15	1,99	1,9	1,66	1,48	1,33							
	Q m ³ /sec																						
PIEZO X ₁ : T20P008	hx1 m	10,98	10,94	10,89	10,85	10,8	10,76	10,59	10,44	10,33	10,18	10,01	9,93	9,71	9,55	9,41							
	Δhx1 m	2,9	2,86	2,81	2,77	2,72	2,68	2,51	2,36	2,25	2,1	1,93	1,85	1,63	1,47	1,33							
PIEZO X ₂ : T20P037	hx2 m	9,76	9,76	9,76	9,76	9,76	9,76	9,76	9,76	9,76	9,76	9,76	9,75	9,73	9,69	9,65							
	Δhx2 m	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,92	0,9	0,86	0,82							
PIEZO X ₃ : T20P040	hx3 m	11,84	11,84	11,84	11,84	11,84	11,84	11,84	11,84	11,84	11,84	11,84	11,84	11,84	11,85	11,86							
	Δhx3 m	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,09							
	t min	180	210	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960							
WELL	h m	10,23	10,14	10,06	9,98	9,91	9,84	9,78	9,72	9,67	9,62	9,58	9,54	9,51	9,48	9,45							
	Δh = h - h ₀ m	1,22	1,13	1,05	0,97	0,9	0,83	0,77	0,71	0,66	0,61	0,57	0,53	0,5	0,47	0,44							
	Q m ³ /sec																						
PIEZO X ₁ : T20P008	hx1 m	9,29	9,19	9,11	9,03	8,96	8,89	8,83	8,77	8,72	8,67	8,62	8,58	8,54	8,5	8,47							
	Δhx1 m	1,21	1,11	1,03	0,95	0,88	0,81	0,75	0,69	0,64	0,59	0,54	0,5	0,46	0,42	0,39							
PIEZO X ₂ : T20P037	hx2 m	9,63	9,59	9,56	9,51	9,46	9,42	9,38	9,35	9,32	9,29	9,26	9,23	9,2	9,17	9,15							
	Δhx2 m	0,8	0,76	0,73	0,68	0,63	0,59	0,55	0,52	0,49	0,46	0,43	0,4	0,37	0,34	0,32							
PIEZO X ₃ : T20P040	hx3 m	11,86	11,86	11,86	11,86	11,86	11,87	11,87	11,87	11,87	11,87	11,87	11,87	11,87	11,88	11,88							
	Δhx3 m	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,11	0,11							

Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων
Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

Πίνακας Β.4(β) Μετρήσεις επαναφοράς της στάθμης κατά την άντληση με σταθερή παροχή-Πιεζόμετρο KBSW21

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ		Σύνταξη / Test performed by:																					
PUMPING TEST		Έλεγχος / Test checked by:																					
According to ISO 22282 - 4																							
TEST WELL : Ground level : WELL DIAGRAM	KBSW21 m	TEST PHASE (delete as appropriate) Pre - pumping /preliminary pumping/ pumping/ post-pumping	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ</th> </tr> <tr> <th>No</th> <th>Distance from well</th> <th>BH name</th> <th>Base screen L1 (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>X₁ = 4.39m</td> <td>T20P008</td> <td>31.00</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>X₂ = 39.28m</td> <td>T20P037</td> <td>30.00</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>X₃ = 103.4m</td> <td>T20P040</td> <td>33.00</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Key 1 well axis Diagram of piezometer placements</p>	ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ				No	Distance from well	BH name	Base screen L1 (m)	1	X ₁ = 4.39m	T20P008	31.00	2	X ₂ = 39.28m	T20P037	30.00	3	X ₃ = 103.4m	T20P040	33.00
ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ																							
No	Distance from well	BH name		Base screen L1 (m)																			
1	X ₁ = 4.39m	T20P008		31.00																			
2	X ₂ = 39.28m	T20P037		30.00																			
3	X ₃ = 103.4m	T20P040		33.00																			
		DRILLING Borehole diameter B : 0.222m Height of wellhead L ₀ = 0.15m Depth of base L ₁ = 31.85m																					
WELL CASING Internal diameter : m Filter length L ₂ : 2.0m Filter length L ₃ : 1.67m Filter length L ₄ :		WELL SCREEN Internal diameter = 0.108m Length = 21.0m																					
PUMP		Pump discharge Q _e = 2.0 m ³ /h																					
Start of post-pumping	Date: 14/01/2014 Time: 15.00	End of post-pumping		Date: 15/01/2014 Time: 15.00																			
ELAPSED TIME	t min	1020	1080	1140	1200	1260	1320	1380	1440	1500													
WELL	h m	9,43	9,41	9,39	9,38	9,37	9,36	9,35	9,34	9,34													
	Δh = h - h ₀ m	0,42	0,4	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33														
	Q m ³ /sec																						
PIEZO X ₁ : T20P008	hx1 m	8,45	8,43	8,41	8,4	8,39	8,38	8,37	8,36														
	Δhx1 (hx1 - hx1.0) m	0,37	0,35	0,33	0,32	0,31	0,3	0,29	0,28														
PIEZO X ₂ : T20P037	hx2 m	9,13	9,11	9,09	9,08	9,07	9,06	9,05	9,05														
	Δhx2 m	0,3	0,28	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22	0,22														
PIEZO X ₃ : T20P040	hx3 m	11,88	11,87	11,85	11,83	11,81	11,8	11,79	11,78														
	Δhx3 m	0,11	0,1	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01														
WELL	t min																						
	h m																						
	Δh = h - h ₀ m																						
	Q m ³ /sec																						
PIEZO X ₁	hx1 m																						
	Δhx1 m																						
PIEZO X ₂	hx2 m																						
	Δhx2 m																						
PIEZO X ₃	hx3 m																						
	Δhx3 m																						

Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων
Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

Πίνακας Β.5(α) Μετρήσεις καταβίβασης της στάθμης κατά την άντληση με σταθερή παροχή-Πιεζόμετρο KCSW21

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ PUMPING TEST		Σύνταξη / Test performed by:														
According to ISO 22282 - 4		Έλεγχος / Test checked by:														
TEST WELL : Ground level : WELL DIAGRAM	KCSW21 m	TEST PHASE (delete as appropriate) Pre - pumping /preliminary pumping/ pumping/post-pumping														
	DRILLING	Borehole diameter B : 0.222m														
	Height of wellhead L ₀ = 0.15m	Depth of base L ₁ = 32.15m														
	WELL CASING	Internal diameter : m														
	Filter length L ₂ : 3.45m	Filter length L ₃ : 3.80m														
	Filter length L ₄ :															
	WELL SCREEN	Internal diameter = 0.108m														
	Length = 21.0m															
	PUMP	Pump discharge Q _e = 1.20 m ³ /h														
	Start of pumping	Date: 18/01/2014 Time: 10.00		End of pumping	Date: 19/01/2014 Time: 10.00											
	ELAPSED TIME	t min		0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7
WELL	h m	17,48	18,2	18,37	18,59	18,81	19,02	19,21	19,38	19,62	19,79	20,01	20,31	20,75	21,25	21,26
	Δh = h - h ₀ m	0	0,72	0,89	1,11	1,33	1,54	1,73	1,9	2,14	2,31	2,53	2,83	3,27	3,77	3,78
	Q m ³ /sec															
PIEZO X ₁ : KCSP22	hx1 m	17,3	17,31	17,32	17,33	17,34	17,35	17,35	17,37	17,38	17,38	17,39	17,41	17,43	17,45	17,47
	Δhx1 (hx1 - hx1.0) m	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,07	0,08	0,08	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17
PIEZO X ₂ : KCSP23	hx2 m	16,27	16,27	16,27	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28
	Δhx2 m	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
PIEZO X ₃ : T20P010	hx3 m	17,08	17,08	17,09	17,09	17,09	17,09	17,09	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,11	17,11	17,12
	Δhx3 m	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04
	t min	10	11	12	13	14	15	20	25	30	40	50	60	90	120	150
WELL	h m	21,32	21,5	21,68	21,84	22,09	22,37	23,35	23,89	24,25	24,65	24,87	24,97	25,17	25,25	25,27
	Δh = h - h ₀ m	3,84	4,02	4,2	4,36	4,61	4,89	5,87	6,41	6,77	7,17	7,39	7,49	7,69	7,77	7,79
	Q m ³ /sec															
PIEZO X ₁ : KCSP22	hx1 m	17,49	17,5	17,51	17,52	17,54	17,55	17,62	17,69	17,72	17,78	17,81	17,84	17,89	17,92	17,94
	Δhx1 m	0,19	0,2	0,21	0,22	0,24	0,25	0,32	0,39	0,42	0,48	0,51	0,54	0,59	0,62	0,64
PIEZO X ₂ : KCSP23	hx2 m	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,29	16,29	16,29
	Δhx2 m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
PIEZO X ₃ : T20P010	hx3 m	17,12	17,13	17,13	17,13	17,14	17,14	17,15	17,17	17,19	17,21	17,23	17,24	17,27	17,3	17,3
	Δhx3 m	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,16	0,19	0,22	0,22
	t min	180	210	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960
WELL	h m	25,28	25,63	26,4	26,59	27,18	27,15	27,37	27,8	27,94	27,94	28,21	28,33	28,27	28,25	28,45
	Δh = h - h ₀ m	7,8	8,15	8,92	9,11	9,7	9,67	9,89	10,32	10,46	10,46	10,73	10,85	10,79	10,77	10,97
	Q m ³ /sec															
PIEZO X ₁ : KCSP22	hx1 m	17,95	17,98	18,01	18,04	18,06	18,08	18,09	18,11	18,13	18,14	18,15	18,16	18,18	18,19	18,2
	Δhx1 m	0,65	0,68	0,71	0,74	0,76	0,78	0,79	0,81	0,83	0,84	0,85	0,86	0,88	0,89	0,9
PIEZO X ₂ : KCSP23	hx2 m	16,29	16,29	16,29	16,3	16,3	16,31	16,32	16,34	16,35	16,35	16,35	16,37	16,37	16,38	16,39
	Δhx2 m	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	0,08	0,08	0,1	0,1	0,11	0,12
PIEZO X ₃ : T20P010	hx3 m	17,32	17,34	17,36	17,39	17,4	17,42	17,43	17,46	17,47	17,49	17,5	17,51	17,52	17,53	17,54
	Δhx3 m	0,24	0,26	0,28	0,31	0,32	0,34	0,35	0,38	0,39	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46

Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων
Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

Πίνακας Β.5(β) Μετρήσεις καταβίβασις της στάθμης κατά την άντληση με
σταθερή παροχή-Πιεζόμετρο KCSW21

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ PUMPING TEST		Σύνταξη / Test performed by:																					
According to ISO 22282 - 4		Έλεγχος / Test checked by:																					
TEST WELL : Ground level : WELL DIAGRAM	KCSW21 m	TEST PHASE (delete as appropriate) Pre - pumping /preliminary pumping/ pumping/post-pumping																					
	DRILLING	Borehole diameter B : 0.222m	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ</th> </tr> <tr> <th>No</th> <th>Distance from well</th> <th>BH name</th> <th>Base screen L1 (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>X₁ = 3.56m</td> <td>KCSP22</td> <td>27.50</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>X₂ = 31.93m</td> <td>KCSP23</td> <td>27.50</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>X₃ = 8.25m</td> <td>T20P010</td> <td>31.30</td> </tr> </tbody> </table> 	ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ				No	Distance from well	BH name	Base screen L1 (m)	1	X ₁ = 3.56m	KCSP22	27.50	2	X ₂ = 31.93m	KCSP23	27.50	3	X ₃ = 8.25m	T20P010	31.30
	ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ																						
	No	Distance from well		BH name	Base screen L1 (m)																		
	1	X ₁ = 3.56m		KCSP22	27.50																		
	2	X ₂ = 31.93m		KCSP23	27.50																		
	3	X ₃ = 8.25m		T20P010	31.30																		
	WELL CASING	Internal diameter : m																					
	Filter length L ₂ :	3.45m																					
	Filter length L ₃ :	3.80m																					
	Filter length L ₄ :																						
WELL SCREEN	Internal diameter = 0.108m																						
Length =	21.0m																						
PUMP	Pump discharge Q _e = 1.20 m ³ /h																						
Start of pumping	Date: 18/01/2014 Time: 10.00	End of pumping	Date: 19/01/2014 Time: 10.00																				
ELAPSED TIME	t min	1020	1080	1140	1200	1260	1320	1380	1440	1500													
WELL	h m	28,52	28,56	28,59	28,61	28,64	28,66	28,68	28,69														
	Δh = h - h ₀ m	11,04	11,08	11,11	11,13	11,16	11,18	11,2	11,21														
	Q m ³ /sec																						
PIEZO X ₁ : KCSP22	hx1 m	18,21	18,22	18,23	18,24	18,24	18,25	18,26	18,26														
	Δhx1 (hx1 - hx1.0) m	0,91	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,96	0,96														
PIEZO X ₂ : KCSP23	hx2 m	16,4	16,42	16,42	16,42	16,42	16,42	16,42	16,42														
	Δhx2 m	0,13	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15														
PIEZO X ₃ : T20P010	hx3 m	17,55	17,56	17,57	17,58	17,59	17,59	17,59	17,59														
	Δhx3 m	0,47	0,48	0,49	0,5	0,51	0,51	0,51	0,51														
WELL	t min																						
	h m																						
	Δh = h - h ₀ m																						
	Q m ³ /sec																						
PIEZO X ₁	hx1 m																						
	Δhx1 m																						
PIEZO X ₂	hx2 m																						
	Δhx2 m																						
PIEZO X ₃	hx3 m																						
	Δhx3 m																						

Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων
Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

Πίνακας Β.6(α) Μετρήσεις επαναφοράς της στάθμης κατά την άντληση με
σταθερή παροχή-Πιεζόμετρο KCSW21

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ		Σύνταξη / Test performed by:																																	
PUMPING TEST		Έλεγχος / Test checked by:																																	
According to ISO 22282 - 4																																			
TEST WELL : Ground level : WELL DIAGRAM	KCSW21 m	TEST PHASE (delete as appropriate) Pre - pumping /preliminary pumping/ pumping/post-pumping																																	
	DRILLING	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ</th> </tr> <tr> <th>No</th> <th>Distance from well</th> <th>BH name</th> <th>Base screen L1 (m)</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>X₁ = 3.56m</td> <td>KCSP22</td> <td>27.50</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>X₂ = 31.93m</td> <td>KCSP23</td> <td>27.50</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>X₃ = 8.25m</td> <td>T20P010</td> <td>31.30</td> </tr> </table>														ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ				No	Distance from well	BH name	Base screen L1 (m)	1	X ₁ = 3.56m	KCSP22	27.50	2	X ₂ = 31.93m	KCSP23	27.50	3	X ₃ = 8.25m	T20P010	31.30
	ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ																																		
	No	Distance from well	BH name	Base screen L1 (m)																															
	1	X ₁ = 3.56m	KCSP22	27.50																															
	2	X ₂ = 31.93m	KCSP23	27.50																															
	3	X ₃ = 8.25m	T20P010	31.30																															
	Borehole diameter B :	0.222m																																	
	Height of wellhead L ₀ =	0.15m																																	
	Depth of base L ₁ =	32.15m																																	
	WELL CASING	Internal diameter : m																																	
Filter length L ₂ :	3.45m																																		
Filter length L ₃ :	3.80m																																		
Filter length L ₄ :																																			
WELL SCREEN	Internal diameter = 0.108m																																		
PUMP	Length = 21.0m																																		
Pump discharge Q _e =		m ³ /sec																																	
Start of post-pumping		Date: 19/01/2014						End of post-pumping						Date: 20/01/2014																					
		Time: 10.00												Time: 10.00																					
ELAPSED TIME	t	min	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9																		
WELL	h	m	28,7	27,65	26,8	26,15	25,56	25,05	24,6	24,05	23,55	23,12	22,85	22,15	21,6	21,15	20,75																		
	Δh = h - h ₀	m	11,22	10,17	9,32	8,67	8,08	7,57	7,12	6,57	6,07	5,64	5,37	4,67	4,12	3,67	3,27																		
	Q	m ³ /sec																																	
PIEZO X ₁ : KCSP22	hx1	m	18,26	18,26	18,26	18,26	18,26	18,26	18,26	18,25	18,25	18,23	18,22	18,19	18,17	18,16	18,14																		
	Δhx1 (hx1 - hx1.0)	m	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,93	0,92	0,89	0,87	0,86	0,84																		
PIEZO X ₂ : KCSP23	hx2	m	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44																		
	Δhx2	m	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17																		
PIEZO X ₃ : T20P010	hx3	m	17,59	17,59	17,59	17,59	17,59	17,59	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,59	17,57																		
	Δhx3	m	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,49																		
	t	min	10	11	12	13	14	15	20	25	30	40	50	60	90	120	150																		
WELL	h	m	20,48	20,25	20	19,79	19,62	19,44	18,9	18,48	18,32	18,13	18,03	17,98	17,9	17,87	17,84																		
	Δh = h - h ₀	m	3	2,77	2,52	2,31	2,14	1,96	1,42	1	0,84	0,65	0,55	0,5	0,42	0,39	0,36																		
	Q	m ³ /sec																																	
PIEZO X ₁ : KCSP22	hx1	m	18,11	18,08	18,07	18,05	18,03	18,01	17,94	17,91	17,85	17,8	17,76	17,74	17,69	17,65	17,63																		
	Δhx1	m	0,81	0,78	0,77	0,75	0,73	0,71	0,64	0,61	0,55	0,5	0,46	0,44	0,39	0,35	0,33																		
PIEZO X ₂ : KCSP23	hx2	m	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44	16,44	16,43	16,42	16,42																		
	Δhx2	m	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,15	0,15																		
PIEZO X ₃ : T20P010	hx3	m	17,57	17,56	17,56	17,55	17,55	17,55	17,52	17,5	17,49	17,47	17,45	17,44	17,42	17,39	17,38																		
	Δhx3	m	0,49	0,48	0,48	0,47	0,47	0,47	0,44	0,42	0,41	0,39	0,37	0,36	0,34	0,31	0,3																		
	t	min	180	210	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960																		
WELL	h	m	17,81	17,8	17,79	17,77	17,74	17,72	17,7	17,68	17,66	17,64	17,62	17,6	17,58	17,57	17,56																		
	Δh = h - h ₀	m	0,33	0,32	0,31	0,29	0,26	0,24	0,22	0,2	0,18	0,16	0,14	0,12	0,1	0,09	0,08																		
	Q	m ³ /sec																																	
PIEZO X ₁ : KCSP22	hx1	m	17,61	17,6	17,58	17,56	17,54	17,52	17,51	17,5	17,49	17,48	17,47	17,46	17,45	17,44	17,43																		
	Δhx1	m	0,31	0,3	0,28	0,26	0,24	0,22	0,21	0,2	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13																		
PIEZO X ₂ : T20P010	hx2	m	16,41	16,41	16,41	16,41	16,4	16,4	16,39	16,39	16,38	16,38	16,37	16,37	16,36	16,35	16,34																		
	Δhx2	m	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	0,1	0,1	0,09	0,08	0,07																		
PIEZO X ₃ : T20P040	hx3	m	17,36	17,35	17,33	17,32	17,31	17,3	17,29	17,28	17,27	17,26	17,25	17,24	17,23	17,22	17,21																		
	Δhx3	m	0,28	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,2	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13																		

Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων
Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

Πίνακας Β.6(β) Μετρήσεις επαναφοράς της στάθμης κατά την άντληση με
σταθερή παροχή-Πιεζόμετρο KCSW21

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ		Σύνταξη / Test performed by:																													
PUMPING TEST		Έλεγχος / Test checked by:																													
According to ISO 22282 - 4																															
TEST WELL : KCSW21	TEST PHASE (delete as appropriate)	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ</th> </tr> <tr> <th>No</th> <th>Distance from well</th> <th>BH name</th> <th>Base screen L1 (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>X₁ = 3.56m</td> <td>KCSP22</td> <td>27.50</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>X₂ = 31.93m</td> <td>KCSP23</td> <td>27.50</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>X₃ = 8.25m</td> <td>T20P010</td> <td>31.30</td> </tr> </tbody> </table> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>Key 1 well axis Diagram of piezometer placements</p> </div>		ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ				No	Distance from well	BH name	Base screen L1 (m)	1	X ₁ = 3.56m	KCSP22	27.50	2	X ₂ = 31.93m	KCSP23	27.50	3	X ₃ = 8.25m	T20P010	31.30								
ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ																															
No	Distance from well			BH name	Base screen L1 (m)																										
1	X ₁ = 3.56m			KCSP22	27.50																										
2	X ₂ = 31.93m			KCSP23	27.50																										
3	X ₃ = 8.25m			T20P010	31.30																										
Ground level : m	Pre - pumping /preliminary pumping/ pumping/ post-pumping																														
WELL DIAGRAM	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">DRILLING</td></tr> <tr><td>Borehole diameter B :</td><td style="text-align: right;">0.222m</td></tr> <tr><td>Height of wellhead L₀ =</td><td style="text-align: right;">0.15m</td></tr> <tr><td>Depth of base L₁ =</td><td style="text-align: right;">32.15m</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">WELL CASING</td></tr> <tr><td>Internal diameter :</td><td style="text-align: right;">m</td></tr> <tr><td>Filter length L₂ :</td><td style="text-align: right;">3.45m</td></tr> <tr><td>Filter length L₃ :</td><td style="text-align: right;">3.80m</td></tr> <tr><td>Filter length L₄ :</td><td style="text-align: right;">m</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">WELL SCREEN</td></tr> <tr><td>Internal diameter =</td><td style="text-align: right;">0.108m</td></tr> <tr><td>Length =</td><td style="text-align: right;">21.0m</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">PUMP</td></tr> <tr><td>Pump discharge Q_e =</td><td style="text-align: right;">m³/sec</td></tr> </table>			DRILLING		Borehole diameter B :	0.222m	Height of wellhead L ₀ =	0.15m	Depth of base L ₁ =	32.15m	WELL CASING		Internal diameter :	m	Filter length L ₂ :	3.45m	Filter length L ₃ :	3.80m	Filter length L ₄ :	m	WELL SCREEN		Internal diameter =	0.108m	Length =	21.0m	PUMP		Pump discharge Q _e =	m ³ /sec
DRILLING																															
Borehole diameter B :	0.222m																														
Height of wellhead L ₀ =	0.15m																														
Depth of base L ₁ =	32.15m																														
WELL CASING																															
Internal diameter :	m																														
Filter length L ₂ :	3.45m																														
Filter length L ₃ :	3.80m																														
Filter length L ₄ :	m																														
WELL SCREEN																															
Internal diameter =	0.108m																														
Length =	21.0m																														
PUMP																															
Pump discharge Q _e =	m ³ /sec																														
Start of post-pumping	Date: 19/01/2014	End of post-pumping	Date: 20/01/2014																												
	Time: 10.00		Time: 10.00																												
ELAPSED TIME	<i>t</i> min	1020	1080	1140	1200	1260	1320	1380	1440	1500																					
WELL	<i>h</i> m	17,55	17,54	17,53	17,52	17,51	17,5	17,49	17,48																						
	$\Delta h = h - h_0$ m	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0																						
	<i>Q</i> m ³ /sec																														
PIEZO X₁: KCSP22	<i>hx1</i> m	17,42	17,41	17,4	17,39	17,38	17,38	17,37	17,37																						
	$\Delta hx1 (hx1 - hx1.0)$	0,12	0,11	0,1	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07																						
PIEZO X₂: KCSP23	<i>hx2</i> m	16,34	16,33	16,33	16,32	16,32	16,31	16,31	16,31																						
	$\Delta hx2$ m	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04																						
PIEZO X₃: T20P010	<i>hx3</i> m	17,2	17,19	17,18	17,17	17,17	17,16	17,16	17,16																						
	$\Delta hx3$ m	0,12	0,11	0,1	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08																						
WELL	<i>t</i> min																														
	<i>h</i> m																														
	$\Delta h = h - h_0$ m																														
	<i>Q</i> m ³ /sec																														
PIEZO X₁	<i>hx1</i> m																														
	$\Delta hx1$ m																														
PIEZO X₂	<i>hx2</i> m																														
	$\Delta hx2$ m																														
PIEZO X₃	<i>hx3</i> m																														
	$\Delta hx3$ m																														

Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων
Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

Πίνακας Β.7(α) Μετρήσεις καταβίβασις της στάθμης κατά την άντληση με σταθερή παροχή-Πιεζόμετρο KDSW21

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ		Σύνταξη / Test performed by:														
PUMPING TEST		Έλεγχος / Test checked by:														
According to ISO 22282 - 4																
TEST WELL : Ground level : WELL DIAGRAM	KDSW21 m	TEST PHASE (delete as appropriate) Pre - pumping /preliminary pumping/ pumping/post-pumping														
	DRILLING	Borehole diameter B : 0.222m														
		Height of wellhead L_0 = 0.15m														
		Depth of base L_1 = 28.65m														
	WELL CASING	Internal diameter : 0.108m														
		Filter length L_2 : 2.80m														
		Filter length L_3 : 2.45m														
		Filter length L_4 :														
	WELL SCREEN	Internal diameter = 0.108m														
		Length = 21.0m														
	PUMP	Pump discharge $Q_e = 0.50$ m ³ /h														
Start of pumping	Date: 21/01/2014 Time: 12.00	End of pumping	Date: 22/01/2014 Time: 8.00													
ELAPSED TIME	t min	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9
WELL	h m	6,38	6,7	6,8	6,93	7,04	7,15	7,25	7,43	7,62	7,79	7,93	8,19	8,46	8,72	8,97
	$\Delta h = h - h_0$ m	0	0,32	0,42	0,55	0,66	0,77	0,87	1,05	1,24	1,41	1,55	1,81	2,08	2,34	2,59
	Q m ³ /sec															
PIEZO X_1 : T20P014	hx_1 m	5,96	5,96	5,96	5,96	5,96	5,96	5,96	5,96	5,96	5,96	5,97	5,98	5,98	6	6,01
	$\Delta hx_1 (hx_1 - hx_1.0)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,02	0,02	0,04	0,05
PIEZO X_2 : KDSP21	hx_2 m	5,76	5,76	5,75	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74
	Δhx_2 m	0	0	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
PIEZO X_3 : T20P054	hx_3 m	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69
	Δhx_3 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	t min	10	11	12	13	14	15	20	25	30	40	50	60	90	120	150
WELL	h m	9,23	9,45	9,7	9,94	10,13	10,33	11,21	11,99	12,82	14,25	15,45	16,58	17,4	18,44	19,68
	$\Delta h = h - h_0$ m	2,85	3,07	3,32	3,56	3,75	3,95	4,83	5,61	6,44	7,87	9,07	10,2	11,02	12,06	13,3
	Q m ³ /sec															
PIEZO X_1 : T20P014	hx_1 m	6,02	6,03	6,05	6,06	6,08	6,1	6,19	6,28	6,36	6,55	6,69	6,82	7,05	7,23	7,34
	Δhx_1 m	0,06	0,07	0,09	0,1	0,12	0,14	0,23	0,32	0,4	0,59	0,73	0,86	1,09	1,27	1,38
PIEZO X_2 : KDSP21	hx_2 m	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,73	5,73	5,73	5,73
	Δhx_2 m	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
PIEZO X_3 : T20P054	hx_3 m	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,68	6,68	6,68	6,68	6,67	6,67
	Δhx_3 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02
	t min	180	210	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960
WELL	h m	19,66	19,64	20,51	21,24	22,08	22,72	23,3	23,84	24,3	23,83	23,23	23,1	23,22	23,58	23,97
	$\Delta h = h - h_0$ m	13,28	13,26	14,13	14,86	15,7	16,34	16,92	17,46	17,92	17,45	16,85	16,72	16,84	17,2	17,59
	Q m ³ /sec															
PIEZO X_1 : T20P014	hx_1 m	7,44	7,52	7,58	7,66	7,71	7,78	7,83	7,88	7,93	7,96	7,97	7,98	8	8,01	8,02
	Δhx_1 m	1,48	1,56	1,62	1,7	1,75	1,82	1,87	1,92	1,97	2	2,01	2,02	2,04	2,05	2,06
PIEZO X_2 : KDSP21	hx_2 m	5,72	5,72	5,72	5,72	5,74	5,74	5,74	5,74	5,74	5,75	5,75	5,76	5,76	5,76	5,76
	Δhx_2 m	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	-0,01	0	0	0	0	0
PIEZO X_3 : T20P054	hx_3 m	6,66	6,66	6,66	6,66	6,66	6,66	6,66	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67
	Δhx_3 m	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02

Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων
Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

Πίνακας Β.7(β) Μετρήσεις καταβίβασιμού της στάθμης κατά την άντληση με
σταθερή παροχή-Πιεζόμετρο KDSW21

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ		Σύνταξη / Test performed by:																	
PUMPING TEST		Έλεγχος / Test checked by:																	
According to ISO 22282 - 4																			
TEST WELL : Ground level : WELL DIAGRAM	KDSW21 m	TEST PHASE (delete as appropriate) Pre - pumping /preliminary pumping/ pumping /post-pumping																	
	DRILLING	Borehole diameter B : 0.222m																	
		Height of wellhead L ₀ = 0.15m																	
		Depth of base L ₁ = 28.65m																	
	WELL CASING	Internal diameter : 0.108m																	
		Filter length L ₂ : 2.80m																	
		Filter length L ₃ : 2.45m																	
		Filter length L ₄ :																	
	WELL SCREEN	Internal diameter = 0.108m																	
		Length = 21.0m																	
	PUMP	Pump discharge Q _e = 0.50 m ³ /h																	
Start of pumping	Date: 21/01/2014 Time: 12.00	End of pumping	Date: 22/01/2014 Time: 8.00																
ELAPSED TIME	t min	1020	1080	1140	1200	1260	1320	1380	1440	1500									
WELL	h m	24,62	25,08	25,8															
	Δh = h - h ₀ m	18,24	18,7	19,42															
	Q m ³ /sec																		
PIEZO X ₁ : T20P014	hx1 m	8,04	8,04	8,06															
	Δhx1 (hx1 - hx1.0) m	2,08	2,08	2,1															
PIEZO X ₂ : KDSP21	hx2 m	5,76	5,76	5,76															
	Δhx2 m	0	0	0															
PIEZO X ₃ : T20P054	hx3 m	6,67	6,67	6,67															
	Δhx3 m	-0,02	-0,02	-0,02															
WELL	t min																		
	h m																		
	Δh = h - h ₀ m																		
	Q m ³ /sec																		
PIEZO X ₁	hx1 m																		
	Δhx1 m																		
PIEZO X ₂	hx2 m																		
	Δhx2 m																		
PIEZO X ₃	hx3 m																		
	Δhx3 m																		

Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων
Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

Πίνακας Β.8(α) Μετρήσεις επαναφοράς της στάθμης κατά την άντληση με σταθερή παροχή-Πιεζόμετρο KDSW21

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ PUMPING TEST		Σύνταξη / Test performed by:			
		Έλεγχος / Test checked by:			
TEST WELL : KDSW21 Ground level : m WELL DIAGRAM		TEST PHASE (delete as appropriate) Pre - pumping /preliminary pumping/ pumping/ post-pumping			
		DRILLING Borehole diameter B : 0.222m Height of wellhead L ₀ = 0.15m Depth of base L ₁ = 28.65m			
		WELL CASING Internal diameter : 0.108m Filter length L ₂ : 2.80m Filter length L ₃ : 2.45m Filter length L ₄ :			
		WELL SCREEN Internal diameter = 0.108m Length = 21.0m			
		PUMP Pump discharge Q _e = m ³ /sec			
		Start of post-pumping Date: 22/01/2014 Time: 8:00		End of post-pumping Date: 23/01/2014 Time: 8:00	
		ELAPSED TIME t min		0 0,5 1 1,5 2 2,5 3 3,5 4 4,5 5 6 7 8 9	
		WELL h m Δh = h - h ₀ m Q m ³ /sec		25,8 25,5 25,33 25,17 25,07 24,9 24,8 24,7 24,55 24,45 24,34 24,1 23,91 23,69 23,43 19,42 19,12 18,95 18,79 18,69 18,52 18,42 18,32 18,17 18,07 17,96 17,72 17,53 17,31 17,05 Q	
		PIEZO X₁: T20P014 hx1 m Δhx1 (hx1 - hx1.0)		8,06 8,06 8,06 8,06 8,06 8,06 8,06 8,06 8,06 8,06 8,06 8,06 8,06 8,07 8,07 8,07 2,1 2,1 2,1 2,1 2,1 2,1 2,1 2,1 2,1 2,1 2,1 2,1 2,1 2,11 2,11 2,11	
		PIEZO X₂: KDSP21 hx2 m Δhx2		5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
		PIEZO X₃: T20P054 hx3 m Δhx3		6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02	
WELL t min h m Δh = h - h ₀ m Q m ³ /sec		10 11 12 13 14 15 20 25 30 40 50 60 90 120 150 23,2 22,96 22,72 22,59 22,45 22,17 21,08 19,9 18,72 16,92 15,3 14 10,79 9,37 8,57 16,82 16,58 16,34 16,21 16,07 15,79 14,7 13,52 12,34 10,54 8,92 7,62 4,41 2,99 2,19 Q			
PIEZO X₁: T20P014 hx1 m Δhx1		8,07 8,07 8,07 8,07 8,07 8,08 8,08 8,07 8,06 8,05 8,04 8,03 7,99 7,81 7,61 2,11 2,11 2,11 2,11 2,11 2,12 2,12 2,11 2,1 2,09 2,08 2,07 2,03 1,85 1,65			
PIEZO X₂: KDSP21 hx2 m Δhx2		5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0			
PIEZO X₃: T20P010 hx3 m Δhx3		6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02			
WELL t min h m Δh = h - h ₀ m Q m ³ /sec		180 210 240 300 360 420 480 540 600 660 720 780 840 900 960 8,21 8,01 7,87 7,75 7,66 7,57 7,49 7,42 7,35 7,29 7,23 7,18 7,13 7,09 7,05 1,83 1,63 1,49 1,37 1,28 1,19 1,11 1,04 0,97 0,91 0,85 0,8 0,75 0,71 0,67 Q			
PIEZO X₁: T20P014 hx1 m Δhx1		7,4 7,3 7,2 7,17 7,14 7,11 7,08 7,06 7,04 7,02 7 6,99 6,98 6,97 6,96 1,44 1,34 1,24 1,21 1,18 1,15 1,12 1,1 1,08 1,06 1,04 1,03 1,02 1,01 1			
PIEZO X₂: KDSP21 hx2 m Δhx2		5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 5,76 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0			
PIEZO X₃: T20P040 hx3 m Δhx3		6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 6,67 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02 -0,02			

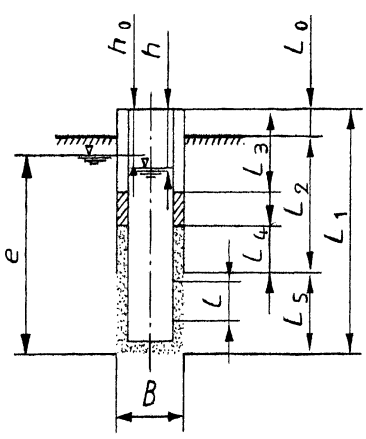
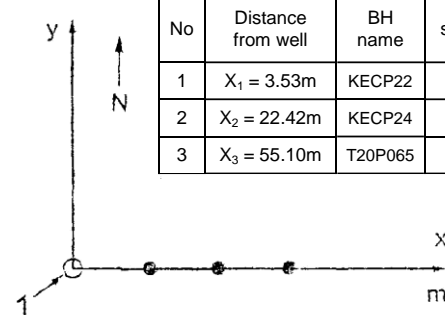
Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων
Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

Πίνακας Β.8(β) Μετρήσεις επαναφοράς της στάθμης κατά την άντληση με
σταθερή παροχή-Πιεζόμετρο KDSW21

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ		Σύνταξη / Test performed by:																					
PUMPING TEST		Έλεγχος / Test checked by:																					
According to ISO 22282 - 4																							
TEST WELL : Ground level : WELL DIAGRAM	KDSW21 m	TEST PHASE (delete as appropriate) Pre - pumping /preliminary pumping/ pumping/ post-pumping																					
	DRILLING	Borehole diameter B : 0.222m	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ</th> </tr> <tr> <th>No</th> <th>Distance from well</th> <th>BH name</th> <th>Base screen L1 (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>X₁ = 3.50m</td> <td>T20P014</td> <td>29.45</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>X₂ = 37.11m</td> <td>KDSP21</td> <td>30.30</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>X₃ = 56.39m</td> <td>T20P054</td> <td>32.20</td> </tr> </tbody> </table> <p>Key 1 well axis Diagram of piezometer placements</p>	ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ				No	Distance from well	BH name	Base screen L1 (m)	1	X ₁ = 3.50m	T20P014	29.45	2	X ₂ = 37.11m	KDSP21	30.30	3	X ₃ = 56.39m	T20P054	32.20
	ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ																						
	No	Distance from well		BH name	Base screen L1 (m)																		
	1	X ₁ = 3.50m		T20P014	29.45																		
	2	X ₂ = 37.11m		KDSP21	30.30																		
	3	X ₃ = 56.39m		T20P054	32.20																		
	WELL CASING	Internal diameter : 0.108m																					
	Filter length L ₂ :	2.80m																					
	Filter length L ₃ :	2.45m																					
	Filter length L ₄ :																						
WELL SCREEN	Internal diameter = 0.108m																						
Length =	21.0m																						
PUMP	Pump discharge Q _e = m ³ /sec																						
Start of post-pumping	Date: 22/01/2014 Time: 8.00	End of post-pumping	Date: 23/01/2014 Time: 8.00																				
ELAPSED TIME	t min	1020	1080	1140	1200	1260	1320	1380	1440	1500													
WELL	h m	7,02	6,99	6,97	6,95	6,94	6,93	6,92	6,91														
	Δh = h - h ₀ m	0,64	0,61	0,59	0,57	0,56	0,55	0,54	0,53														
	Q m ³ /sec																						
PIEZO X ₁ : T20P014	hx1 m	6,95	6,94	6,93	6,92	6,91	6,9	6,89	6,88														
	Δhx1 (hx1 - hx1.0) m	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92														
PIEZO X ₂ : KDSP21	hx2 m	5,76	5,76	5,76	5,76	5,76	5,76	5,76	5,76														
	Δhx2 m	0	0	0	0	0	0	0	0														
PIEZO X ₃ : T20P040	hx3 m	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67														
	Δhx3 m	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02														
WELL	t min																						
	h m																						
	Δh = h - h ₀ m																						
	Q m ³ /sec																						
PIEZO X ₁	hx1 m																						
	Δhx1 m																						
PIEZO X ₂	hx2 m																						
	Δhx2 m																						
PIEZO X ₃	hx3 m																						
	Δhx3 m																						

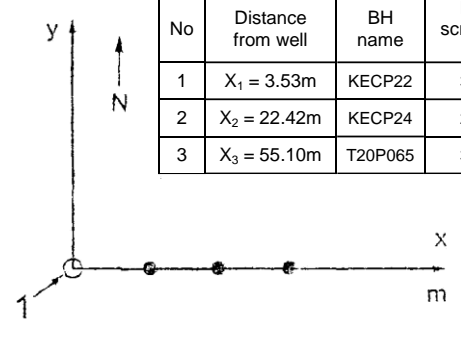
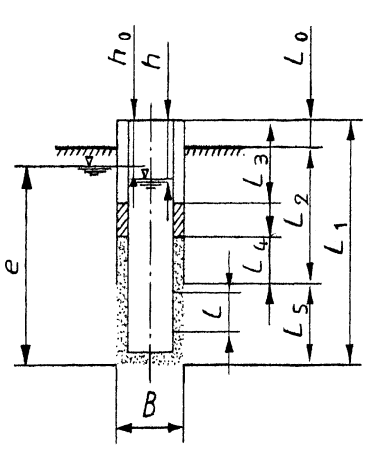
Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων
Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

Πίνακας Β.9(α) Μετρήσεις καταβίβασης της στάθμης κατά την άντληση με σταθερή παροχή-Πιεζόμετρο KESW21

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ		Σύνταξη / Test performed by:																																									
PUMPING TEST		Έλεγχος / Test checked by:																																									
According to ISO 22282 - 4																																											
TEST WELL :	KESW21	TEST PHASE (delete as appropriate)																																									
Ground level :	m	Pre - pumping /preliminary pumping/ pumping/post-pumping																																									
WELL DIAGRAM		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ</th> </tr> <tr> <th>No</th> <th>Distance from well</th> <th>BH name</th> <th>Base screen L1 (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>X₁ = 3.53m</td> <td>KECP22</td> <td>30.20</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>X₂ = 22.42m</td> <td>KECP24</td> <td>20.50</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>X₃ = 55.10m</td> <td>T20P065</td> <td>30.00</td> </tr> </tbody> </table>														ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ				No	Distance from well	BH name	Base screen L1 (m)	1	X ₁ = 3.53m	KECP22	30.20	2	X ₂ = 22.42m	KECP24	20.50	3	X ₃ = 55.10m	T20P065	30.00								
ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ																																											
No	Distance from well	BH name	Base screen L1 (m)																																								
1	X ₁ = 3.53m	KECP22	30.20																																								
2	X ₂ = 22.42m	KECP24	20.50																																								
3	X ₃ = 55.10m	T20P065	30.00																																								
																																											
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DRILLING</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Borehole diameter B :</td> <td>0.222m</td> </tr> <tr> <td>Height of wellhead L₀ =</td> <td>0.10m</td> </tr> <tr> <td>Depth of base L₁ =</td> <td>27.10m</td> </tr> <tr> <th colspan="2">WELL CASING</th> </tr> <tr> <td>Internal diameter :</td> <td>0.108m</td> </tr> <tr> <td>Filter length L₂ :</td> <td>3.50m</td> </tr> <tr> <td>Filter length L₃ :</td> <td>4.10m</td> </tr> <tr> <td>Filter length L₄ :</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="2">WELL SCREEN</th> </tr> <tr> <td>Internal diameter =</td> <td>0.108m</td> </tr> <tr> <td>Length =</td> <td>18.0m</td> </tr> <tr> <th colspan="2">PUMP</th> </tr> <tr> <td>Pump discharge Q_e =</td> <td>0.24 m³/h</td> </tr> </tbody> </table>														DRILLING		Borehole diameter B :	0.222m	Height of wellhead L ₀ =	0.10m	Depth of base L ₁ =	27.10m	WELL CASING		Internal diameter :	0.108m	Filter length L ₂ :	3.50m	Filter length L ₃ :	4.10m	Filter length L ₄ :		WELL SCREEN		Internal diameter =	0.108m	Length =	18.0m	PUMP		Pump discharge Q _e =	0.24 m ³ /h
DRILLING																																											
Borehole diameter B :	0.222m																																										
Height of wellhead L ₀ =	0.10m																																										
Depth of base L ₁ =	27.10m																																										
WELL CASING																																											
Internal diameter :	0.108m																																										
Filter length L ₂ :	3.50m																																										
Filter length L ₃ :	4.10m																																										
Filter length L ₄ :																																											
WELL SCREEN																																											
Internal diameter =	0.108m																																										
Length =	18.0m																																										
PUMP																																											
Pump discharge Q _e =	0.24 m ³ /h																																										
Start of pumping	Date: 24/01/2014 Time: 21.00	End of pumping	Date: 25/01/2014 Time: 16.00																																								
ELAPSED TIME	<i>t</i> min	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9																											
WELL	<i>h</i> m	9,56	10,32	10,88	11,25	11,41	11,56	11,72	11,86	11,99	12,1	12,19	12,27	12,36	12,41	12,52																											
	$\Delta h = h - h_0$ m	0	0,76	1,32	1,69	1,85	2	2,16	2,3	2,43	2,54	2,63	2,71	2,8	2,85	2,96																											
	<i>Q</i> m ³ /sec																																										
PIEZO X ₁ : KECP22	<i>hx1</i> m	9,21	9,21	9,21	9,21	9,22	9,22	9,22	9,23	9,23	9,24	9,24	9,25	9,27	9,28	9,3																											
	$\Delta hx1 (hx1 - hx1.0)$	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,07	0,09																											
PIEZO X ₂ : KECP24	<i>hx2</i> m	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94																											
	$\Delta hx2$ m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																											
PIEZO X ₃ : T20P065	<i>hx3</i> m	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77																											
	$\Delta hx3$ m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																											
	<i>t</i> min	10	11	12	13	14	15	20	25	30	40	50	60	90	120	150																											
WELL	<i>h</i> m	12,74	12,84	12,88	13,03	13,15	13,28	13,73	14,14	14,36	14,86	15,35	15,58	16,82	16,79	17,3																											
	$\Delta h = h - h_0$ m	3,18	3,28	3,32	3,47	3,59	3,72	4,17	4,58	4,8	5,3	5,79	6,02	7,26	7,23	7,74																											
	<i>Q</i> m ³ /sec																																										
PIEZO X ₁ : KECP22	<i>hx1</i> m	9,31	9,33	9,34	9,36	9,38	9,4	9,49	9,58	9,65	9,83	9,91	10,15	10,52	10,8	10,93																											
	$\Delta hx1$ m	0,1	0,12	0,13	0,15	0,17	0,19	0,28	0,37	0,44	0,62	0,7	0,94	1,31	1,59	1,72																											
PIEZO X ₂ : KECP24	<i>hx2</i> m	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94	8,93	8,93	8,93	8,93	8,93	8,93	8,93	8,94	8,94																											
	$\Delta hx2$ m	0	0	0	0	0	0	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0	0																											
PIEZO X ₃ : T20P065	<i>hx3</i> m	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77	11,77																											
	$\Delta hx3$ m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																											
	<i>t</i> min	180	210	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960																											
WELL	<i>h</i> m	17,9	17,91	17,86	18,97	18,7	19,83	20,01	20,07	20,04	20,66	21,06	21,01	21,31	22,1	22,85																											
	$\Delta h = h - h_0$ m	8,34	8,35	8,3	9,41	9,14	10,27	10,45	10,51	10,48	11,1	11,5	11,45	11,75	12,54	13,29																											
	<i>Q</i> m ³ /sec																																										
PIEZO X ₁ : KECP22	<i>hx1</i> m	11,15	11,23	11,3	11,53	11,63	11,81	11,97	12,05	12,08	12,1	12,27	12,3	12,36	12,42	12,5																											
	$\Delta hx1$ m	1,94	2,02	2,09	2,32	2,42	2,6	2,76	2,84	2,87	2,89	3,06	3,09	3,15	3,21	3,29																											
PIEZO X ₂ : KECP24	<i>hx2</i> m	8,95	8,95	8,96	8,98	8,99	9,01	9,04	9,06	9,07	9,09	9,1	9,12	9,15	9,16	9,18																											
	$\Delta hx2$ m	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05	0,07	0,1	0,12	0,13	0,15	0,16	0,18	0,21	0,22	0,24																											
PIEZO X ₃ : T20P065	<i>hx3</i> m	11,77	11,77	11,77	11,78	11,79	11,8	11,81	11,82	11,83	11,84	11,85	11,87	11,87	11,87	11,87																											
	$\Delta hx3$ m	0	0	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,1	0,1	0,1	0,1																											

Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων
Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

Πίνακας Β.9(β) Μετρήσεις καταβίβασης της στάθμης κατά την άντληση με
σταθερή παροχή-Πιεζόμετρο KESW21

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ		Σύνταξη / Test performed by:																	
PUMPING TEST		Έλεγχος / Test checked by:																	
According to ISO 22282 - 4																			
TEST WELL : KESW21	TEST PHASE (delete as appropriate)	 <p style="text-align: center;">Key 1 well axis Diagram of piezometer placements</p>																	
Ground level : m	Pre - pumping /preliminary pumping/ pumping/post-pumping																		
WELL DIAGRAM																			
	DRILLING																		
	Borehole diameter B : 0.222m																		
	Height of wellhead L ₀ = 0.10m																		
	Depth of base L ₁ = 27.10m																		
	WELL CASING																		
	Internal diameter : 0.108m																		
	Filter length L ₂ : 3.50m																		
	Filter length L ₃ : 4.10m																		
	Filter length L ₄ :																		
	WELL SCREEN																		
	Internal diameter = 0.108m																		
	Length = 18.0m																		
	PUMP	Pump discharge Q _e = 0.24 m ³ /h																	
Start of pumping	Date: 24/01/2014	End of pumping	Date: 25/01/2014																
	Time: 21.00		Time: 16.00																
ELAPSED TIME	t min	1020	1080	1140	1200	1260	1320	1380	1440	1500									
WELL	h m	23,78	24,88	24,9															
	Δh = h - h ₀ m	14,22	15,32	15,34															
	Q m ³ /sec																		
PIEZO X ₁ : KEC22	hx1 m	12,53	12,56	12,56															
	Δhx1 (hx1 - hx1.0) m	3,32	3,35	3,35															
PIEZO X ₂ : KEC24	hx2 m	9,18	9,18	9,18															
	Δhx2 m	0,24	0,24	0,24															
PIEZO X ₃ : T20P065	hx3 m	11,89	11,9	11,9															
	Δhx3 m	0,12	0,13	0,13															
WELL	t min																		
	h m																		
	Δh = h - h ₀ m																		
	Q m ³ /sec																		
PIEZO X ₁	hx1 m																		
	Δhx1 m																		
PIEZO X ₂	hx2 m																		
	Δhx2 m																		
PIEZO X ₃	hx3 m																		
	Δhx3 m																		

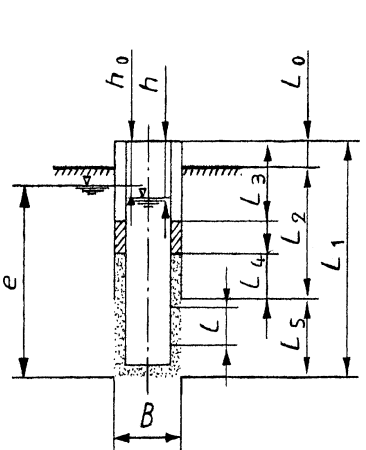
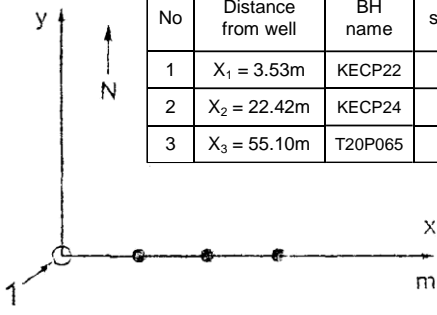
Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων
Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

Πίνακας Β.10(α) Μετρήσεις επαναφοράς της στάθμης κατά την άντληση με
σταθερή παροχή-Πιεζόμετρο KESW21

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ																																											
PUMPING TEST		Σύνταξη / Test performed by:																																									
		Έλεγχος / Test checked by:																																									
TEST WELL : KESW21		TEST PHASE (delete as appropriate)																																									
Ground level : m		Pre - pumping /preliminary pumping/ pumping/post-pumping																																									
WELL DIAGRAM		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ</th> </tr> <tr> <th>No</th> <th>Distance from well</th> <th>BH name</th> <th>Base screen L1 (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>X₁ = 3.53m</td> <td>KECP22</td> <td>30.20</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>X₂ = 22.42m</td> <td>KECP24</td> <td>20.50</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>X₃ = 55.10m</td> <td>T20P065</td> <td>30.00</td> </tr> </tbody> </table>														ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ				No	Distance from well	BH name	Base screen L1 (m)	1	X ₁ = 3.53m	KECP22	30.20	2	X ₂ = 22.42m	KECP24	20.50	3	X ₃ = 55.10m	T20P065	30.00								
ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ																																											
No	Distance from well	BH name	Base screen L1 (m)																																								
1	X ₁ = 3.53m	KECP22	30.20																																								
2	X ₂ = 22.42m	KECP24	20.50																																								
3	X ₃ = 55.10m	T20P065	30.00																																								
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DRILLING</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Borehole diameter B :</td> <td>0.222m</td> </tr> <tr> <td>Height of wellhead L₀ =</td> <td>0.10m</td> </tr> <tr> <td>Depth of base L₁ =</td> <td>27.10m</td> </tr> <tr> <th colspan="2">WELL CASING</th> </tr> <tr> <td>Internal diameter :</td> <td>0.108m</td> </tr> <tr> <td>Filter length L₂ :</td> <td>3.50m</td> </tr> <tr> <td>Filter length L₃ :</td> <td>4.10m</td> </tr> <tr> <td>Filter length L₄ :</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="2">WELL SCREEN</th> </tr> <tr> <td>Internal diameter =</td> <td>0.108m</td> </tr> <tr> <td>Length =</td> <td>18.0m</td> </tr> <tr> <th colspan="2">PUMP</th> </tr> <tr> <td>Pump discharge Q_e =</td> <td>m³/sec</td> </tr> </tbody> </table>														DRILLING		Borehole diameter B :	0.222m	Height of wellhead L ₀ =	0.10m	Depth of base L ₁ =	27.10m	WELL CASING		Internal diameter :	0.108m	Filter length L ₂ :	3.50m	Filter length L ₃ :	4.10m	Filter length L ₄ :		WELL SCREEN		Internal diameter =	0.108m	Length =	18.0m	PUMP		Pump discharge Q _e =	m ³ /sec
		DRILLING																																									
		Borehole diameter B :	0.222m																																								
		Height of wellhead L ₀ =	0.10m																																								
		Depth of base L ₁ =	27.10m																																								
		WELL CASING																																									
		Internal diameter :	0.108m																																								
		Filter length L ₂ :	3.50m																																								
		Filter length L ₃ :	4.10m																																								
		Filter length L ₄ :																																									
WELL SCREEN																																											
Internal diameter =	0.108m																																										
Length =	18.0m																																										
PUMP																																											
Pump discharge Q _e =	m ³ /sec																																										
Start of post-pumping		Date: 25/01/2014							End of post-pumping																																		
Time: 16.00									Date: 26/01/2014																																		
Time: 16.00									Time: 16.00																																		
ELAPSED TIME		t	min	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9																									
WELL		h	m	24,9	23,3	21,9	21,11	20,48	19,82	19,43	19,17	18,86	18,6	18,4	17,96	17,63	17,4	17,1																									
		Δh = h - h ₀	m	15,34	13,74	12,34	11,55	10,92	10,26	9,87	9,61	9,3	9,04	8,84	8,4	8,07	7,84	7,54																									
		Q	m ³ /sec																																								
PIEZO X ₁ : KECP22		hx1	m	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,55	12,55	12,55	12,54	12,53	12,53	12,51	12,49																									
		Δhx1 (hx1 - hx1.0)	m	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	3,34	3,34	3,34	3,33	3,32	3,32	3,3	3,28																									
PIEZO X ₂ : KECP24		hx2	m	9,19	9,19	9,19	9,19	9,19	9,19	9,19	9,19	9,19	9,19	9,19	9,19	9,19	9,19	9,19																									
		Δhx2	m	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25																									
PIEZO X ₃ : T20P065		hx3	m	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9																									
		Δhx3	m	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13																									
		t	min	10	11	12	13	14	15	20	25	30	40	50	60	90	120	150																									
WELL		h	m	16,86	16,64	16,5	16,3	16,14	15,99	15,3	14,78	14,32	13,65	13,2	12,73	11,65	10,93	10,5																									
		Δh = h - h ₀	m	7,3	7,08	6,94	6,74	6,58	6,43	5,74	5,22	4,76	4,09	3,64	3,17	2,09	1,37	0,94																									
		Q	m ³ /sec																																								
PIEZO X ₁ : KECP22		hx1	m	12,48	12,46	12,44	12,42	12,4	12,38	12,27	12,15	12,02	11,77	11,59	11,37	10,81	10,41	10,13																									
		Δhx1	m	3,27	3,25	3,23	3,21	3,19	3,17	3,06	2,94	2,81	2,56	2,38	2,16	1,6	1,2	0,92																									
PIEZO X ₂ : KECP24		hx2	m	9,19	9,19	9,19	9,19	9,19	9,19	9,19	9,19	9,19	9,19	9,19	9,19	9,18	9,16																										
		Δhx2	m	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,22																										
PIEZO X ₃ : T20P065		hx3	m	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,89	11,89																										
		Δhx3	m	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12																										
		t	min	180	210	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960																									
WELL		h	m	10,23	10,1	10,01	9,94	9,88	9,82	9,77	9,73	9,7	9,68	9,66	9,65	9,64	9,63	9,62																									
		Δh = h - h ₀	m	0,67	0,54	0,45	0,38	0,32	0,26	0,21	0,17	0,14	0,12	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06																									
		Q	m ³ /sec																																								
PIEZO X ₁ : KECP22		hx1	m	10	9,95	9,9	9,86	9,82	9,79	9,76	9,73	9,7	9,68	9,66	9,64	9,62	9,6	9,59																									
		Δhx1	m	0,79	0,74	0,69	0,65	0,61	0,58	0,55	0,52	0,49	0,47	0,45	0,43	0,41	0,39	0,38																									
PIEZO X ₂ : KECP24		hx2	m	9,14	9,12	9,11	9,1	9,09	9,08	9,07	9,06	9,05	9,04	9,03	9,02	9,01	9	8,99																									
		Δhx2	m	0,2	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05																									
PIEZO X ₃ : T20P065		hx3	m	11,88	11,88	11,87	11,86	11,85	11,84	11,83	11,82	11,81	11,81	11,8	11,8	11,79	11,79	11,79																									
		Δhx3	m	0,11	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02																									

Προσδιορισμός Υδραυλικών Παραμέτρων Υπόγειων
Υδροφορέων από Δοκιμαστικές Αντλήσεις

Πίνακας Β.10(β) Μετρήσεις επαναφοράς της στάθμης κατά την άντληση με
σταθερή παροχή-Πιεζόμετρο KESW21

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΛΗΣΕΩΣ PUMPING TEST		Σύνταξη / Test performed by:																					
		Έλεγχος / Test checked by:																					
TEST WELL : KESW21		TEST PHASE (delete as appropriate)																					
Ground level : m		Pre - pumping /preliminary pumping/ pumping/post-pumping																					
WELL DIAGRAM		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ</th> </tr> <tr> <th>No</th> <th>Distance from well</th> <th>BH name</th> <th>Base screen L1 (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>X₁ = 3.53m</td> <td>KECP22</td> <td>30.20</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>X₂ = 22.42m</td> <td>KECP24</td> <td>20.50</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>X₃ = 55.10m</td> <td>T20P065</td> <td>30.00</td> </tr> </tbody> </table>		ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ				No	Distance from well	BH name	Base screen L1 (m)	1	X ₁ = 3.53m	KECP22	30.20	2	X ₂ = 22.42m	KECP24	20.50	3	X ₃ = 55.10m	T20P065	30.00
ΦΡΕΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ																							
No	Distance from well	BH name	Base screen L1 (m)																				
1	X ₁ = 3.53m	KECP22	30.20																				
2	X ₂ = 22.42m	KECP24	20.50																				
3	X ₃ = 55.10m	T20P065	30.00																				
																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">DRILLING</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Borehole diameter B :</td> <td>0.222m</td> </tr> <tr> <td>Height of wellhead L₀ =</td> <td>0.10m</td> </tr> <tr> <td>Depth of base L₁ =</td> <td>27.10m</td> </tr> </tbody> </table>		DRILLING		Borehole diameter B :	0.222m	Height of wellhead L ₀ =	0.10m	Depth of base L ₁ =	27.10m	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">WELL CASING</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Internal diameter :</td> <td>0.108m</td> </tr> <tr> <td>Filter length L₂ :</td> <td>3.50m</td> </tr> <tr> <td>Filter length L₃ :</td> <td>4.10m</td> </tr> <tr> <td>Filter length L₄ :</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		WELL CASING		Internal diameter :	0.108m	Filter length L ₂ :	3.50m	Filter length L ₃ :	4.10m	Filter length L ₄ :			
DRILLING																							
Borehole diameter B :	0.222m																						
Height of wellhead L ₀ =	0.10m																						
Depth of base L ₁ =	27.10m																						
WELL CASING																							
Internal diameter :	0.108m																						
Filter length L ₂ :	3.50m																						
Filter length L ₃ :	4.10m																						
Filter length L ₄ :																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">WELL SCREEN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Internal diameter =</td> <td>0.108m</td> </tr> <tr> <td>Length =</td> <td>18.0m</td> </tr> </tbody> </table>		WELL SCREEN		Internal diameter =	0.108m	Length =	18.0m	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PUMP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pump discharge Q_e =</td> <td>m³/sec</td> </tr> </tbody> </table>		PUMP		Pump discharge Q _e =	m ³ /sec										
WELL SCREEN																							
Internal diameter =	0.108m																						
Length =	18.0m																						
PUMP																							
Pump discharge Q _e =	m ³ /sec																						
Start of post-pumping		End of post-pumping																					
Date: 25/01/2014		Date: 26/01/2014																					
Time: 16.00		Time: 16.00																					
ELAPSED TIME	t min	1020	1080	1140	1200	1260	1320	1380	1440	1500													
WELL	h m	9,62	9,61	9,6	9,59	9,58	9,57	9,56	9,55														
	Δh = h - h ₀ m	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0	-0,01														
	Q m ³ /sec																						
PIEZO X ₁ : KECP22	hx1 m	9,58	9,57	9,56	9,55	9,54	9,53	9,52	9,51														
	Δhx1 (hx1 - hx1.0) m	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,3														
PIEZO X ₂ : KECP24	hx2 m	8,99	8,98	8,98	8,97	8,96	8,95	8,94	8,94														
	Δhx2 m	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0	0														
PIEZO X ₃ : T20P065	hx3 m	11,78	11,78	11,78	11,77	11,77	11,77	11,77	11,76														
	Δhx3 m	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	-0,01														
	t min																						
WELL	h m																						
	Δh = h - h ₀ m																						
	Q m ³ /sec																						
PIEZO X ₁	hx1 m																						
	Δhx1 m																						
PIEZO X ₂	hx2 m																						
	Δhx2 m																						
PIEZO X ₃	hx3 m																						
	Δhx3 m																						

Βιβλιογραφία

- «Πυροσβεστική αντλία», Μουσείο Αρχαίας Ελληνικής Τεχνολογίας. (2015, 5 1).
Ανάκτηση 5 1, 2023, από
<https://www.archaiologia.gr/blog/photo/πυροσβεστική-αντλία-μουσείο-αρχαί/>
- Andreadis I., & Morfopoulos Z. (1993). *Analysis and Diagrams of pumping tests*. Athens.
- Bazza M. (2007, 7). Overview of the History of Water Resources and Irrigation Management in the Near East Region. *Water Science and Technology: Water Supply*, σσ. 201-209.
- Esch, B. V. (1997). *Simulation of three-dimensional unsteady flow in hydraulic pumps*. Eindhoven: Eindhoven University of Technology. Ανάκτηση από
https://www.researchgate.net/figure/Centrifugal-pump-1689-invented-by-Denis-Papin-Picture-from-Harris-1953_fig4_265247506
- ISO 22282-4. (2021). *ISO 22282-4*. ISO Standards.
- Kruseman, & Ridder. (1994). *Analysis and Evaluation of Pumping*.
- M. Hausmann. (1990). Engineering principles of ground modification.
- Salako A., & A. (2018). Aquifer, Classification and Characterization. Στο M. S. Javaid, *Aquifers - Matrix and Fluids* (σ. 10.5772/intechopen.72692). InTech.
- UNESCO. (n.d.). *UNESCO World Heritage Convention*. Ανάκτηση από
<https://whc.unesco.org/>
- Wikipedia. (2023, 06 04). *Wikipedia*. Ανάκτηση από
<https://en.wikipedia.org/wiki/Qanat>
- www.waterloohydrogeologic.com. (2022). Ανάκτηση από Cooper-Jacob Method (confined; small r or large time):
https://www.waterloohydrogeologic.com/help/aquifertest/index.html?_cooper-jacob_method_confined_.htm
- ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ. (n.d.). *ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.* Ανάκτηση από
<https://www.ametro.gr/?p=18160>
- Βιτρούβιος Μ. (2009). *Περι αρχιτεκτονικής (Δεύτερος τόμος)*. Πλέθρον.
- Βουδούρης, Κ. (2011). *Εκμετάλλευση και διαχείριση του υπόγειου νερού - Δοκιμαστικές αντλήσεις*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Τμήμα Γεωλογίας.
- Δαγκίνης Ι., & Γλύκας Α. (2016). *Αντλίες*. Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου.
- Ζαγγανά Ε. (n.d.). *upatras.gr*. Ανάκτηση από [eclass.upatras.gr](https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/GEO360/%CE%94%CE%99%CE%91%CE%9B%CE%95%CE%9E%CE%97%201.pdf):
<https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/GEO360/%CE%94%CE%99%CE%91%CE%9B%CE%95%CE%9E%CE%97%201.pdf>
- Ιστορία της αντλίας*. (2013, 1 23). Ανάκτηση από Αντλίες νερού:
<https://www.antlies.gr/2013/01/21/ιστορια-τησ-αντλιασ/>
- Καλλέργης Γ.Α. (1999). *Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία*. Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας.
- Κουντούπη Ε. (2012). *Μελέτη του φαινομένου σπηλαίωσης σε φυγοκεντρική αντλία*. Ηράκλειο: Τεχνολογικό Ίδρυμα Κρήτης. Ανάκτηση από
<https://apothesis.lib.hmu.gr/bitstream/handle/20.500.12688/4336/Kountoupi2012.pdf>

- Κουτσογιάννης Δ., & Ξανθόπουλος Θ. (2016). *Τεχνική Υδρολογία*. Αθήνα: Ε.Μ.Π., Τομέας Υδατικών Πόρων.
- Κοχλίας του Αρχιμήδη. (2007, 6 18). Ανάκτηση από Βικιπαίδεια: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/82/Archimedes_screw.JPG
- Κριάρης Δ. (1997, 1 1). *Αντλία Κτησίβιου*. Ανάκτηση από Βάση δεδομένων ψηφιοποιημένων αντικειμένων: <http://archive.noesis.edu.gr/repository/handle/11609/001-00350.html>
- Κυριακόπουλος Γ. (2015). *Μηχανισμοί ανύψωσης νερού στον αρχαίο κόσμο*.
- Λάζος Χ. (1999). *Υδραυλικά Όργανα και Μηχανισμοί στην Αίγυπτο των Πτολεμαίων*. Αθήνα: Αίολος.
- Λυγερός Α.Ι. (2005). *Διακίνηση Ρευστών*. Αθήνα: Ε.Μ.Π.
- Μουσείο αρχαίας Ελληνικής τεχνολογίας. (2014). Ανάκτηση από Η πυροσβεστική αντλία του Ήρωτος: <http://kotsanas.com/exh.php?exhibit=1001006>
- Μπαμπινιώτης, Γ. (2002). *Λεξικό της Νέας Ελληνικής Γλώσσας*. Αθήνα: Κέντρο Λεξικολογίας Ε.Π.Ε.
- ΟΤΜ, Α. (2014). *Συμπληρωματική Γεωτεχνική Έρευνα. Παρουσίαση – Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Δοκιμών Αντλησης στις Θέσεις των Σταθμών*. Αθήνα: Όμιλος Τεχνικών Μελετών Α.Τ.Ε.
- Παπαντώνης Δ. (2007). *Μελέτη του φαινομένου της σπηλαιώσης σε φυγοκεντρική αντλία*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Πολέμη Κ. (2013). *Σχεδιασμός και Αριθμητική Προσομοίωση Βοηθητικής Πτερωτής Αντλίας*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Σακελλαρίου Μ. (2003). *Εργαστηριακές Δοκιμές Εδαφομηχανικής*. Αθήνα: Ε.Μ.Π., Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών.
- Χατζηανδρέου Γ. (2011). *Αντλία τύπου Κριού (Ram pump). Αρχές λειτουργίας κατασκευή ομοιώματος*. Καβάλα: ΤΕΙ Καβάλας.